فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۲، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۳۰۱-۳۳۰
https://doi.org/10.22034/13.62.301

مقاله پژوهشی

بررسی اثر مدیریت مصرف کودهای پتاسیمی و روی بر ویژگی‌های کمی و کیفی گندم دیم

امید کمانگر[۱]، محمد جعفر ملکوتی*[۱]، محمد حسین سدری [۲] و عادل سی‌وسه‌مرده[۳]

[۱] گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۲] بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران.

[۳] گروه زراعت، دانشکدی کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱)

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر مدیریت مصرف کودهای پتاسیمی و روی بر ویژگی‌های کمی و کیفی گندم دیم با شش تیمار کودی شامل T1 یا شاهد (مصرف همه کودهای شیمیایی براساس آزمون خاک بجز پتاسیم و روی)، T2 (مصرف تمام کود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم، براساس آزمون خاک در پاییز)، T3 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)، T4 (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز)، T5 (مصرف تمام سولفات پتاسیم و سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز)، T6 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار) در سه تکرار و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی، به مدت یک سال زراعی (۱۴۰۱-۱۴۰۰) انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ (۴۵/۲۵ سانتی‌متر مربع) و بیشترین مقدار پروتئین دانه (۱۴/۶۵ درصد)، عملکرد دانه (۴۴۷۲ کیلوگرم در هکتار)، غلظت پتاسیم در دانه (۴۸۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و غلظت روی در دانه (۳۴/۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار ششم بود. بیشترین مقدار پرولین (۵۶۸ میکروگرم بر گرم وزن تر) و گلایسین بتائین (۳/۸۵ میکروگرم بر گرم وزن تر)، به ترتیب مربوط به تیمار چهارم و ششم بود. با توجه به نتایج و تأثیر معنی‌دار تیمارها بر شاخص‌های عملکردی، استفاده همزمان قبل از کشت سولفات پتاسیم و سولفات روی و همچنین مصرف سرک آن‌ها به هنگام بارندگی در بهار در مزارع گندم دیم توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آزمون خاک، عنصر غذایی، تنش خشکی، حاصلخیزی خاک، سرک، گندم

مقدمه

گندم یکی از مهمترین غلات و غذای بیش از ۵۰ درصد مردم جهان است (FAO, 2016). طبق آمارنامه کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی، در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، سطح زیرکشت گندم در کشور، بیش از ۵ میلیون هکتار بوده است. براساس گزارش سازمان استاندارد ایران (۱۳۸۹)، سرانه مصرف گندم در کشور، ۳۳۴ گرم در روز به ازای هر فرد است. از این‌رو، با توجه به رشد جمعیت در جهان و ایران و کمبود کنونی غذا در

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mjmalakouti@modares.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

دنیا، بررسی تمام راه‌کارهایی که موجب افزایش تولید و استفاده بهینه از گندم تولیدی در کشور از موضوعات مهم و قابل‌توجه است.

رشد گیاه، تابع عوامل متعددی است، به‌طوری‌که حداکثر عملکرد گیاه می‌تواند تحت‌تأثیر هر عامل، محدود شود (ملکوتی، ۱۳۹۷). آب از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تولید در کشاورزی است و کمبود آن، در بین عوامل محدودکننده در تولید، بیش‌ترین سهم را در کاهش عملکرد دارد. گندم برای دستیابی به یک عملکرد معمولی نیازمند به ۲۲۵ میلی‌متر بارندگی در طول دوره رشدونمو خود است و بهترین میزان بارندگی برای گندم، ۶۰۰ میلی‌متر در تمام طول دوره رشد و نمو است. دانه‌های گندم، برای جوانه‌زدن، حدود ۴۴ تا ۵۰ درصد وزن خشک خود، آب جذب می‌کنند. کم‌ترین مقدار رطوبت جهت سبزشدن دانه گندم، ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه است. عدم تأمین رطوبت لازم جهت جوانه‌زنی در لایه‌های سطحی خاک و به‌دنبال آن تنش خشکی یکی از عوامل مهم محدودکننده رشد گیاه در مناطق خشک است (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۶). از این‌رو تنش کم آبی، یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد و تولید گندم در بسیاری از نقاط دنیا، به ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران محسوب می‌شود.

تنش کم آبی، فتوسنتز را از طریق بسته‌شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش دی‌اکسید کربن در کلروپلاست و همچنین کاهش پتانسیل آب سلول، تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Marschner, 2011). تنش کم آبی با تأثیر بر آماس سلولی و در نتیجه باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و تعرق را تحت‌تأثیر قرار داده و از طرف دیگر با تأثیر بر فرآیندهای آنزیمی که به طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می‌شوند، بر رشد گیاه، اثر منفی می‌گذارند (منصوری‌فر و همکاران، ۱۳۸۴). از این‌رو، توجه به عواملی که سبب افزایش تحمل گیاه در برابر تنش کم آبی می‌شوند، اهمیت فراوانی دارند. از جمله این عوامل، تغذیه گیاهی متعادل و استفاده از عناصری است که گیاه بهترین پاسخ‌ها را در شرایط تنش خشکی دارد. از جمله عناصر مهم در این مورد، می‌توان به پتاسیم و روی اشاره کرد (ملکوتی، ۱۳۹۷). طبق گزارش خاوازی و همکاران (۱۳۹۳)، ۲۸/۱۰ درصد از خاک‌های کشور، دارای غلظت پتاسیم کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هستند. همچنین گزارش شده که ۵۴/۶۰ درصد خاک‌های کشور، دارای غلظت روی کمتر از ۰/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هستند (خاوازی و همکاران، ۱۳۹۳). تفتی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای که به بررسی اثرات دورهای مختلف آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف پتاسیم (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد و اجزای عملکرد جو پرداختند، گزارش نمودند که استفاده از کود سولفات پتاسیم، سبب افزایش عملکرد دانه شد. این محققان همچنین گزارش کردند که در شرایط استفاده از سولفات پتاسیم، عملکرد گیاه با افزایش دور آبیاری، کمتر کاهش یافت. مجیدی (۱۳۹۹) در تحقیق خود، با مصرف سولفات پتاسیم در مزارع گندم آبی افزایش عملکرد کمی و کیفی گندم را گزارش کرد.

پتاسیم عنصری ضروری برای همه موجودات زنده است و در فیزیولوژی و متابولیسم گیاه، نه تنها از نظر مقدار موجود در بافت‌های گیاهی، بلکه از نظر وظایف فیزیولوژیکی و شیمیایی مهمترین کاتیون است (Mengel and Kirkby, 2001). کوچکی و سرمدنیا (۱۳۷۷) گزارش نمودند که پتاسیم در حفظ پتانسیل اسمزی و جذب آب نقش دارد. گیاهان با ذخیره مطلوب پتاسیم آب کمتری از دست می‌دهند. پتاسیم، در باز و بسته شدن روزنه‌ها ایفای نقش نموده و به عنوان فعال‌کننده بسیاری از آنزیم‌ها در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و پروتئین شرکت دارد. پتاسیم از طریق فعال‌سازی بسیاری آنزیم‌های گیاهی که روی فرآیند فتوسنتز، کارایی مصرف آب، جذب نیتروژن و ساخت پروتئین دخالت دارند، باعث افزایش میزان پروتئین دانه گندم نیز می‌شود (Marschner, 2011). Satorre و Slafer (۱۹۹۹) گزارش کردند که پتاسیم با تأثیر بر اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در سنبله، طول سنبله و وزن هزار دانه، باعث افزایش عملکرد دانه گندم شد. تحقیقات نشان داده است که پتاسیم موجب افزایش محتوای پرولین در برگ‌های ذرت تحت شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

تنش خشکی شد (Mukherjee, 1974). در آزمایشی که توسط Alam و همکاران (۲۰۰۹) به منظور بررسی تأثیر مصرف سطوح مختلف پتاسیم (صفر، ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد گندم در خاک‌های ساحلی رودخانه گنگ انجام شد، افزایش تعداد دانه در سنبله، ارتفاع گیاه، تعداد پنجه، میزان کلش و بیوماس عملکرد کل، با مصرف ۳۶ کیلوگرم بر هکتار پتاسیم گزارش شد. به منظور بررسی نقش پتاسیم در برنامه آبی و افزایش عملکرد محصول گندم در عربستان، Alderfasi و Refay (۲۰۱۰)، آزمایشی را طی دو سال متوالی انجام دادند. در این تحقیق، کاهش میزان تبخیر از سطح برگ‌ها به دلیل نقش پتاسیم در تنظیم فشار اسمزی برگ‌ها و افزایش کارایی مصرف آب، به خصوص در شرایط تنش خشکی و افزایش تعداد پنجه و تکثیر ریشه و در نتیجه جذب آب و مواد غذایی به میزان بالایی، مشاهده شد. همچنین در این تحقیق، پتاسیم به تعادل بین کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها کمک نمود. بیشترین افزایش در پارامترهای رشد در مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیمی گزارش شد.

روی (Zn) یک عنصر ضروری برای رشدونمو گیاهان بوده و در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی گیاه نقش دارد. این فلز، به عنوان فعال‌کننده و کوفاکتور برخی آنزیم‌های حیاتی گیاه از جمله کربونیک آنهیدرازها، RNA دهیدروژنازها، آلکالین فسفاتازها، فسفولیپازها و پلیمرازها در متابولیسم پروتئین‌ها، قندها، اسیدهای نوکلئیک و چربی‌ها، فتوسنتز گیاه و سنتز زیستی اکسین، به عنوان یک هورمون محرک رشد ایفای نقش می‌کند (Marschner, 2011). دهقانیان و مدندوست (۱۳۸۷)، تغذیه متعادل گیاهی، به ویژه تأمین عنصر روی را به عنوان یکی از روش‌های مؤثر توانمندسازی گیاهان در مقابله با تنش خشکی معرفی کردند. در شرایط کمبود روی، تراوایی غشای پلاسمایی در گیاهان مبتلا به کمبود روی، افزایش یافته و منجر به خروج پتاسیم، نیترات و ترکیبات آلی از سلول ریشه می‌گردد (Cakmak, 2008). Weggler و همکاران (۲۰۰۳)، طی تحقیق‌های خود بر کاربرد کودهای حاوی روی بر عملکرد گندم و افزایش غلظت روی در دانه گندم اعلام کردند، در خاک‌هایی که مقدار روی در آن‌ها کم بود، کاربرد کودهای حاوی روی، باعث افزایش عملکرد و غلظت روی در دانه گندم شد. Aslam و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقات خود به منظور بررسی تأثیر کود روی بر عملکرد و محتوی کلروفیل گندم در پاکستان گزارش دادند که عنصر روی باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد پنجه، وزن هزار دانه و افزایش محتوی کلروفیل و تجمع مواد غذایی در دانه گردید. همچنین اعلام کردند با افزایش مصرف پتاسیم میزان انتقال روی به دانه افزایش یافت.

در پژوهش حمیدی (۱۳۹۷) با بررسی تاثیر و کارایی کودهای پتاسیمی بر عملکرد برنج در دو خاک با سطح پتاسیم متفاوت در استان مازندران گزارش نمود که مصرف تلفیقی دو عنصر روی و پتاسیم، در مقایسه با مصرف به تنهایی عنصر پتاسیم، عملکرد برنج را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داده بود. میرطالبی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی با بررسی اثر سطوح صفر، ۳۰، ۶۰ کیلوگرم در هکتار روی از منبع سولفات روی بر رشدونمو ارقام مختلف گندم در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی اقلید گزارش نمودند که با افزایش مصرف سولفات روی عملکرد دانه افزایش معنی‌داری نشان داده بود.

با توجه به اهمیت پتاسیم و روی در رشد گیاه، عدم مصرف بهینه این عناصر، طبق قانون حداقل لیبیگ سبب کاهش عملکرد خواهد شد (Marschner, 2011). توصیه عمومی این است که مقدار کامل پتاسیم در زمان کاشت گندم مورد استفاده قرار گیرد. اما از آنجایی که گندم به میزان مورد نیاز پتاسیم نیاز دارد بنابراین تأمین مداوم پتاسیم تا پایان مرحله رشد ضروری به نظر می‌رسد. زمان و نحوه کاربرد مناسب پتاسیم به‌طور مطلوب بر عملکرد و ویژگی‌های کمی و کیفی گندم تأثیر گذار می‌باشد و از آنجایی که اطلاعات کافی در این زمینه وجود ندارد، بنابراین لزوم تحقیقات بیشتر برای تعیین تأثیر کاربرد پتاسیم به صورت سرک بر رشد و عملکرد گندم دیم ضروری است. علاوه‌براین با توجه به اینکه دوره رشد گندم کمی طولانی است (۱۵۰ روز) و در نتیجه اگر پتاسیم فقط یک بار در زمان کشت گیاه استفاده شود، بنابراین به نظر می‌رسد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

مصرف یک باره پتاسیم در ابتدای رشد گندم تمام نیاز گیاه را در کل دوره رشد برای توسعه کامل ریشه فراهم نمی‌کند. به طورکلی، تقسیط مقادیر کم پتاسیم نتایج بهتری را نسبت به کاربرد مقادیر زیاد آن در زمان کاشت دارد، هر چند که زمانی که پتاسیم به‌طور کامل در زمان کاشت استفاده گردد، از نظر اقتصادی، نسبت به کاربرد آن به صورت سرک عملی‌تر و امکان‌پذیرتر است (ملکوتی، ۱۳۹۷). Bahmanyar و Mashaee (۲۰۱۰) گزارش کردند که استفاده از کود پتاسیم به صورت سرک نقش قابل‌توجهی در افزایش عملکرد ذرت داشت.

تحقیقات انجام‌شده توسط بهرامی (۱۳۹۷) بر روی گیاه ذرت و حمیدی (۱۳۹۷) بر روی گیاه برنج، نشان داد که مصرف تلفیقی دو عنصر پتاسیم و روی عملکرد گیاه را در مقایسه با مصرف فقط عنصر پتاسیم به‌طور معنی‌داری افزایش داد. به‌طورکلی مصرف بهینه کود به ویژه سولفات پتاسیم و سولفات روی، موجب بهبود کیفیت و خوش خوراکی گندم می‌گردد (Welch, 2003). همچنان که گزارش مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور نشان می‌دهد، گندم‌های کشور از نظر عنصر روی دارای غلظت پایینی در مقایسه با سطح مطلوب هستند (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۹)، لذا به نظر می‌رسد که استفاده تلفیقی عناصر پتاسیم و روی در گندم می‌تواند ضمن افزایش عملکرد دانه به بهبود کیفیت دانه نیز کمک کنند.

طبق گزارش مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور (خاوازی و همکاران، ۱۳۹۳) ۱۸/۹۰ و ۵۶ درصد خاک‌های استان کرمانشاه به ترتیب دارای کمبود پتاسیم و روی هستند از این رو با توجه به سطح زیرکشت گندم دیم در این استان (طبق آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی سطح زیرکشت گندم دیم در استان کرمانشاه ۳۱۴۹۶۷ هکتار است) و ضرورت بحث افزایش عملکرد گندم دیم از این‌رو این مطالعه با هدف بررسی سناریوهای مختلف مدیریت مصرف کودهای پتاسیمی و روی بر افزایش عملکرد کمی و کیفی گندم دیم در استان کرمانشاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر مدیریت‌های مختلف مصرف کودهای پتاسیمی و حاوی روی بر ویژگی‌های کمی و کیفی گندم دیم (*Triticum aestivum* L.)، آزمایش مزرعه‌ای با شش تیمار کودی، شامل:

تیمار اول (T1) یا شاهد: مصرف همه کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک بجز پتاسیم و روی

تیمار دوم (T2): مصرف تمام کود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم براساس آزمون خاک در پاییز

تیمار سوم (T3): مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار

تیمار چهارم (T4): مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز

تمار پنجم (T5): مصرف تمام سولفات پتاسیم و سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز

تیمار ششم (T6): مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار

در سه تکرار و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و در شرایط رطوبتی دیم مطلق بر روی گندم دیم رقم باران به مدت یک سال زراعی (۱۴۰۱-۱۴۰۰) در قطعه زمین کشاورز در شهرستان کامیاران در استان کردستان با مختصات (34°47′44″N و 46°56′08″E) و با سیستم تناوبی آیش- گندم انجام شد.

براساس بانک اطلاعاتی خاک‌های کشاورزی استان کردستان موجود در بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان کردستان، مزرعه‌ای دیم با مقادیر پتاسیم و روی قابل جذب خاک کمتر از حد بحرانی این عناصر با مختصات فوق‌الذکر، شناسایی و آزمایش در آن مزرعه به مدت یک سال زراعی (۱۴۰۱-۱۴۰۰) به مرحله اجرا در آمد (جدول ۱). در این مختصات جغرافیایی، قطعه زمینی به مساحت ۵۳۲ مترمربع (۲۸ × ۱۹ متر) انتخاب و سپس برای آماده‌سازی زمین، عملیات خاک‌ورزی با گاو آهن قلمی به همراه دیسک در آن انجام شد. در ادامه، این زمین به سه قطعه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

عمق	EC	pH	O.C	شن	سیلت	رس	TNV
سانتی‌متر	dSm^{-1}			درصد			
۳۰-۰	۱/۳	۸/۳۱	۱/۱۴	۳۲	۲۹	۳۹	۲۰/۹۴
نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	مس	منگنز	بور
	درصد		میلی‌گرم بر کیلوگرم				
۰/۱۱	۸/۵۶	۱۳۴/۲۹	۰/۴	۰/۲	۰/۷۲	۱۷/ ۷۰	۱

۱۴۰ مترمربعی با ابعاد (۲۸ × ۵) تقسیم و هر قطعه به بلوک‌های آزمایش اختصاص یافت. سپس هر بلوک، به شش کرت ۱۵ مترمربعی با ابعاد (۵ × ۳ متر) تقسیم شد. بین هر کرت و هر بلوک، ۲ متر فاصله برای عدم تأثیرگذاری تیمارهای آزمایش بر روی یکدیگر در نظر گرفته شد. قبل از کاشت، از محل اجرای آزمایش در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری، نمونه خاک مرکب تهیه و مقادیر آهن، منگنز، روی و مس (عصاره‌گیری با DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی)، بور (روش آب داغ)، فسفر (روش اولسن)، پتاسیم (روش استات آمونیوم)، کربن آلی (روش والکلی–بلاک)، نیتروژن کل (روش کجلدال)، درصد مواد خنثی‌شونده (روش تیتراسیون با اسید کلریدریک نرمال)، قابلیت هدایت الکتریکی (روش هدایت‌سنج)، رطوبت اشباع (روش وزنی)، واکنش گل اشباع (روش پی‌اچ‌متری) و بافت خاک (روش هیدرومتری) اندازه‌گیری شد (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، ۱۳۷۲).

براساس آزمایش خاک و مطابق توصیه کودی براساس آزمون خاک، نیتروژن مورد نیاز گندم به میزان ۶۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار (۱۳۵ کیلوگرم اوره در هکتار) از منبع اوره و فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل، به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار به همراه کودهای پتاسیمی و حاوی روی مطابق نقشه آزمایش به صورت یکنواخت در پاییز، همزمان با کاشت بذر در خاک، برای هر تیمار توزین و در کرت مربوطه جایگذاری شد. مقدار پتاسیم و روی استفاده‌شده به ترتیب ۱۰۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار بود که با توجه به تیمارها استفاده شد. همچنین آهن نیز از منبع سکوسترن آهن (Fe-EDDHA) به مقدار یک کیلوگرم در هکتار همراه با اوره هنگام کشت استفاده شد. بذر گندم رقم باران به میزان ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار، توسط بذرکار عمیق‌کار، در عمق مناسب خاک جایگذاری شد.

در بهار به هنگام ظهور خوشه از برگ پرچم گندم دیم نمونه تهیه و صفات گیاهی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. در نهایت برداشت گندم به صورت دستی و به صورت کف‌بر از سطح کرت‌های آزمایش انجام و سپس عملکرد دانه تعیین و صفات مربوط به دانه نیز مورد بررسی قرار گرفت.

صفات مورد بررسی، شاخص سطح برگ (LAI): پس از نمونه‌برداری از برگ پرچم در مرحله ظهور خوشه در گندم دیم، به کمک دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter) شاخص سطح برگ برحسب سانتی‌متر مربع در برگ‌های هر کرت اندازه‌گیری شد.

عملکرد دانه: به منظور تعیین عملکرد دانه پس از رسیدگی محصول در هر کرت بوته‌های هر خط آزمایشی برداشت شده و صفت وزن زیست‌توده (وزن کل خشک بوته برداشت‌شده) اندازه‌گیری و پس از جداسازی کاه و کلش و انجام بوجاری، عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

غلظت پتاسیم و روی در دانه: برای اندازه‌گیری غلظت پتاسیم و روی در دانه، نمونه‌های گیاهی پس از شستشوی سه مرحله‌ای با آب شهری و آب‌مقطر در هوا خشک و سپس در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شد. در ادامه، نمونه‌ها توسط آسیاب برقی مخصوص پودر شد. پس از توزین، نمونه گیاهی به وسیله اسید نیتریک غلیظ و آب اکسیژنه ۳۰ درصد هضم شد. به این ترتیب که به یک گرم نمونه گیاه آسیاب‌شده، ۶ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه شده و پس از گذشت ۲۴ ساعت، نمونه‌ها بر روی هیتر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

هضم (دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس) به مدت ۴۰ دقیقه حرارت دیدند. سپس ۶ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به نمونه‌ها اضافه و پس از گذشت ۱۰ دقیقه نمونه از روی هیتر هضم برداشته و پس از سردشدن نمونه‌ها از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد و در بالن ۱۰ میلی‌لیتری با استفاده از آب بدون یون رقیق و توسط دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی غلظت پتاسیم و روی در آن‌ها اندازه‌گیری شدند (Harborne, 1984).

کلروفیل در برگ: جهت اندازه‌گیری محتوی کلروفیل a، b و کارتنوئید از روش Arnon (۱۹۶۷) استفاده شد. در این روش مقدار ۰/۳۳ گرم از هر نمونه تازه گیاهی (برگ پرچم) به همراه ۱۰ میلی‌لیتر در هاون چینی سائیده شدند. استون مورد استفاده در دو مرحله به نمونه‌ها اضافه شد. سپس عصاره حاصل با استون به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و به مدت ۱۰ دقیقه با شتاب ۳۵۰۰×g سانتریفیوژ شدند. عصاره حاصل حاوی رنگریزه‌های فتوسنتزی بوده که شدت جذب نمونه‌ها در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه طیف‌سنج (JENWAY, VIS, 7200) قرائت و غلظت آن‌ها محاسبه شد.

پروتئین در دانه: محتوای پروتئین دانه با استفاده از روش کجلدال تعیین شد (Jones *et al.*, 1989). بدین صورت که مقدار ۰/۱ گرم نمونه‌های دانه آسیاب‌شده در مجاور کاتالیست (سولفات مس، سولفات پتاسیم و سلنیم) و اسید سولفوریک غلیظ در دمای ۳۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت هضم شد و سپس غلظت نیتروژن در دانه تعیین شد. سپس با استفاده از ضریب ۵/۷ غلظت نیتروژن دانه به مقدار پروتئین دانه محاسبه گردید.

غلظت پرولین در برگ: مقدار پرولین با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد.

گلایسین بتائین در برگ: مقدار گلایسین‌بتایین با استفاده از روش Grieve و Grattan (۱۹۸۳) انجام شد.

محتوی نسبی آب (RWC) در برگ: نمونه‌برداری از برگ پرچم به منظور اندازه‌گیری آب نسبی برگ انجام شد. از هر تیمار ۱۰ برگ برداشت و وزن تر آن‌ها با ترازوی دقیق دیجیتالی تعیین شدند. این نمونه‌ها به مدت ۸ ساعت در آب‌مقطر و در شدت نور کم قرار داده شدند. سپس وزن نمونه‌های برگی در حالت تورژسانس تعیین شد. نهایتاً نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، در آون خشک و وزن خشک آن‌ها تعیین شدند. سپس با استفاده از فرمول زیر میزان آب نسبی برگ برحسب درصد محاسبه شد.

$$RWC = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)}$$

اسید فیتیک در دانه: جهت تعیین غلظت اسید فیتیک در دانه گندم از روش اصلاح‌شده Makower (۱۹۷۰) استفاده شد. در مرحله اول، به منظور استخراج اسید فیتیک دانه، به ۰/۱ گرم از نمونه آسیاب‌شده ۳ میلی‌لیتر اسید تری‌کلرو استیک ۱۲ درصد اضافه و پس از قرارگیری به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط با دور g × ۳۵۰۰ سانتریفیوژ قرار داده شدند. پس از آن، اسید فیتیک عصاره‌گیری شده توسط ۲ میلی‌لیتر سولفات سزیم ۵ درصد و ۰/۸ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۶ درصد رسوب داده شد. رسوب تشکیل‌شده با ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ حل شد و پس از هضم در دمای ۳۴۰ درجه سیلسیوس به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس به ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره گیاه محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار، مولیبدات آمونیوم ۱/۷۵ درصد و محلول مالاچیت گرین ۰/۰۳۵ درصد اضافه و پس از ۴۵ دقیقه مقدار جذب در طول‌موج ۶۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. استانداردهای مورد نیاز با غلظت‌های صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میکروگرم فسفر در لیتر با استفاده از فسفات پتاسیم ساخته شد و پس از اضافه‌کردن یک میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۰/۵ مولار، ۲۰۰ میکرولیتر محلول مولیبدات آمونیوم ۱/۷۵ درصد و ۲۰۰ میکرولیتر محلول مالاچیت گرین ۰/۰۳۵ درصد، مقدار جذب در طول‌موج ۶۱۰ نانومتر خوانده شد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز: با استفاده از روش Hemeda و Klein (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد.

در نهایت تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌های مربوط به صفات مورد بررسی (مساحت سطح برگ، عملکرد دانه، غلظت پتاسیم دانه، غلظت روی دانه، کلروفیل a، کلروفیل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

b، کارتنوئید، پروتئین دانه، پرولین، گلایسین بتائین، نسبت مولی اسید فیتیک به روی و فعالیت آنزیم پراکسیداز) نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (9.0) انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر تیمارهای مورد مطالعه بر روی صفات ارزیابی‌شده (مساحت سطح برگ، عملکرد دانه، غلظت پتاسیم دانه، غلظت روی دانه، کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، پروتئین دانه، پرولین، گلایسین بتائین، نسبت مولی اسید فیتیک به روی و فعالیت آنزیم پراکسیداز) در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود و تنها صفت RWC معنی‌دار نشد (جدول ۲ و ۳).

شاخص سطح برگ (LAI): نتایج نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار ششم (۴۵/۲۵ سانتی‌متر مربع) بود که در سطح آماری ۵ درصد ($P<0.05$) معنی‌دار بود. کمترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار اول با مقدار ۱۸ سانتی‌متر مربع بود. پس از تیمار ششم، بیشترین شاخص سطح برگ به ترتیب مربوط به تیمارهای پنجم (۴۱/۷۵ سانتی‌متر مربع)، سوم (۳۵/۲۵ سانتی‌متر مربع)، دوم (۳۲/۷۵ سانتی‌متر مربع) و چهارم (۲۹/۷۵ سانتی‌متر مربع) بود (شکل ۱).

در پژوهشی توسط Ahmad و همکاران (۲۰۲۳) استفاده از کود پتاسیم باعث بهبود ویژگی‌های رشد گیاه از جمله سطح برگ به مقدار ۱۲ درصد در مقایسه با شاهد شد. از آنجا که در شرایط دیم گیاه در حالت تنش خشکی یا کم آبی قرار دارد، لذا براساس گزارش‌های موجود تنش خشکی سطح برگ بسیاری از گیاهان را کاهش می‌دهد (Anjum *et al.*, 2011). این پدیده در گیاهان زیادی مانند ذرت (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۲)، نخود (عباسلو و همکاران، ۱۳۹۳)، گندم (Mahpara *et al.*, 2014)، جو (یزدی و همکاران، ۱۴۰۲)، جو (سرخی و همکاران، ۱۳۹۴) مشاهده شده است. افزایش سطح برگ به عوامل زیادی از جمله تغذیه متعادل، تورژسانس برگ، دما و عوامل رشد بستگی دارد که همه این موارد تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند (Nohong and Nompo, 2015). به محض آن که آب برگ کاهش می‌یابد، فشار تورژسانس بافت برگ‌ها کاهش یافته و برگ شروع به پژمرده‌شدن می‌کنند (Guerfel *et al.*, 2009). مناسب نبودن تورژسانس سلولی، کاهش تقسیم سلولی و کاهش هدایت روزنه‌ای یا بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و رشد گیاه را به همراه دارد که این‌ها از عوامل ثانویه کاهش سطح برگ قلمداد می‌شود (Nohong and Nompo, 2015; Mahpara *et al.*, 2014). این موارد، می‌تواند از جمله دلایل کاهش سطح برگ در تیمار اول که گیاه علاوه بر تنش کم آبی، تغذیه نامتعادل نیز داشته باشد. نتایج مطالعه حاضر با نتایج پژوهش Behboudian و Anderson (۲۰۰۶) در گیاه گوجه‌فرنگی و سایر محققان (Xi and Lihua, 1989; Zhao *et al.*, 2001) که نشان دادند که کمبود پتاسیم، منجر به کاهش سطح برگ شده مطابقت داشت.

اگر چه پتاسیم در ساختمان هیچ کدام از ترکیبات مهم گیاهی مانند پروتئین‌ها، چربی‌ها و قندها شرکت ندارد، اما به عنوان مهم‌ترین فعال‌کننده آنزیم‌های گیاهی، نقش مهمی در ساخته‌شدن این ترکیبات دارد. پتاسیم در فعال‌کردن آنزیم‌های احیاکننده گاز کربنیک نقش مهمی دارد. به همین دلیل کمبود آن باعث کاهش سوخت‌وساز گیاه شده، در نتیجه رشد و سطح برگ کاهش می‌یابد. برخی از پژوهشگران به نقش پتاسیم به عنوان یک عامل ایجادکننده فشار اسمزی و سهیم در تورم سلولی و مؤثر برای توسعه سلول اشاره کرده و تأکید کرده‌اند که حضور این عنصر برای توسعه سطح برگ در گیاه ضروری است (Jordan-Meille and Pellerin, 2008; Walker *et al.*, 1996). تأثیر پتاسیم در رشد به این دلیل قطعیت دارد که این عنصر در ساخت ترکیبات هیدروکربنی و پروتئین نقش مؤثرتری دارد و در بیشتر فعالیت‌های سلولی نقش دارد (سالاردینی، ۱۳۸۸). اثر فیزیولوژیک پتاسیم در گیاه شامل متعادل نمودن رشد، فشار اسمزی برگ‌ها، تنظیم آب مصرفی و آسیمیلات در اندام‌های مختلف گیاهی است (آلیاری و شکاری، ۱۳۷۹). ابوطالبیان و مقیسایی (۱۳۹۳) گزارش کردند که کاربرد سولفات روی سبب افزایش شاخص سطح برگ در مقایسه با شاهد در شرایط تنش شد. با توجه به نقش عنصر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر عملکرد دانه، غلظت پتاسیم در دانه، غلظت روی در دانه، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل

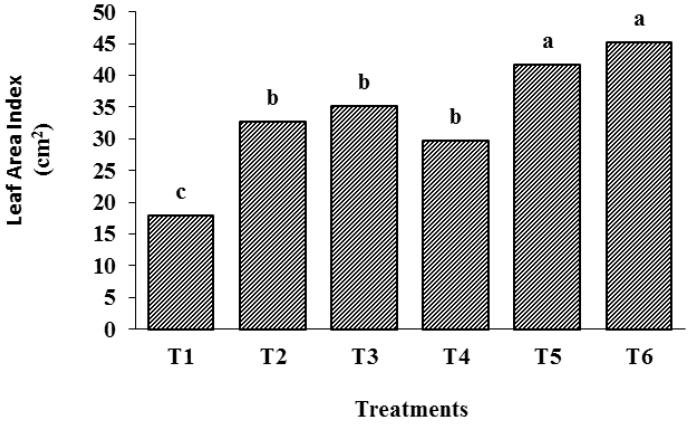
منابع تغییرات	درجه آزادی	سطح برگ	عملکرد دانه	غلظت پتاسیم در دانه	غلظت روی در دردانه	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
تیمار	۵	۳۷۰/۸۴**	۲۰۴۶۸۰۹/۵۹**	۲۳۳۶۱۴۵**	۱۷۸/۵۱**	۰/۴۴۹**	۰/۰۸۳*	۰/۲۸۵**
بلوک	۳	۱۳۲/۴۸**	۴۶۴۶۶/۸۴^{ns}	۴۵۷۳۷۳۷/۴۳**	۱۶۳/۵۷**	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۱۵۲**	۰/۱۳۲*
خطا	۱۵	۱۶/۵۲	۲۹۷۱۰/۱۸	۳۶۴۴۲/۷۱	۱/۲۱	۰/۰۲۳	۰/۰۱۹	۰/۰۲۴
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۸۹	۵/۵۳	۴/۹۹	۴/۱۸	۹/۱۸	۲۳/۸	۷/۰۴

****، * و ns به ترتیب علامت معنی‌دار بودن در سطح آماری ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری هستند.**

جدول ۳- خلاصه تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر کارتنوئید، پروتئین دانه، پرولین، گلایسین بتائین، RWC، نسبت مولی اسید فیتیک به روی و فعالیت آنزیم پراکسیداز

منابع تغییرات	درجه آزادی	کارتنوئید	پروتئین دانه	پرولین	گلایسین بتائین	RWC	نسبت مولی اسید فیتیک به روی	فعالیت آنزیم پراکسیداز
تیمار	۵	۰/۰۶۵**	۲/۶۴۸**	۸۴۶۴۷/۰۱**	۰/۷۳۸**	۶۶/۵۲^{ns}	۹۷۴/۵۳**	۰/۰۰۶**
بلوک	۳	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۴۶^{ns}	۱۵۴۱/۹۵^{ns}	۰/۰۴۷^{ns}	۲۵۰/۸۲*	۱۳۰۲/۹۸**	۰/۰۰۱^{ns}
خطا	۱۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۴۶	۱۴۴۵/۲۳	۰/۱۱۷	۵۳/۵۵	۵۹/۰۷	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۳/۶۴	۶/۴۵	۹/۶۱	۱۰/۴۸	۱۱/۵۱	۱۹/۵۳	۱۴/۰۷

****، * و ns به ترتیب علامت معنی‌دار بودن در سطح آماری ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری هستند.**



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف کودی بر شاخص سطح برگ گندم دیم.

T1 یا شاهد (مصرف همه کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک به جز پتاسیم و روی)، T2 (مصرف تمام کود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم، بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T3 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)، T4 (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T5 (مصرف تمام سولفات پتاسیم و سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T6 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

روی در ساخت کلروفیل و بهبود رشد سلول‌ها قابل توجیه است (Marschner, 2011). از سوی دیگر تأثیر مثبت روی بر افزایش سطح برگ به نقش آن در پروتئین‌سازی نیز نسبت داده شده است (Alloway, 2005). با توجه به نتایج مطالعه حاضر در شرایط استفاده از سولفات پتاسیم و روی شاخص سطح برگ بیشترین مقدار بود که با توجه به موارد گفته شده قابل توجیه است.

همچنین به منظور بررسی اثرگذاری سه تیمار اول یا شاهد (مصرف تمام کودها براساس آزمون خاک بجز پتاسیم و روی)، چهارم (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) و پنجم (مصرف تمام سولفات پتاسیم (SOP) و سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) بر شاخص سطح برگ، مقایسه میانگین سه تیمار شاهد، تیمار چهارم و تیمار پنجم، به صورت جداگانه انجام و در جدول ۴ گزارش شده است.

با توجه به جدول ۴، شاخص سطح برگ در تیمارهای مورد بررسی یکسان نبود و تیمار پنجم با تیمارهای اول و چهارم از نظر آماری تفاوت داشت.

عملکرد دانه: نتایج نشان داد که عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آزمایش یکسان نبود. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب ۴۴۷۲ و ۲۲۵۷ کیلوگرم در هکتار بود که به ترتیب مربوط به تیمارهای ششم و اول بود. نتایج همچنین نشان داد که تیمارهای دوم، سوم و چهارم از نظر آماری تفاوتی با یکدیگر نداشتند ولی با سایر تیمارها از نظر آماری متفاوت بودند (شکل ۲).

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که استفاده بهینه از کودها می‌تواند سبب افزایش عملکرد در گندم شود (ملکوتی، ۱۳۹۷). نتایج این مطالعه با سایر مطالعات قبلی همخوانی دارد (Tariq and Shah, 2002; Sharma *et al*., 2005; Evans and Riedell, 2006) که نشان دادند که عملکرد گندم در شرایط استفاده از کود پتاسیم به‌طورکلی افزایش می‌یابد. صادقی‌فرد و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای بر روی گندم بیان کردند که با کاهش دسترسی گیاه به آب فتوسنتز کاهش می‌یابد و در نهایت مقدار محصول به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد، اما مقادیر مناسب پتاسیم می‌تواند از این خسارت جلوگیری کند زیرا پتاسیم کافی در گیاه باعث ایجاد تعادل در پتانسیل آبی در گیاه و افزایش تولید ترکیبات آلی می‌شود.

نتایج این پژوهش نشان داد که تقسیط در مصرف کودهای حاوی پتاسیم و روی در مقایسه با مصرف کامل آن‌ها هنگام کاشت اثربخشی بیشتری در افزایش عملکرد دانه گندم دیم داشت (تیمار ششم در مقایسه با تیمارهای چهارم و پنجم). این نتایج با نتایج بهرامی (۱۳۹۷) مطابقت داشت. Bashir و همکاران (۲۰۲۳) گزارش دادند که استفاده از کودهای حاوی پتاسیم و روی توانست عملکرد گندم دیم را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. به‌طوری‌که مقدار عملکرد در تیمار حاوی پتاسیم و روی ۴۴۴۵ کیلوگرم در هکتار و در تیمار شاهد ۲۹۹۲ کیلوگرم در هکتار بود.

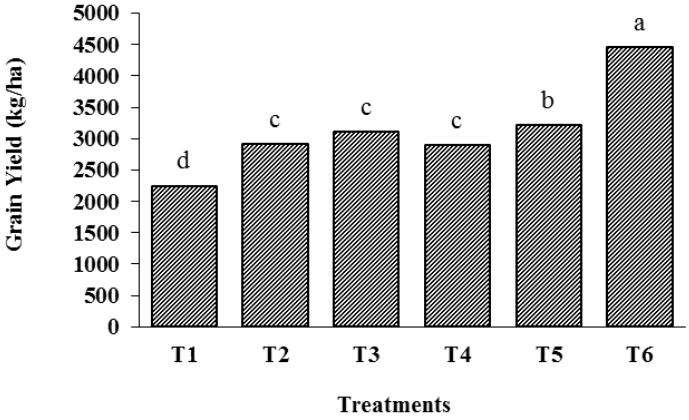
بررسی‌ها نشان داده است که پدیده تثبیت پتاسیم در خاک به‌طور معنی‌داری کارایی کودهای پتاسیمی را کاهش می‌دهد (Sparks, 2000). در پدیده تثبیت پتاسیم پتاسیم قابل جذب به شکل غیرقابل جذب تبدیل می‌شود و مقدار تثبیت بستگی به عواملی نظیر نوع و مقدار رس (Simonsson *et al*., 2007)، ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار کربنات کلسیم دارد (Sparks, 2000). تحت چنین شرایطی احتمال تثبیت پتاسیم به خصوص در خاک‌های تخلیه‌شده از پتاسیم زیاد بوده و این احتمال که پتاسیم مصرفی به جای این‌که به مصرف گیاه برسد صرف پر کردن فضای بین لایه‌ای رس‌ها برسد قوت می‌گیرد. از آنجا که خاک مزرعه تحت کشت در این مطالعه ۳۹ درصد رس داشت (جدول ۱)، بنابراین این احتمال که بخشی از پتاسیم تثبیت شده باشد وجود دارد. بین تیمارهای دوم و سوم که تفاوت بر نحوه مصرف پتاسیم بود اگر چه تفاوت آماری مشاهده نشد ولی تیمار سوم که پتاسیم به صورت تقسیط به کار رفته بود، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد بیشتری داشت که نشان‌دهنده اثربخشی بیشتر پتاسیم در شرایط تقسیط آن است. همچنین ضرورت مصرف کود روی برای افزایش عملکرد گندم به اثبات رسیده است (Seilsepour, 2014; Kumar and Qureshi, 2012; Brennan and Bolland, 2002; Dang *et al*., 2010; Singh *et al*., 2004; De Vasconcelos *et al*., 2011).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ (LAI) تحت تأثیر تیمارهای شاهد (T1)، مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز (T4) و مصرف تمام سولفات پتاسیم (SOP) و سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز (T5)

صفت	T1 (شاهد)	T4 (سولفات روی)	T5 (سولفات پتاسیم + سولفات روی)
شاخص سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	۱۸^{c}	۲۹/۷۵^{b}	۴۱/۷۵^{a}

*** حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.**



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد گندم دیم.

T1 یا شاهد (مصرف همه کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک به جز پتاسیم و روی)، T2 (مصرف تمام کود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم، بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T3 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)، T4 (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T5 (مصرف تمام سولفات پتاسیم و سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T6 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)

مطالعات نشان داده است که در اثر مصرف روی مقدار کل کربوهیدرات، نشاسته، ایندول استیک اسید، میزان کلروفیل و مقدار پروتئین دانه گندم افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار کربوهیدرات و بالارفتن مقدار کلروفیل a و b و مقدار ایندول استیک اسید ناشی از مصرف روی رشد گیاه بهتر شده و با افزایش سطح برگ‌ها محیط مناسب‌تری برای انجام فتوسنتز طولانی مدت‌تر فراهم می‌شود این محققین علت این امر را تولید بیشتر ایندول استیک اسید و در نتیجه جلوگیری از تخریب کلروفیل دانستند. روی با به تأخیرانداختن پیری، موجب بهبود تولید کربوهیدرات و انتقال آن به دانه‌های در حال رشد در دوره طولانی‌تری می‌شود (De Vasconcelos *et al.*, 2011; Kumar and Qureshi, 2012). بنابراین با افزایش مقدار کربوهیدرات در دانه وزن و در نتیجه عملکرد آن افزایش می‌یابد.

با توجه به آهکی‌بودن خاک‌های ایران عنصر روی به کربنات روی تبدیل ($ZnSO_4 + CaCO_3 = ZnCO_3 + CaSO_4$) و رسوب می‌کند (Lindsay, 1979). بنابراین به نظر می‌رسد تقسیط‌کردن سولفات روی سبب شده است مقدار روی که از دسترس گیاه خارج می‌شود کاهش یافته و مقدار بیشتری از این عنصر در دسترس گیاه قرار گیرد. نتایج همچنین نشان داد که تیمار ششم که سولفات پتاسیم و سولفات روی به صورت تقسیط استفاده شدند عملکرد بیشتری در مقایسه با تیمار پنجم که این دو کود قبل کشت استفاده شده بودند داشت که نشان‌دهنده این است که در شرایط تقسیط کارایی این دو عنصر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

به دلیل عدم تثبیت زیاد در خاک افزایش می‌یابد.

همچنین به منظور بررسی اثرگذاری سه تیمار اول شاهد (مصرف تمام کودهای شیمیایی براساس آزمون خاک بجز پتاسیم و روی)، چهارم (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) و پنجم (مصرف تمام سولفات پتاسیم (SOP) و سولفات روی براساس آزمون خاک قبل در پاییز) بر عملکرد دانه مقایسه میانگین سه تیمار شاهد تیمار چهارم و تیمار پنجم به صورت جداگانه انجام و در جدول ۵ گزارش شده است.

نتایج نشان داد که تیمار پنجم در مقایسه با تیمارهای چهارم و اول از نظر اثرگذاری بر عملکرد دانه تأثیر بیشتری داشت و این تأثیر معنی‌دار بود.

غلظت پتاسیم در دانه: نتایج نشان داد که اثر تیمارهای مختلف کودی بر غلظت پتاسیم در دانه گندم معنی‌دار ($P<0.05$) بود. بیشترین غلظت پتاسیم در دانه مربوط به تیمار ششم (۴۸۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. همچنین کمترین غلظت پتاسیم در دانه گندم نیز در تیمار اول یا شاهد (۲۸۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) مشاهده شد. تیمار ششم در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش به‌طور میانگین ۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم غلظت پتاسیم بیشتری داشت (شکل ۳A). نتایج سایر پژوهش‌ها نشان داد که در شرایط استفاده از پتاسیم غلظت این عنصر در دانه افزایش یافت (Tariq and Shah 2002; Hussain *et al.*, 2020). شهبازی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که غلظت پتاسیم دانه‌های گندم کشور ۴۰۵۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که غلظت پتاسیم به دست آمده از این مطالعه (تیمار ششم) در مقایسه با میانگین غلظت پتاسیم کشور قریب به ۲۰ درصد بیشتر بود که این نتیجه نشان‌دهنده اثربخشی مصرف سرک کودهای پتاسیم در افزایش غلظت آن در دانه گندم دیم است. همچنین میانگین غلظت پتاسیم دانه گندم در کشورهای چین و استرالیا به‌ترتیب به میزان ۴۸۴۷ و ۴۶۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است که با نتیجه به دست آمده از پژوهش حاضر تقریباً همخوانی دارد. مقدار پتاسیم قابل دسترس گیاهان بستگی به عواملی متعددی از جمله شدت هوادیدگی، زمان رسوب و نوع کانی‌های رسی موجود در خاک دارد (سالاردینی، ۱۳۸۴).

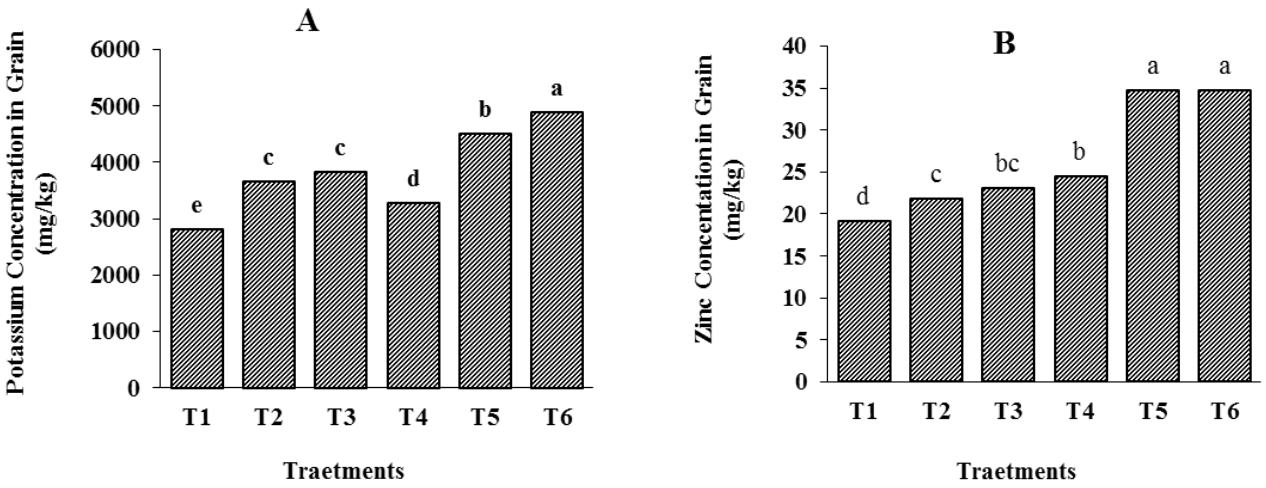
غلظت روی در دانه: نتایج نشان داد که بیشترین غلظت روی در دانه در تیمارهای پنجم و ششم مشاهده شد که میانگین غلظت روی در دانه در این دو تیمار ۳۴/۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. کمترین غلظت روی در دانه نیز مربوط به تیمار اول (شاهد) بود که مقدار آن ۱۹/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. بین تیمارهای سوم و چهارم و همچنین بین تیمارهای دوم و سوم از نظر غلظت روی در دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳B). ثواقبی و ملکوتی (۱۳۷۹) در یک مطالعه گلخانه‌ای نشان دادند که با مصرف سولفات روی غلظت روی در دانه از ۱۵/۸۰ به ۳۲/۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم رسید. Kashirad (۱۹۷۰) نیز نتایج مشابهی به دست آورد. Gupta و Hence (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که با مصرف کود پتاسیمی و روی در یک نوع خاک که دارای کمبود هر دو عنصر بودند غلظت پتاسیم و روی در دانه افزایش یافت. Savaghebi و Malakouti (۱۹۹۹) تأثیر برهمکنش پتاسیم و روی بر غلظت و جذب این دو عنصر در دانه گندم را مطالعه و گزارش کردند که در شرایط استفاده همزمان از این دو عنصر، غلظت آن‌ها در دانه افزایش یافت. غلظت توصیه‌شده برای روی در دانه گندم برای رسیدن به حداکثر عملکرد نسبی (۹۵ درصد)، ۲۵–۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (ملکوتی، ۱۳۹۷). با در نظر گرفتن این محدوده تنها غلظت روی در دو تیمار پنجم و ششم در دامنه مطلوب قرار داشت و در سایر تیمارهای کودی کمتر بود. در تیمار چهارم اگر چه سولفات روی استفاده شد ولی غلظت روی در دانه در دامنه مطلوب قرار نداشت. گندم گیاهی است که به ذات دارای غلظت پایینی از عنصر روی در دانه‌های خود است که این کمبود در شرایطی که غلظت روی قابل جذب خاک‌ها پایین باشد، تشدید می‌شود (Cakmak *et al.*, 2000). در ایران نیز شهبازی و بشارتی (۱۳۹۲) در تحقیقی به بررسی ۲۰۷۰۶ داده حاصل از نتایج آزمایشگاه‌های خاک کشور پرداختند و گزارش کردند که ۵۶ درصد خاک‌های کشور دارای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه گندم دیم تحت تأثیر تیمارهای شاهد (T1)، سولفات روی (T4) و سولفات پتاسیم + سولفات روی (T5)

صفت	T1 (شاهد)	T4 (سولفات روی)	T5 (سولفات پتاسیم + سولفات روی)
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	۲۲۵۷^{c}	۲۹۰۵^{b}	۳۲۳۱^{a}

*** حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.**



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف کودی بر غلظت پتاسیم (A) و روی (B) در دانه گندم دیم

T1 یا شاهد (مصرف همه کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک به جز پتاسیم و روی)، T2 (مصرف تمام کود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم، بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T3 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)، T4 (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T5 (مصرف تمام سولفات پتاسیم و سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T6 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)

غلظت روی کمتر از ۰/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و تنها ۳۱ درصد از خاک‌ها دارای غلظت روی بیشتر از ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم (حد بحرانی روی در خاک‌های ایران ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم توسط ملکوتی (۱۳۹۷) گزارش شده است) بودند. بنابراین از جمله عوامل کمبود روی در دانه‌های گندم کشور، می‌تواند کمبود این عنصر در خاک نیز باشد. کمبود روی در خاک‌ها تحت تأثیر غلظت آن در خاک، محتوی بالای کربنات کلسیم، مقدار کم ماده آلی، pH بالا و غلظت زیاد فسفر در خاک قرار دارد (ملکوتی، ۱۳۹۷). از جمله دلایل افزایش غلظت روی در تیمارهای پنجم و ششم می‌تواند به دلیل استفاده از سولفات روی و همچنین تثبیت کمتر روی در تیمار ششم در مقایسه با سایر تیمارهای کودی در آزمایش باشد. همچنین به نظر می‌رسد که استفاده همزمان کودهای حاوی پتاسیم و روی سبب هم‌افزایی در جذب این دو عنصر شده باشد.

همچنین به منظور بررسی اثرگذاری سه تیمار اول شاهد (مصرف تمام کودها براساس آزمون خاک بجز پتاسیم و روی)، چهارم (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) و پنجم (مصرف تمام سولفات پتاسیم (SOP) و سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) بر غلظت پتاسیم و روی در دانه گندم دیم، مقایسه میانگین سه تیمار شاهد، تیمار چهارم و تیمار پنجم به صورت جداگانه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

جدول ۶- مقایسه میانگین غلظت پتاسیم و روی در دانه گندم دیم تحت تأثیر تیمارهای شاهد (T1)، سولفات روی (T4) و سولفات پتاسیم + سولفات روی (T5)

صفت	T1 (شاهد)	T4 (سولفات روی)	T5 (سولفات پتاسیم + سولفات روی)
غلظت پتاسیم در دانه (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۸۱۰^{c}	۳۲۷۵/۱^{b}	۴۴۹۱/۸^{a}
غلظت روی در دانه (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۹/۱۵^{c}	۲۴/۴^{b}	۳۴/۶^{a}

*** حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.**

انجام و در جدول ۶ ارائه شده است.

نتایج نشان داد که بین سه تیمار مورد بررسی از نظر غلظت پتاسیم و روی در دانه اختلاف معنی‌دار بود و تیمار چهارم در مقایسه با دو تیمار دیگر غلظت پتاسیم و روی بیشتری در دانه داشت.

کلروفیل (شاخص سبزینگی برگ): نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در غلظت کلروفیل a بین تیمارها وجود داشت (شکل ۴). غلظت کلروفیل a در تیمار ششم در مقایسه با سایر تیمارها بیشتر بود. نتایج همچنین نشان داد که تیمارهای پنجم، سوم و دوم در مقایسه با تیمارهای اول (شاهد) و چهارم مقدار کلروفیل a بیشتری داشتند. همچنین مشخص شد که بیشترین مقدار کلروفیل b مربوط به تیمارهای چهارم، سوم و دوم بود که از نظر آماری نیز با سایر تیمارها تفاوت داشتند. کمترین مقدار نیز مربوط به تیمارهای ششم، پنجم و اول (شاهد) بود. مقدار کلروفیل کل در تیمارهای پنجم و ششم در مقایسه با سایر تیمارهای مورد مطالعه بیشتر بود. نتایج همچنین نشان داد که کمترین مقدار کلروفیل کل مربوط به تیمار اول (شاهد) بود. مقدار کلروفیل کل در تیمارهای دوم و سوم، اگر چه از نظر عددی در مقایسه با تیمارهای پنجم و ششم کمتر بودند ولی تفاوت آماری با هم نداشتند. با توجه به نتایج، محتوی کارتنوئید در تیمار ششم بیشترین و در تیمار اول کمترین مقدار بود. پس از تیمار ششم بیشترین مقدار کارتنوئید به ترتیب مربوط به تیمارهای پنجم، سوم، دوم و چهارم بود.

نتایج این پژوهش با مطالعات Yang و همکاران (۲۰۰۷) و عزیزآبادی و همکاران (۱۳۹۳) که مشاهده کردند در شرایط استفاده از پتاسیم محتوی کلروفیل برگ افزایش یافت، مطابقت داشت. نتایج بررسی Irmes و همکاران (۲۰۲۳) بر روی اثر کود روی بر خصوصیات فیزیولوژیک گندم مانند محتوای کلروفیل افزایش ۳۸ الی ۱۳۰ درصدی را نسبت به تیمار شاهد ($۱۴۵\mu g\ g^{-1}\ FW$) از خود نشان داد.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد تیمار اول که تحت تأثیر تغذیه نامتعادل در شرایط دیم (تنش خشکی) بود کمترین مقدار کلروفیل را داشت. Mafakheri و همکاران (۲۰۱۰) نیز به کاهش محتوی کلروفیل a و b طی تنش خشکی در ارقام گندم اشاره کرده‌اند. Oukarroum و همکاران (۲۰۰۹) کاهش فتوسنتز در اثر خشکی را به دلیل عوامل روزنه‌ای مانند کاهش هدایت روزنه‌ای و عوامل غیر روزنه‌ای مانند کاهش یا تخریب کلروفیل دانستند. Tatrai و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که تحت تنش خشکی کاهش فتوسنتز به دلیل کاهش کارایی تثبیت دی‌اکسید کربن در واحد سطح برگ نبوده بلکه به دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده است. همچنین در صورتی که دوره تنش طولانی شود گیاهان عدم تعادل یونی را تجربه می‌کنند که می‌تواند موجب پیری زودهنگام برگ‌ها و کاهش سطح فعال فتوسنتزکننده شود (Tosens *et al.*, 2012). تخریب غشاهای تیلاکوئیدهای کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز نیز می‌تواند از جمله دلایل احتمالی کمتربودن محتوی کلروفیل تحت تنش خشکی باشد (Rad *et al.*, 2012). همچنین با افزایش مقدار برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر اتیلن و آبسیزیک اسید در اثر تنش خشکی فعالیت کلروفیلاز تحریک می‌شود (Panahyankivi *et al.*, 2020) که در شرایط تنش خشکی احتمال افزایش ترشح این تنظیم‌کننده‌ها افزایش می‌یابد. در اثر تنش خشکی تشکیل پلاستیدهای جدید، کلروفیل a و b، کاروتن، یولوگزانتین و نئوگزانتین کاهش

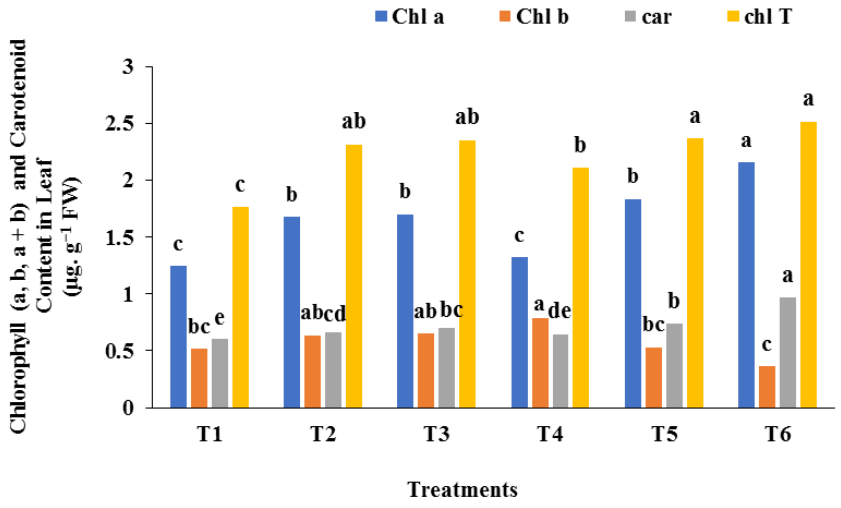
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

جدول ۷- مقایسه میانگین شاخص‌های سبزینگی در برگ گندم دیم تحت تأثیر تیمارهای شاهد (T1)، سولفات روی (T4) و سولفات پتاسیم + سولفات روی (T5)

شاخص‌های سبزینگی (میلی گرم در کیلوگرم)	T1 (شاهد)	T4 (سولفات روی)	T5 (سولقات پتاسیم + سولفات روی)
کلروفیلa	۱/۲۴۴^{c}	۱/۳۲۳^{b}	۱/۸۳۴^{a}
کلروفیل b	۰/۵۱۶^{b}	۰/۷۸۲^{a}	۰/۵۳۰^{b}
کلروفیل کل	۱/۷۶۱^{b}	۲/۱۰۶^{a}	۲/۳۶۵a
کارتنوئید	۰/۶۰۸^{b}	۰/۶۴۴^{b}	۰/۷۳۴^{a}

*حروف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.



شکل ۴- اثر تیمارهای مختلف کودی بر محتوی کلروفیل (a، b و a+b) و کارتنوئید در برگ پرچم

T1 یا شاهد (مصرف همه کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک به جز پتاسیم و روی)، T2 (مصرف تمام کود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم، بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T3 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)، T4 (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T5 (مصرف تمام سولفات پتاسیم و سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T6 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)

می‌یابد.

در مطالعه حاضر بیشترین مقدار کلروفیل در تیمارهای پنجم و ششم مشاهده شد. گیاهان با ذخیره مطلوب پتاسیم آب کمتری از دست می‌دهند. پتاسیم در باز و بسته شدن روزنه‌ها ایفای نقش نموده و به عنوان فعال‌کننده بسیاری از آنزیم‌ها در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و پروتئین شرکت می‌کند (ملکوتی، ۱۳۹۷). Aslam و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقات خود به منظور بررسی تأثیر کود روی بر عملکرد و محتوی کلروفیل گندم در پاکستان، گزارش کردند که عنصر روی باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد پنجه، وزن هزاردانه و افزایش محتوی کلروفیل و تجمع مواد غذایی در دانه شد. همچنین اعلام کردند با افزایش پتاسیم میزان انتقال روی به دانه افزایش یافت. به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که هم‌افزایی بین پتاسیم و روی در بهبود سبزینگی برگ وجود داشت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

همچنین به منظور بررسی اثرگذاری سه تیمار اول شاهد (مصرف تمام کودهای شیمیایی براساس آزمون خاک بجز پتاسیم و روی)، چهارم (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) و پنجم (مصرف تمام سولفات پتاسیم (SOP) و سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) بر شاخص‌های سبزینگی برگ پرچم مقایسه میانگین سه تیمار شاهد تیمار چهارم و تیمار پنجم به صورت جداگانه انجام و در جدول ۷ ارائه شده است.

نتایج مقایسه میانگین بین تیمارهای اول، چهارم و پنجم نشان داد که کلروفیل a و کارتنوئید در برگ پرچم در تیمار پنجم در مقایسه با دو تیمار دیگر بیشتر و معنی‌دار بود. همچنین کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار چهارم در مقایسه با دو تیمار دیگر قابل توجه بود. با توجه به بحث‌های انجام‌شده با سایر مطالعات نیز تطابق دارد.

پروتئین دانه: با توجه به نتایج بین تیمارها از نظر مقدار پروتئین دانه تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت (شکل ۵). به‌طوری‌که تیمار ششم با مقدار ۱۴/۶۵ درصد بیشترین و تیمار اول با مقدار پروتئین ۶/۶۷ درصد کمترین پروتئین دانه را داشتند. نتایج همچنین نشان داد که پس از تیمار ششم، بیشترین مقدار پروتئین به ترتیب مربوط به تیمارهای تیمارهای پنجم، چهارم، سوم بود.

نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه سیلسپور (۱۳۹۳) و Hussain و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت داشت که گزارش کردند در شرایط استفاده از پتاسیم و روی محتوی پروتئین دانه افزایش یافت. بهبود مقدار پروتئین دانه گندم در اثر کاربرد روی قبلاً توسط محققان گزارش شده است (Singh *et al.*, 2004; De Vasconcelos *et al.*, 2011). پتاسیم از طریق فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌های گیاهی که روی فرآیند فتوسنتز، کارایی مصرف آب، جذب نیتروژن و ساخت پروتئین دخالت دارند باعث افزایش میزان پروتئین دانه گندم می‌شود (Nguyen *et al.*, 2002; Michail *et al.*, 2004; Thalooth *et al.*, 2006). Marschner (۲۰۱۱) نیز با بررسی نتایج محققان دیگر اعلام کرد که در اثر کمبود روی به دلیل کاهش فعالیت آنزیم RNA، مقدار اسیدهای آمینه زیاد و در نتیجه مقدار پروتئین دانه شدیداً کاهش می‌یابد. با توجه به غلظت پتاسیم و روی دانه گندم چنین به نظر می‌رسد که چون کارایی جذب این دو عنصر در تیمار ششم بیشتر بوده است لذا سبب شده است تا غلظت پروتئین دانه نیز افزایش یابد. گزارش شده است که مکان ژن *Gpc B1* با میزان زیاد پروتئین دانه ارتباط دارد که افزایش روی، از طریق فاکتور رونویسی NAC ممکن است نقش مهمی در بیان ژن *Gpc B1* داشته که این ژن ضمن انتقال بیشتر روی به دانه همچنین به افزایش غلظت پروتئین دانه نیز کمک می کند.

همچنین به منظور بررسی اثرگذاری سه تیمار اول شاهد (مصرف تمام کودها براساس آزمون خاک بجز پتاسیم و روی)، چهارم (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) و پنجم (مصرف تمام سولفات پتاسیم (SOP) و سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) بر محتوای پروتئین دانه مقایسه میانگین سه تیمار شاهد تیمار چهارم و تیمار پنجم به صورت جداگانه انجام و در جدول ۸ گزارش شده است.

نتایج نشان داد که تأثیر تیمارها بر پروتئین دانه معنی‌دار بود و تیمار پنجم از تیمار اول و چهارم پروتئین دانه در آن بیشتر بود.

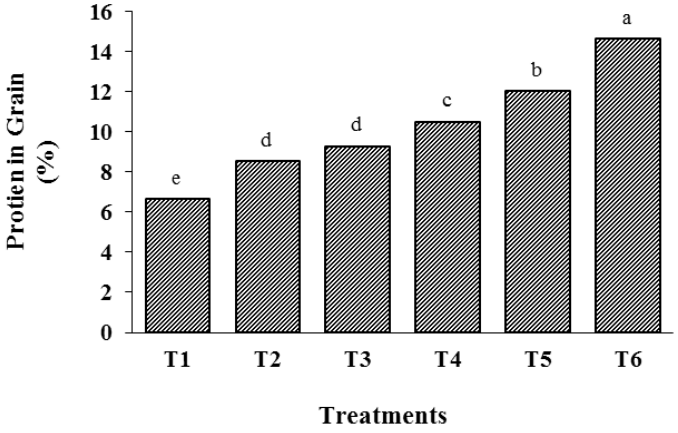
اسیدآمینه پرولین و گلایسین بتائین در برگ پرچم: نتایج نشان داد که بین تیمارهای مختلف از نظر محتوی اسیدآمینه پرولین در برگ پرچم تفاوت قابل توجه وجود داشت (شکل ۶). به‌طوری‌که بیشترین مقدار اسیدآمینه پرولین مربوط به تیمار چهارم (۵۶۸ میکروگرم در گرم وزن تر) و کمترین نیز مربوط به تیمار اول (۱۹۳ میکروگرم در گرم وزن تر) برگ پرچم بود. با توجه به نتایج به دست آمده بین تیمارهای پنجم و ششم از نظر مقدار اسیدآمینه پرولین در برگ پرچم گندم دیم تفاوتی مشاهده نشد اگر چه این دو تیمار با سایر تیمارها از نظر آماری تفاوت داشتند. با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین مقدار گلایسین بتائین موجود در برگ پرچم مربوط به تیمار ششم بود که مقدار آن ۳/۸۵ میکروگرم در گرم وزن تر برگ پرچم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

جدول ۸- مقایسه میانگین پروتئین در دانه گندم دیم تحت تأثیر تیمارهای شاهد (T1)، سولفات روی (T4) و سولفات پتاسیم + سولفات روی (T5)

شاخص‌ها	T1 (شاهد)	T4 (سولفات روی)	T5 (سولفات پتاسیم + سولفات روی)
پروتئین دانه (٪)	۶/۶۷۶^{c}	۱۰/۵۳۲^{b}	۱۲/۰۳۴^{a}

*** حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.**



شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف کودی بر مقدار پروتئین دانه گندم دیم

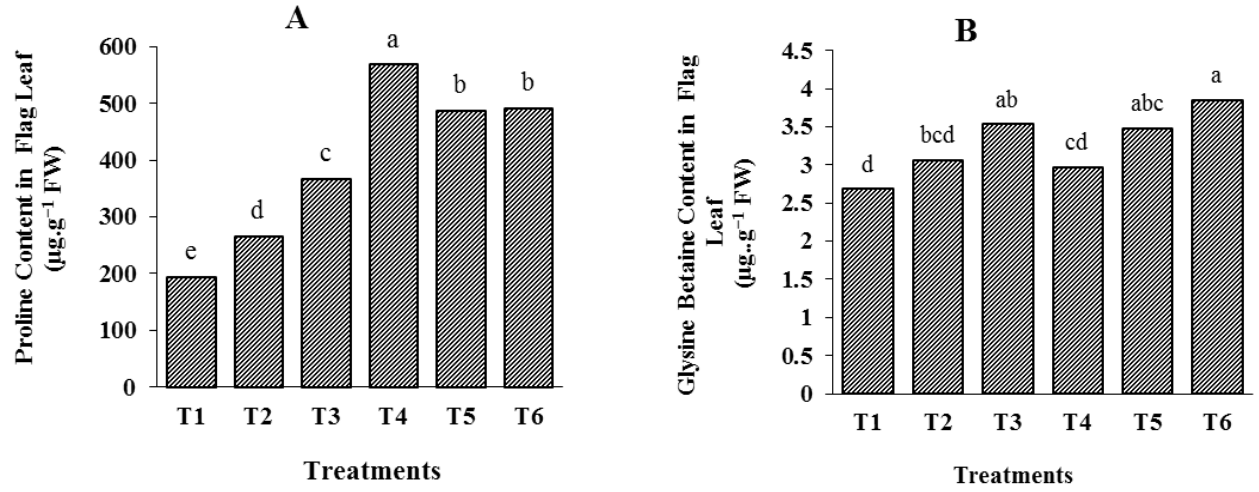
T1 یا شاهد (مصرف همه کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک به جز پتاسیم و روی)، T2 (مصرف تمام کود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم، بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T3 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)، T4 (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T5 (مصرف تمام سولفات پتاسیم و سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T6 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)

به دست آمد. نتایج همچنین نشان داد که کمترین مقدار گلایسین بتائین موجود در برگ پرچم نیز مربوط به تیمار اول بود که مقدار آن ۲/۶۹ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ پرچم بود. با توجه به نتایج به دست آمده بین تیمارها از نظر مقدار گلایسین بتائین در برگ پرچم تفاوت آماری قابل‌توجهی وجود داشت و نتایج همچنین نشان داد که پس از تیمار ششم بیشترین مقدار گلایسین بتائین در برگ پرچم به ترتیب مربوط به تیمارهای سوم، پنجم، دوم و چهارم بود.

در شرایط دیم رطوبت از طریق آب باران تأمین می‌شود. در صورتی که گیاه تحت شرایط تنش کم آبی قرار گیرد، در این شرایط تجمع محافظین اسمزی یکی از مهمترین عوامل حفظ گیاهان در مقابل تنش‌های غیرزنده است. در این میان می‌توان به تجمع پرولین، قندهای محلول و برخی از یون‌ها اشاره کرد (Marschner, 2011). مشخص شده است که کاهش تورژسانس عامل اولیه تجمع پرولین در تنش‌های خشکی است. کاهش تورژسانس باعث فعال‌شدن یک توالی پیچیده از فرآیندهای تطابقی مرتبط با سطح تحمل گیاه به تنش می‌شود (Marschner, 2011). Tsugane و همکاران (۱۹۹۹) بیان کردند که پرولین علاوه بر شرکت در تنظیم اسمزی نقش‌های مهمی مانند حفاظت از سیستم‌های غشای سلول، سمیت‌زدایی و تنظیم اسیدیته سیتوزل را نیز بر عهده دارد. گزارش شده است که پتاسیم نقش اساسی در تنظیم اسمزی گیاهان دارد و ممکن است تغییرات آن با تغییرات قندها و سایر اسیدهای آمینه نیز همراه باشد (Marschner, 2011). Cakmak (۲۰۰۵)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]



شکل ۶- اثر تیمارهای مختلف کودی بر مقدار پرولین (A) و گلایسین بتائین (B) دانه گندم دیم

T1 یا شاهد (مصرف همه کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک به جز پتاسیم و روی)، T2 (مصرف تمام کود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم، بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T3 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)، T4 (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T5 (مصرف تمام سولفات پتاسیم و سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T6 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)

در پژوهشی اظهار داشت که پتاسیم نقش حیاتی در فتوسنتز دارد چون باعث افزایش مستقیم رشد، شاخص سطح برگ و جذب دی‌اکسید کربن می‌شود و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به خارج برگ را تسهیل می‌کند. نتیجه این فعالیت تشکیل شبکه ATP بیشتر است که برای تجمع مواد فتوسنتزی در آوندهای آبکش لازم است.

نتایج این مطالعه نشان داد که در تیمار اول و تیمارهایی که تغذیه متعادل نداشتند، انباشت پرولین و گلاسین بتائین کمتر بود. معمولاً در گیاهانی که در معرض شرایط تنش قرار گرفته‌اند تجمع پرولین و گلایسین بتائین، احتمالاً در تنظیم و حفظ فعالیت آنزیمی گیاه تحت تنش نقش دارند (سعادتی و همکاران، ۱۳۸۳). Rivelli و همکاران (۲۰۰۲) و Munns (۲۰۰۲) گزارش کردند که تولید اسمولیت‌ها نظیر پرولین، گلایسین بتائین، ساکارز و غیره در سلول‌های برگی، هزینه‌بر است و تولید آن سبب کاهش و بازدارندگی فرآیندهای مورد نیاز رشد می‌گردد (میزان ATP مورد نیاز برای تولید و تجمع اسمولیت‌ها ۳۰ تا ۵۰ مول ATP). احتمالاً تیمار اول (شاهد)، چون در شرایط تنش کم آبی به دلیل شرایط دیم نیز بوده است (مشابه سایر تیمارها) و به دلیل تغذیه نامتعادل رشد کمتری نسبت به سایر تیمارها داشته و از این‌رو خود را با این شرایط سازگار کرده است و این سبب شده است تا مقدار پرولین و گلایسین بتائین کمتری در مقایسه با تیمارهای پنجم و ششم در خود انباشت کند.

منابع علمی مجموعاً نشان می‌دهند که تنش خشکی و کوددهی نامتعادل هر دو می‌توانند بر سنتز پرولین در گیاهان تأثیر بگذارند (Farooq *et al.*, 2012; De Oliveira *et al.*, 2012). Farooq و همکاران (۲۰۱۲) اثرات تنش خشکی را بر فیزیولوژی گیاه از جمله کاهش جذب آب، کاهش فتوسنتز و سطوح پایین پرولین بررسی کردند. علاوه‌براین گزارش شده است که تنش خشکی می‌تواند منجر به افزایش تجمع پرولین به عنوان یک پاسخ تنظیم‌کننده اسمز شود (De Oliveira *et al.*, 2012). از سوی دیگر اهمیت در دسترس‌بودن نیتروژن برای سنتز پرولین توسط Meena و همکاران (۲۰۱۹) مورد بحث قرار گرفت و نشان داده شد که تغذیه نامتعادل با نیتروژن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

ناکافی می‌تواند تولید پرولین را در گیاهان محدود کند.

با توجه به اینکه در تیمار اول (شاهد)، کودهای حاوی پتاسیم و روی استفاده نشده است و این دو عنصر در توسعه سیستم ریشه نقش قابل‌توجهی دارند (Marschner, 2011)، بنابراین در تیمار اول احتمالاً توسعه سیستم ریشه در مقایسه با تیمارهای پنجم و ششم کمتر بوده است و جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و نیتروژن کمتر بوده است (کمتر بودن غلظت کلروفیل در تیمار اول در مقایسه با تیمارهای پنجم و ششم می‌تواند تأییدکننده این موضوع نیز باشد). از این‌رو هنگامی که گیاه به دلیل تغذیه نامتعادل کمبود نیتروژن را تجربه می‌کنند، توانایی آن‌ها برای سنتز اسیدهای آمینه از جمله پرولین کاهش می‌یابد. نیتروژن جز کلیدی مورد نیاز برای سنتز پروتئین و متابولیسم اسیدهای آمینه است (Meena *et al*., 2019). جذب ناکافی نیتروژن می‌تواند تولید پرولین را محدود کند و منجر به کاهش سطح پرولین در گیاهان در مقایسه با تغذیه متعادل شود.

همچنین گزارش شده است که نسبت نامتعادل نیتروژن به فسفر نیز می‌تواند بر متابولیسم اسیدآمینه پرولین تأثیر بگذارد (Zhang *et al*., 2020). سطوح بالای فسفر نسبت به نیتروژن، می‌تواند متابولیسم نیتروژن را مختل کند و سنتز پرولین را تحت تأثیر قرار دهد. در چنین مواردی ممکن است میزان تولید پرولین در مقایسه با تغذیه متعادل کاهش یابد. عدم توسعه ریشه در تیمارهایی که تغذیه نامتعادل داشتند نیز احتمالاً می‌تواند بر روی نسبت نیتروژن به فسفر تأثیر بگذارد که به دنبال آن سبب تأثیر بر روی ترشح پرولین شود. همچنین در شرایط تنش خشکی گیاهان ممکن است کمبود آب قابل توجهی را تجربه کنند که منجر به کاهش فعالیت فتوسنتزی و محدودیت در دسترس بودن کربن شود. سنتز پرولین به انرژی و اسکلت کربنی نیاز دارد که از فتوسنتز به دست می‌آید. با فعالیت محدود فتوسنتزی تحت تنش شدید خشکی سنتز پرولین ممکن است کاهش یابد و در نتیجه سطح پرولین کمتری در مقایسه با شرایط متعادل ایجاد شود. از آنجا که در تیمار اول که پتاسیم و روی استفاده نشده است و همچنین با توجه به نقش پتاسیم در سلول‌های نگهبان روزنه و فرایند فتوسنتز احتمالاً مواد فتوسنتزی لازم برای سنتز پرولین در این تیمار وجود نداشته است و سبب شده است که مقدار پرولین و گلایسین بتائین در این تیمار در مقایسه با تیمارهای دیگر کمتر باشد.

لازم به ذکر است که واکنش‌های خاص گیاهان به تنش خشکی و کوددهی نامتعادل می‌تواند بسته به گونه گیاهی، مرحله رشد آن و شدت و مدت تنش متفاوت باشد. گیاهان مختلف ممکن است در شرایط تنش مشابه تغییراتی در تجمع اسیدآمینه پرولین نشان دهند. علاوه‌براین سایر عوامل و مسیرهای سیگنالینگ (Signaling pathway) نیز می‌توانند بر متابولیسم پرولین در گیاهان تأثیر بگذارند.

همچنین به منظور بررسی اثرگذاری سه تیمار اول شاهد (مصرف تمام کودهای شیمیایی براساس آزمون خاک بجز پتاسیم و روی)، چهارم (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) و پنجم (مصرف تمام سولفات پتاسیم (SOP) و سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) بر محتوای اسید آمینه پرولین و گلایسین بتائین، مقایسه میانگین سه تیمار شاهد، تیمار چهارم و تیمار پنجم به صورت جداگانه انجام و در جدول ۹ ارائه شده است.

نتایج مقایسه میانگین سه تیمار اول، چهارم و پنجم نشان داد که محتوای پرولین در تیمار چهارم و محتوای گلایسین بتائین در تیمار پنجم در مقایسه با سایر تیمارها بیشتر و از نظر آماری نیز معنی‌دار بود.

شاخص RWC در برگ پرچم: نتایج نشان داد که اگر چه مقادیر عددی محتوی نسبی آب برگ (RWC) گندم دیم در تیمارهای مختلف یکسان نبود، ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از نظر آماری مشاهده نشد. با این وجود از نظر عددی بیشترین محتوی نسبی آب (RWC) برگ، مربوط به تیمار ششم (۷۰/۲۲۵ درصد) و کمترین آن نیز مربوط به تیمار اول یا شاهد (۵۹/۲۰ درصد) بود (شکل ۷).

RWC یک شاخص مهم برای وضعیت آب در گیاهان است. این شاخص نشان‌دهنده تعادل بین تأمین آب به بافت

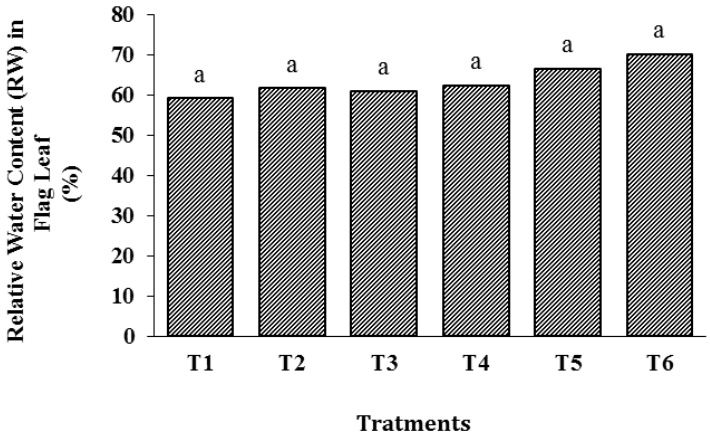
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

جدول ۹- مقایسه میانگین اسیدآمینه پرولین و گلایسین بتائین برگ گندم دیم تحت تأثیر تیمارهای شاهد (T1)، سولفات روی (T4) و سولفات پتاسیم + سولفات روی (T5)

صفات	T1 (شاهد)	T4 (سولفات روی)	T5 (سولفات پتاسیم + سولفات روی)
پرولین (میکروگرم در گرم وزن تر)	۱۹۳/۸۸۶^{c}	۵۶۸/۲۷۹^{a}	۴۸۷/۰۴۸^{b}
گلایسین بتائین (میکروگرم در گرم وزن تر)	۲/۶۸۹^{b}	۲/۹۷۴^{b}	۳/۴۸۲^{a}

*** حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.**



شکل ۷- اثر تیمارهای مختلف کودی بر شاخص RWC برگ گندم دیم

T1 یا شاهد (مصرف همه کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک به جز پتاسیم و روی)، T2 (مصرف تمام کود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم، بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T3 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)، T4 (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T5 (مصرف تمام سولفات پتاسیم و سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T6 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)

برگ و میزان تعرق در گیاه است (Lugojan and Ciulca, 2011). علاوه‌براین، RWC یکی از پارامترهای مهم فیزیولوژیکی است که همبستگی خوبی با مقاومت آن به خشکی دارد (Colom and Vazzana, 2003). نتایج این پژوهش نشان داد که میزان نسبی آب برگ در تیمار شاهد ۵۹/۲ درصد و در تیمارهای دوم، سوم، چهارم، پنجم و ششم به ترتیب ۶۱/۶۵، ۶۱، ۶۲/۴۵، ۶۶/۵۵ و ۷۰/۲۲ درصد بود. محققان میزان مناسب آب نسبی برگ برای گیاهان را برابر با ۸۵ تا ۹۵ درصد اعلام کرده‌اند (Lugojan and Ciulca, 2011). از این‌رو، پایین‌بودن RWC به دلیل بارندگی کمتر از نیاز گیاه و وجود تنش خشکی در سال زراعی این تحقیق است.

همچنین به منظور بررسی اثرگذاری سه تیمار اول شاهد (مصرف تمام کودهای شیمیایی براساس آزمون خاک بجز پتاسیم و روی)، چهارم (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) و پنجم (مصرف تمام سولفات پتاسیم (SOP) و سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) بر شاخص RWC، مقایسه میانگین سه تیمار شاهد، تیمار چهارم و تیمار پنجم به صورت جداگانه انجام و در جدول ۱۰ گزارش شده است.

نتایج مقایسه میانگین سه تیمار اول، چهارم و پنجم نشان داد که تیمار پنجم دارای مقدار RWC بیشتری در مقایسه با دو تیمار دیگر بود و این مقدار از نظر آماری نیز معنی‌دار بود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

جدول ۱۰- مقایسه میانگین شاخص RWC در برگ گندم دیم تحت تأثیر تیمارهای شاهد (T1)، سولفات روی (T4) و سولفات پتاسیم + سولفات روی (T5)

صفت	T1 (شاهد)	T4 (سولفات روی)	T5 (سولفات پتاسیم + سولفات روی)
RWC (%)	۵۹[b]	۶۲[b]	۶۷[a]

*** حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.**

نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه: نتایج نشان داد نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه گندم دیم در بین تیمارهای مختلف یکسان نبود ($P<0.01$) و مقدار آن تحت تأثیر مدیریت کودی متفاوت بود. کمترین نسبت مولی اسید فیتیک به روی مربوط به تیمار ششم و بیشترین این نسبت نیز مربوط به تیمار اول (شاهد) بود که مقادیر آن‌ها به ترتیب ۲۲/۱۷ و ۶۲/۶۶ بود. همچنین پس از تیمار ششم کمترین مقدار این شاخص به ترتیب (از کمترین به بیشترین) مربوط به تیمارهای پنجم (۲۲/۰۹)، چهارم (۳۷/۹۶)، سوم (۴۴/۷۲) و دوم (۴۶/۴۹) بود (شکل ۸).

صادقی‌فرد و همکاران (۱۴۰۱) گزارش نمودند که استفاده از کود پتاسیمی در گندم دیم، باعث کاهش معنی‌داری در نسبت مولی اسید فیتیک به روی در مقایسه با تیمار شاهد شده بود که این نتیجه با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. وجود مقدار زیادی از مواد ضدتغذیه‌ای از جمله فیتات و تانن، سبب کاهش زیست‌فراهمی عناصر غذایی نظیر روی، آهن و کلسیم و وجود پیش‌برنده‌هایی مانند ویتامین A، بتاکاروتن (β- carotene) و ویتامین C، نیز سبب افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی برای مصرف‌کننده می‌شوند (Khoshgoftarmanesh *et al*., 2010). از بین ترکیبات ضدتغذیه‌ای، فیتات مهمترین ترکیب در کاهش جذب عناصر غذایی (از جمله روی، آهن و کسیم) بوده و اهمیت دیگر ترکیبات، کمتر است (Khoshgoftarmanesh *et al*., 2010). با توجه به نوع رقم، ۷۰ تا ۹۰ درصد فسفر در دانه، به شکل فیتات ذخیره می‌شود (Khoshgoftarmanesh *et al*., 2010). ساختار شیمیایی اسید فیتیک یا میو اینوزیتول بیس فسفات در شکل ۹ نشان داده شده است.

در pH طبیعی اسید فیتیک به‌دلیل داشتن بار الکتریکی منفی ناشی از گروه‌های باردار با عناصر غذایی مانند روی، آهن و کلسیم پیوند برقرار کرده و سبب ایجاد کمپلکس‌های نامحلول می‌شود که به‌دنبال آن زیست‌فراهمی یا قابلیت جذب عناصر در بدن را کاهش می‌دهد (Martin and Evans, 1986).

برای کاهش تأثیر اسید فیتیک در جذب عناصر غذایی توسط بدن شاخصی بنام نسبت مولی اسید فیتیک به روی معرفی شده که یک شاخص مهم برای تعیین زیست‌فراهمی روی و دیگر عناصر در دانه برای مصرف‌کننده در نظر گرفته شده است (Khoshgoftarmanesh *et al*., 2010). اگر این نسبت بیشتر از ۱۵ باشد تنها ۱۵-۱۰ درصد روی قابل دسترس و اگر این نسبت بین ۱۵-۱۰ باشد، ۳۵ درصد روی قابل دسترس و هنگامی که این نسبت کمتر از ۵ باشد، ۵۵-۴۵ درصد روی قابل دسترس است. با کاهش این نسبت زیست‌فراهمی روی و دیگر عناصر غذایی افزایش می‌یابد. در اصل افزایش غلظت روی سبب می‌شود پیش از ورود اسید فیتیک به دستگاه گوارش اسید فیتیک با این فلز تشکیل کمپلکس دهد و قدرت تشکیل پیوند آن با عناصر غذایی کاهش یابد (Wang *et al*., 2020).

به منظور بررسی اثرگذاری سه تیمار اول شاهد (مصرف تمام کودهای شیمیایی براساس آزمون خاک بجز پتاسیم و روی)، چهارم (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) و پنجم (مصرف تمام سولفات پتاسیم (SOP) و سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) بر نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه گندم دیم مقایسه میانگین سه تیمار شاهد، تیمار چهارم و تیمار پنجم به صورت جداگانه انجام و در جدول ۱۱ ارائه شده است.

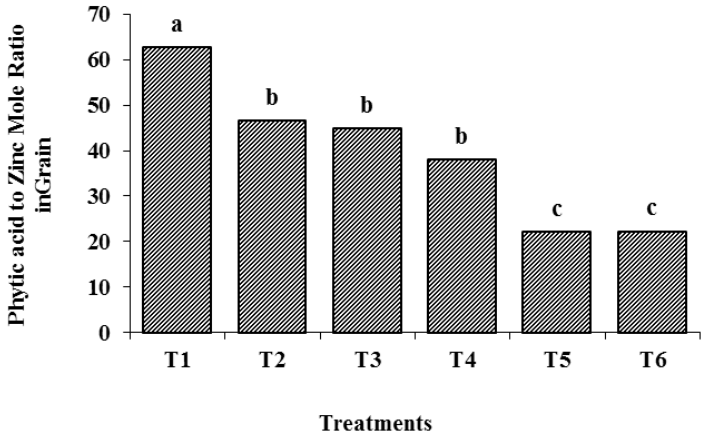
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

جدول ۱۱- مقایسه میانگین نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه گندم دیم تحت تأثیر تیمارهای شاهد (T1)، سولفات روی (T4) و سولفات پتاسیم + سولفات روی (T5)

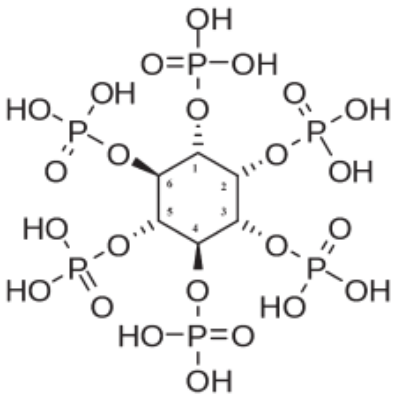
صفت	T1 (شاهد)	T4 (سولفات روی)	T5 (سولفات پتاسیم + سولفات روی)
نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه	۶۲/۶۵[a]	۳۷/۹۵[b]	۲۲/۰۸[c]

*** حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.**



شکل ۸- اثر تیمارهای مختلف کودی بر نسبت مولی اسید فیتیک به روی دانه گندم دیم

T1 یا شاهد (مصرف همه کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک به جز پتاسیم و روی)، T2 (مصرف تمام کود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم، بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T3 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)، T4 (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T5 (مصرف تمام سولفات پتاسیم و سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T6 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)



شکل ۹- ساختمان اسید فیتیک یا میواینوزیتول بیس فسفات

نتایج مقایسه میانگین صفت نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه در بین تیمارهای اول، چهارم و پنجم نشان داد که تیمار اول (شاهد) دارای بیشترین مقدار نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه بود و کمترین این نسبت نیز مربوط به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

تیمار پنجم بود. با توجه به این که این صفت یک شاخص ضدتغذیه‌ای و نامطلوب است، لذا این نتیجه نشان داد که تیمار پنجم (مصرف توأمان سولفات پتاسیم و سولفات روی) اثر بهتری در افزایش کیفیت دانه گندم دیم داشته است.

فعالیت آنزیم گیاهی پراکسیداز در برگ پرچم: نتایج نشان داد که اختلاف فعالیت آنزیم گیاهی پراکسیداز برگ پرچم در تیمارهای مختلف در سطح آماری پنج درصد ($P<0.05$) معنی‌دار بود. میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ پرچم در تیمار شاهد ۰/۱۶۸ میکرومول در دقیقه در میلی‌لیتر بود. در-حالی‌که فعالیت آنریم پراکسیداز برگ پرچم در تیمارهای دوم، سوم، چهارم، پنجم و به ترتیب ۰/۲۳۴، ۰/۲۵۹، ۰/۱۹۱، ۰/۲۳۵ و ۰/۲۶۷ میکرومول در دقیقه در میلی‌لیتر بود (شکل ۱۰).

با توجه به بالاترین مقدار عددی نتایج به‌دست‌آمده در تیمارهای سوم و ششم، ممکن است افزودن پتاسیم در فصل بهار بتواند محرکی برای تولید بیشتر آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش خشکی باشد. تنش خشکی فرآیند فتوسنتز را مختل می‌کند. نتایج بدست آمده با گزارش Sattar و همکاران (۲۰۲۱) مبنی بر افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط استفاده از کود روی در گندم نسبت به تیمار شاهد مطابقت دارد. در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی، نسبت H^+ و NADP+/NADPH در اندام کلروپلاست به دلیل عدم مصرف H^+ و NADPH برای تثبیت دی‌اکسید کربن در چرخه کالوین کاهش می‌یابد. کاهش نسبت‌های ذکرشده باعث توقف زنجیره انتقال الکترون کلروپلاستیک و تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) می‌شود (Labudda and Azam, 2014). گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده در شرایط تنش خشکی باعث آسیب به ساختار سلولی، پروتئین‌ها، چربی‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک شده و در نهایت منجر به مرگ سلولی می‌شود. گیاهان از یک سیستم دفاعی پیچیده برای مقابله با اثرات نامطلوب گروه‌های فعال اکسیژن در طول تنش خشکی استفاده می‌کنند (Gill and Tuteja, 2010). محققان نیاز به مقادیر زیاد پتاسیم را به نقش بازدارنده پتاسیم در برابر تولید گروه‌های فعال اکسیژن در طی فتوسنتز و اکسیداسیون NADPH نسبت داده‌اند (Gallego *et al*., 1999). دلیل افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها در اثر کاربرد پتاسیم می‌تواند به دلیل تأثیر پتاسیم بر روی مقادیر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باشد. همچنین پتاسیم با باز و بسته کردن روزنه‌ها و دی‌اکسید کربن ورودی به گیاه، گروه‌های فعال اکسیژن را کاهش داده و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی را در گیاه افزایش می‌دهد (Waraich *et al*., 2011). شاید یکی از دلایل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به ویژه سوپراکسید دیسموتاز، برهمکنش مثبت پتاسیم و روی در گیاه باشد. علاوه‌براین عنصر روی همراه با مس بخش اصلی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را به عنوان یک پاک‌کننده رادیکال‌های آزاد تشکیل می‌دهد (Alloway, 2005). محققان بیان کردند که استفاده از سولفات پتاسیم و سولفات روی باعث افزایش قابل‌توجه ظرفیت آنتی-اکسیدانی کل، آنزیم‌های فلاونوئیدی و آنتی‌اکسیدانی کل می‌شود و استفاده از هر یک از عوامل به تنهایی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (Farzane *et al*., 2021; GAO *et al*., 2020).

همچنین به منظور بررسی اثرگذاری سه تیمار اول شاهد (مصرف تمام کودها براساس آزمون خاک بجز پتاسیم و روی)، چهارم (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) و پنجم (مصرف تمام سولفات پتاسیم (SOP) و سولفات روی براساس آزمون خاک در پاییز) بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ پرچم، مقایسه میانگین سه تیمار شاهد، تیمار چهارم و تیمار پنجم به صورت جداگانه انجام و در جدول ۱۲ گزارش شده است.

نتایج مقایسه میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ بین تیمارهای اول، چهارم و پنجم نشان داد که فعالیت این آنزیم در تیمار پنجم در مقایسه با تیمارهای اول و چهارم بیشتر بود و این تفاوت از نظر آماری نیز معنی‌دار بود.

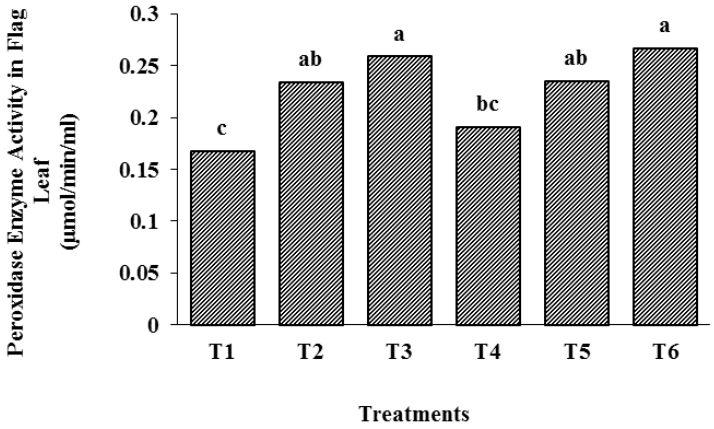
برآورد اقتصادی: نتایج محاسبات اقتصادی نشان داد که بیشترین سود اقتصادی (در مقایسه با تیمار اول یا شاهد)، متعلق به تیمار ششم بود. پس از تیمار ششم و در مقایسه با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

جدول ۱۲- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ پرچم تحت تأثیر تیمارهای شاهد (T1)، سولفات روی (T4) و سولفات پتاسیم + سولفات روی (T5)

صفت	T1 (شاهد)	T4 (سولفات روی)	T5 (سولفات پتاسیم + سولفات روی)
فعالیت پراکسیداز (میکرومول در دقیقه در میلی‌لیتر)	۰/۱۶۸^{c}	۰/۱۹۱^{b}	۰/۲۳۵^{a}



شکل ۱۰- اثر تیمارهای مختلف کودی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ گندم دیم

T1 یا شاهد (مصرف همه کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک به جز پتاسیم و روی)، T2 (مصرف تمام کود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم، بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T3 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)، T4 (مصرف تمام کود روی از منبع سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T5 (مصرف تمام سولفات پتاسیم و سولفات روی بر اساس آزمون خاک در پاییز)، T6 (مصرف ۳۳ درصد سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در بهار)

جدول ۱۳- محاسبه نسبت فایده به هزینه تیمارهای مورد مطالعه نسبت به تیمار شاهد (تیمار اول)

تیمار	هزینه‌های انجام‌شده برای مصرف کود شیمیایی (تومان)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	درآمد حاصل از افزایش عملکرد دانه (تومان)	تفاوت درآمد با تیمار شاهد (تومان)
تیمار اول	–	۲۲۵۷	۳۳۸۵۵۰۰۰	–
تیمار دوم	۸۰۰۰۰	۲۹۱۵	۴۳۷۲۵۰۰۰	۹۸۷۰۰۰۰
تیمار سوم	۵۰۰۰۰۰+۸۰۰۰۰	۳۱۱۵	۴۶۷۲۵۰۰۰	۱۲۸۷۰۰۰۰
تیمار چهارم	۵۰۰۰۰	۲۹۰۵	۴۳۵۷۵۰۰۰	۹۷۲۰۰۰۰
تیمار پنجم	۱۳۰۰۰۰	۳۲۳۱	۴۸۴۶۵۰۰۰	۱۴۶۱۰۰۰۰
تیمار ششم	۵۰۰۰۰۰+۱۳۰۰۰۰	۴۴۷۲	۶۷۰۸۰۰۰۰	۳۳۲۲۵۰۰۰

*** قیمت خرید هر کیلوگرم گندم در سال ۱۴۰۱، ۱۱۵۰۰ تومان، سولفات پتاسیم، سولفات روی به ترتیب هر کیلوگرم ۸۰ و ۵۰ هزار تومان در نظرگرفته شد. مقدار سولفات پتاسیم و سولفات روی استفاده‌شده به ترتیب ۱۰۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار بود.**

*** هزینه کودپاشی به صورت سرک ۵۰۰ هزار تومان (کارگر روز مزد)**

*** با توجه به کودپاشی عمومی شامل (اوره و سوپر فسفات تریپل) در زمان کشت و همزمان با هزینه بذرکاری، هزینه خاصی برای کاربرد این کودها در نظر گرفته نشد.**

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

تیمار اول (شاهد)، تیمارهای پنجم، سوم، دوم و چهارم، بیشترین سود اقتصادی را داشتند (جدول ۱۳).

نتیجه‌گیری

با توجه به کمبود عناصر ضروری نظیر پتاسیم و روی در برخی از خاک‌های مناطق تحت کشت گندم دیم غرب کشور و با عنایت به نقش مؤثر و مهم این عناصر در ارتقاء کارایی مصرف آب و همچنین دخیل‌بودن این عناصر در ساختار و تقسیم سلولی و رشد گیاه و تولید هیدروکربن و انتقال سریع آن به دانه، همچنین به دلیل تأثیر عنصر روی در فعالیت آنزیم‌های کربنیک انهیدراز، پپتیداز، پروتئیناز و دهیدروژناز، افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان به دلیل مصرف کودهای حاوی این عناصر دور از انتظار نیست. در واقع می‌توان گفت که یون پتاسیم و روی در شرایط سخت به ویژه تنش خشکی باعث آرامش بیشتر گیاه می‌شود. در این تحقیق، کوددهی پتاسیم و روی، باعث بهبود شاخص‌های کمی و کیفی دانه و برگ گندم دیم شد. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایطی که غلظت پتاسیم و روی در خاک کمتر از حد بحرانی این عناصر باشد، با مصرف ۳۳ درصد توأمان سولفات پتاسیم و سولفات روی در پاییز و ۶۷ درصد باقیمانده از منبع محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی (SSOP + Zn- EDTA) در بهار علاوه بر افزایش مقاومت به تنش خشکی موجب ارتقاء خصوصیات کیفی دانه و عملکرد دانه گندم دیم خواهد داشت.

توصیه ترویجی

با توجه به نتایج این مطالعه توصیه می‌شود ضمن استفاده از کودهای سولفات پتاسیم و سولفات روی در مزارع گندم دیم (بر مبنای آزمون خاک)، همچنین توصیه می‌شود که تمام پتاسیم و روی مورد نیاز قبل از کشت استفاده نشود و مصرف سرک این کودها نیز در برنامه کودی قرار گیرد.

منابع

ابوطالبیان، محمدعلی، و مقیسایی، فاطمه (۱۳۹۳). تأثیر پرایمینگ بذر در مزرعه و روش‌های کاربرد کود سولفات روی بر ویژگی‌های سبزشدن، عملکرد و اجزای عملکرد دو هیبرید ذرت در همدان. *مجله بهبود محصولات زراعی*، *۱۶*(۳)، 692-675. https://doi.org/10.22059/jci.2014.53267

استاندارد ملی ایران. (۱۳۸۹). شماره ۱۲۹۶۸ مؤسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران، خوراک انسان–دام–بیشینه رواداری فلزات سنگین.

آلیاری، هوشنگ، و فرید، شکاری (۱۳۷۹). دانه‌های روغنی زراعت و فیزیولوزی. انتشارت عمیدی، تبریز.

آمار نامه کشاورزی گیاهان زراعی (۱۴۰۱–۱۴۰۰). وزارت جهاد کشاورزی معاونت برنامه‌ریزی اقتصادی، مرکز آمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات.

بهرامی، بهار (۱۳۹۷). بررسی کارایی مصرف تلفیقی کودهای پتاسیمی و روی بر عملکرد ذرت و کارایی پتاسیم در دو خاک با میزان پتاسیم متفاوت در استان کرمانشاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تفتی، احمدرضا، حسین، شمسی، ابولفضل، مروتی، محمدجواد، بابایی زارچ، و محمدحسن، دهقانی تفتی (۱۳۹۶). بررسی کاربرد سطوح مختلف سولفات پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد جو بدون پوشینه (*Hordeum vulgare* L.) تحت تأثیر دورهای مختلف آبیاری. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، *۱۰*(۲)، ۲۲۳–۲۱۳. https://doi.org/10.22077/escs.2017.578

ثواقبی، ج و ملکوتی، محمدجعفر (۱۳۷۸). تأثیر پتاسیم و کادمیوم بر میزان پروتئین گندم. مؤسسه تحقیقات آب و خاک، تهران، ایران.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

حمیدی، مصطفی (۱۳۹۷). بررسی نقش افزایش عملکردی برنج و کارایی کودهای پتاسیمی در دو خاک با سطح پتاسیم متفاوت در استان مازندران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.

خاوازی، کاظم، بلالی، محمدرضا، بازرگان، کامبیز، طهرانی، محمد مهدی، رضایی، حامد، اسدی رحمانی، هادی، غیبی، محمدنبی، داوودی، محمدحسین، سعادت، سعید، مشیری، فرهاد، و دواتگر، ناصر (۱۳۹۳). برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه (۱۴۰۴-۱۳۹۳) در راستای افزایش خوداتکایی محصولات زراعی راهبردی شامل گندم، جو، برنج، ذرت، پنبه، چغندرقند، دانه‌های روغنی و حبوبات. مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

دهقانیان، محسن، و مدندوست، مهدی (۱۳۸۷). تأثیر کلات روی بر مقاومت به خشکی گندم. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، *۱۲*(۴۵)، ۴۰۰-۳۹۳. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1387.12.45.33.5

سالاردینی، علی‌اکبر (۱۳۸۴). حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران.

سرخی، فرشاد (۱۳۹۴). تأثیر آبیاری و نیتروژن سطوح کود بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی از چهار نوع جو (*Hordeum vulgare* L.). *مجله اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۹(۳)، ۴۰۱-۴۱۶.

سعادتی، آتوسا، غره یاضی، بهزاد، و میرمحمدی میبدی، علی‌محمد (۱۳۸۳). تنش شوری و جنبه‌های اصلاح گیاهان. دانشگاه اصفهان.

سعیدی، قدرت‌اله، و خدام‌باشی، امامی محمودی (۱۳۸۶). بررسی صفات زراعی ژنوتیپ‌های مختلف بزرک در دو تاریخ کاشت بهاره در اصفهان. *مجله علوم کشاورزی ایران*، ۳، ۳۲۰-۳۱۱.

سیلسپور، محسن (۱۳۹۳). مطالعه اثرات مصرف پتاسیم و روی بر ویژگی‌های کمی و کیفی و غلظت کادمیم دانه گندم آبیاری شده با فاضلاب شهری. *نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی)*، ۱۰۴، ۱۰۵-۹۶. https://doi.org/10.22092/aj.2014.101683

شهبازی، کریم، و بشارتی، حسن (۱۳۹۲). بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. *نشریه مدیریت اراضی*، ۱، ۱۵-۱. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23456205.1392.1.1.1.2

شهبازی، کریم، هاشمی‌نسب زواره، کبری، یگانه، مژگان، زارع، علی‌اکبر، بازرگان، کامبیز، اسفندیاری‌پور، اسماعیل، سهرابی، سهراب، خورسندی، هنگامه، نوربخش، رویا، مارزی، مصطفی، بهشتی، مهدی، بهارلو، ندا، خرازی، ناهید، و نقی‌پور، فریبا (۱۳۹۹). بررسی غلظت فلزات سنگین (سرب و کادمیم) و برخی از عناصر غذایی در گندم، آرد و نان تولیدی کشور. گزارش فنی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور.

صادقی‌فرد، مصطفی، ملکوتی، محمدجعفر، جلالی، وحیدرضا، زارع، علی‌اکبر (۱۴۰۱). بررسی نقش محلول سولفات پتاسیم حاوی کلات روی در افزایش عملکرد و کاهش مصرف آب در گندم منطقه کهنوج (کرمان). *فرآیند و کارکرد گیاهی*، *۱۱*(۴۹)، ۶۳-۷۴.

عباسلو، لاله، کاظمینی، سید عبدالرضا، عدالت، محسن، و دادخدایی، علی (۱۳۹۳). اثر تنش خشکی و روش کاشت بر برخی ویژگی-های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم نخود. *مجله به‌زراعی کشاورزی*، *۱۶*(۴)، ۹۴۳-۹۳۳. doi: 10.22059/jci.2015.53587

عزیزآبادی، الهه، گلچین، احمد، و دلاور، محمدامیر (۱۳۹۳). تأثیر پتاسیم و تنش خشکی بر شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی برگ گیاه گلرنگ. روابط خاک و گیاه (علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای)، ۵(۱۹)، ۷۹-۶۵. http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089082.1393.5.3.6.2

علی‌احیایی، مریم، و بهبهانی‌زاده، علی‌اصغر (۱۳۷۲). شرح روش‌های تجزیه خاک. *فنی*، ۱(۸۹۳).

فلاحی، قدرت، حاتمی، علی، و ناصری، رحیم (۱۳۹۲). تحلیل رشد شش هیبرید ذرت در شرایط خشکسالی در استان کرمانشاه، ایران. *مجله اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، *۷*(۲)، ۱۹۶-۱۸۱.

کوچکی، عوض، و سرمدنیا، غلامحسین (۱۳۷۷). فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

مجیدی، عزیز (۱۳۹۹). تأثیر مصرف سرک پتاسیم کلراید در زراعت گندم آبی در خاک‌های متوسط بافت. *نشریه مدیریت اراضی*، ۸(۲)، ۲۲۵- ۲۱۳. https://doi.org/10.22092/lmj.2020.124281.161

ملکوتی، محمدجعفر (۱۳۹۷). نقش مصرف بهینه کود در افزایش عملکرد و تولید محصولات‌کشاورزی سالم: تعیین مقدار، نوع و زمان مصرف کودها برای دستیابی به خودکفایی نسبی، امنیت غذایی و افزایش درآمد کشاورزان. "چاپ چهارم با تجدید نظر کلی". خانه کشاورز. انتشارات مبلغان، تهران، ایران.

منصوری‌فر، سیروس، مدرس ثانوی، سیدعلی‌محمد، و جلالی جواران، مختار (۱۳۸۴). تأثیر تنش خشکی و کمبود نیتروژن بر تغییرات کمی و کیفی پروتئین‌های محلول در برگ ذرت. *مجله علوم کشاورزی ایران*، ۳، ۶۳۷-۶۲۵.

میرطالبی، سیدحسین، حسینی، سیدماشااله، خواجه‌پور، محمدرضا، و سلیمانی، علی (۱۳۹۱). اثر سولفات روی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و میزان روی و پروتئین دانه سه رقم گندم پاییزه در منطقه اقلید فارس. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۱۹(۳)، ۱۹۹-۱۸۵.

یزدی، محبوبه، باقری، عبدالرضا، مشتاقی، نسرین، و شریفی، احمد (۱۴۰۲). بررسی تغییرات مورفولوژیک گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت تأثیر تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۶(۴)، ۱۰۸۷-۱۰۷۱. Doi: 10.22077/escs.2023.5277.2133

Ahmad, M., Waraich, E. A., Shahid, H., Ahmad, Z., Zulfiqar, U., Mahmood, N., & El Sabagh, A. (2023). Exogenously applied potassium enhanced morpho-physiological growth and drought tolerance of wheat by alleviating osmotic imbalance and oxidative damage. *Polish Journal of Environmental Studies*, *32*(5).

Alam, M. R., Ali, M. A., Molla, M. S. H., Momin, M. A., & Mannan, M. A. (2009). Evaluation of different levels of potassium on the yield and protein content of wheat in the high Ganges river floodplain soil. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, *34*(1), 97-104.

Alderfasi, A. A. & Refay, Y. A. (2010). Integrated use of potassium fertilizer and water schedules on growth and yield of two wheat genotypes under arid environment in Saudi Arabia 1-effect on growth characters. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, *9*(3), 239-247.

Alloway, B. J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition. *International Zinc Association and International Fertilizer Association*, *16*.

Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(9), 2026-2032.

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*(1), 112-121.

Aslam, W., Arfan, M., Shahid, S. A., Anwar, F., Mahmood, Z., & Rashid, U. (2014). Effects of exogenously applied Zn on the growth, yield, chlorophyll. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical, and Biological Sciences*, *5*, 11-15.

Bahmanyar, M. A. & Mashaee, S. S. (2010). Influences of nitrogen and potassium top dressing on yield and yield components as well as their accumulation in rice (*Oryza sativa*). *African Journal of biotechnology*, *9*(18), 2648-2653.

Bashir, A., Khan, Q. U., Alem, A., Hendi, A. A., Zaman, U., Khan, S. U., & Abdelrahman, E. A. (2023). Zinc and potassium fertilizer synergizes plant nutrient availability and affects growth, yield, and quality of wheat genotypes. *Plants*, *12*(12), 2241.

Bates, L. S., Waldren, R. P. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. http://dx.doi.org/10.1007/BF00018060

Behboudian, M. H. & Anderson, D. R. (1990). Effects of potassium deficiency on water relations and photosynthesis of the tomato plant. *Plant and Soil*, *127*, 137-139. DOI:10.1007/BF00010846

Brennan, R. F. & Bolland, M. D. A. (2002). Relative effectiveness of soil-applied zinc for four crop species. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *42*(7), 985-993. http://dx.doi.org/10.1071/EA01154

Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *168*(4), 521-530. http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200420485

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification?. *Plant and Soil*, *302*, 1-17. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3

Cakmak, I., Ozkan, H., Braun, H. J., Welch, R. M., & Romheld, V. (2000). Zinc and iron concentrations in seeds of wild, primitive, and modern wheats. *Food and Nutrition Bulletin*, *21* (4), 401-403. http://dx.doi.org/10.1177/156482650002100411

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

Colom, M. R. & Vazzana, C. (2003). Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental and Experimental Botany*, *49*(2), 135-144. http://dx.doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00065-5.

DANG, H. K., LI, R. Q., SUN, Y. H., Zhang, X. W., & LI, Y. M. (2010). Absorption, accumulation and distribution of zinc in highly-yielding winter wheat. *Agricultural sciences in China*, *9*(7), 965-973. http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60178-4.

De Oliveira, A. B., Alencar, N. L. M., & Gomes-Filho, E. (2012). Physiological and biochemical responses of semiarid plants subjected to water stress. *Intech Open, Croatia*, 43-59. https://doi.org/10.15835/nbha46211064.

De Vasconcelos, A. C. F., Clístenes, W. A. N., & Fernando, F. C. F. (2011). Distribution of zinc in maize plants as a function of soil and foliar Zn supply. *International Research Journal of Agricultural Science*, *1*, 1-5.

Evans, K. M. & Riedell, W. E. (2006). Responses of spring wheat cultivars to nutrient solutions containing additional potassium chloride. *Journal of Plant Nutrition*, *29*(3), 497-504. http://dx.doi.org/10.1080/01904160500526493

F.A.O. (2016). Statistical database. Available online: Http// www. FAO. Org.

Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: An overview. *Plant Responses to Drought Stress: From Morphological to Molecular Features*, 1-33.

Farzane, A., Nemati, H., Shoor, M., & Ansari, H. (2021). Foliar application of potassium on antioxidant enzyme activities of tomato plants under drought stress. *Advances in Horticultural Science*, *35*(1), 3-9.

Gallego, S. M., Benavides, M. P., & Tomaro, M. L. (1999). Effect of cadmium ions on antioxidant defense system in sunflower cotyledons. *Biologia Plantarum*, *42*, 49-55.

Gao, H. Y., Zhang, A. J., & Zhao, L. (2020). Effects of foliar application of zinc and selenium on the antioxidant enzyme activities and zinc and selenium contents in millet grains. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, *26*(9), 1724-1731.

Gill, S. S. & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(12), 909-930. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Grieve, C. M. & Grattan, S. R. (1983). Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil*, *70*, 303-307. http://dx.doi.org/10.1007/BF02374789

Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Chaibi, W., & Zarrouk, M. (2009). Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, *119*(3), 257-263. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.006

Gupta, V. K. & B Hence, (2005). Effects of Zinc on cadmium uptake in wheat. *Journal of Indian Soil Science, 63*, 352-357.

Harborne, J. B. (1984). Methods of plant analysis. In: Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis. Dordrecht, Springer Netherlands.

Hemeda, H. M. & Klein, B. P. (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. *Journal of Food Science*, *55*(1), 184-185. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06048

Hussain, S., Maqsood, M., Ijaz, M., Ul-Allah, S., Sattar, A., Sher, A., & Nawaz, A. (2020). Combined application of potassium and zinc improves water relations, stay green, irrigation water use efficiency, and grain quality of maize under drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, *43*(14), 2214-2225.

Irmes, K., Kristo, I., Szentpeteri, L., Racz, A., Valyi-Nagy, M., Kassai, M. K., & Tar, M. (2023). The effect of foliar zinc application on the leaf chlorophyll concentrations and grain yields of the winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in the *Field Experiments of Two Seasons*. *Agronomy*, *13*(6), 1640.

Jones, C. G., Daniel Hare, J., & Compton, S. J. (1989). Measuring plant protein with the Bradford assay: 1. Evaluation and standard method. *Journal of Chemical Ecology*, *15*, 979-992.

Jordan-Meille, L. & Pellerin, S. (2008). Shoot and root growth of hydroponic maize (*Zea mays* L.) as influenced by K deficiency. *Plant and Soil*, *304*(1), 157-168.

Karimian, N. (1995). Effect of nitrogen and phosphorus on zinc nutrition of corn in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, *18*(10), 2261-2271.

Khoshgoftarmanesh, A. H., Schulin, R., Chaney, R. L., Daneshbakhsh, B., & Afyuni, M. (2010). Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *30*(1), 83-107. http://dx.doi.org/10.1051/agro/2009017

Kumar, M. & Qureshi, F. M. (2012). Dynamics of zinc fractions, availability to wheat (*Triticum aestivum* L.) and residual effect on succeeding maize (*Zea mays* L.) in inceptisols. *Journal of Agricultural Science*, *4*(6), 236.

Labudda, M. & Azam, F. M. S. (2014). Glutathione-dependent responses of plants to drought: A review. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, *83*(1).

Lindsay, W. L. (1981). Chemical Equilibria in Soils. Blackburn Press.

Lugojan, C. & Ciulca, S. (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, *15*(2), 173-177.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

Mafakheri, A., Siosemardeh, A. F., Bahramnejad, B., Struik, P. C., & Sohrabi, Y. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, *4*(8), 580-585.

Mahpara, S., Hussain, S. T., & Farooq, J. (2014). Drought tolerance studies in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomic Research IN Moldavia*, *47*(4). http://dx.doi.org/10.1515/cerce-2015-0011

Makower, R. U. (1970). Extraction and determination of phytic acid in beans (*Phaseolus vulgaris*). *Cereal Chem*, *47*, 288–292

Marschner, H. (2011). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic press.

Martin, C. J. & Evans, W. J. (1986). Phytic acid-metal ion interactions. II. The effect of pH on Ca (II) binding. *Journal of Inorganic Biochemistry*, *27*(1), 17-30. https://doi.org/10.1016/0162-0134(86)80105-2

Meena, M., Divyanshu, K., Kumar, S., Swapnil, P., Zehra, A., Shukla, V., & Upadhyay, R. S. (2019). Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. *Heliyon*, *5*(12). https://doi.org/10.1016%2Fj.heliyon.2019.e02952

Mengel, K. & Kirkby, E. A. (2001). Principles of Plant Nutrition. 4th. Ed. International Potash Institute, Bern, Switzerland. https://doi.org/10.1093%2Faob%2Fmch063

Mukherjee, I. (1974). Effect of potassium on proline accumulation in maize during wilting. *Physiologia Plantarum*, *31*(4), 288-291.https://doi.org/10.1111/J.1399-3054.1974.TB03708.X

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell Environment*, *25*(*2*). 239-250. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x

Naroui Rad, M. R., Kadir, M. A., & Yusop, M. R. (2012). Genetic behaviour for plant capacity to produce chlorophyll in wheat (*Triticum aestivum*) under drought stress. *Australian Journal of Crop Science*, *6*(3), 415-420. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:86582405.

Nguyen, H. T., Nguyen, A. T., Lee, B. W., & Schoenau, J. (2002). Effects of long-term fertilization for cassava production on soil nutrient availability as measured by ion exchange membrane probe and by corn and canola nutrient uptake. *Korean Journal of Crop Science*, *47*(2), 108-115.

Nohong, B. & Nompo, S. (2015). Effect of water stress on growth, yield, proline and soluble sugars contents of Signal grass and Napier grass species. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 14-22.

Oukarroum, A., Schansker, G., & Strasser, R. J. (2009). Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chl a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. *Physiologia Plantarum*, *137*(2), 188-199. doi: 10.1111/j.1399-3054.2009.01273.x

Panahyankivi, M., Alami-Milani, M., & Abbasi, A. (2020). Effect of salicylic acid and abscisic acid on yield and yield components of common purslane (*Portulaca oleracea*) under water deficit. *Journal of Plant Production Research*, *27*(3), 115-129. https://doi.org/10.22069/jopp.2020.16587.2515

Rivelli, A. R., James, R. A., Munns, R., & Condon, A. T. (2002). Effect of salinity on water relations and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. *Functional Plant Biology*, *29*(9), 1065-1074. http://dx.doi.org/10.1071/PP01154

Satorre, E. H. & Slafer, G. A. (1999). Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. CRC Press.

Sattar, A., Wang, X., Abbas, T., Sher, A., Ijaz, M., Ul-Allah, S., & Zuan, A. T. K. (2021). Combined application of zinc and silicon alleviates terminal drought stress in wheat by triggering morpho-physiological and antioxidants defense mechanisms. *Plos One*, *16*(10), e0256984. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256984

Seilsepour, M. (2014). Study of potassium and zinc effects on quantity and quality parameters and grain cadmium content of winter wheat irrigated by wastewater. *Applied Field Crops Research*, *27*(104), 96-105. https://doi.org/10.22092/aj.2014.101683

Sharma, S., Duveiller, E., Basnet, R., Karki, C. B., & Sharma, R. C. (2005). Effect of potash fertilization on *Helminthosporium* leaf blight severity in wheat, and associated increases in grain yield and kernel weight. *Field Crops Research*, *93*(2-3), 142-150. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.016

Simonsson, M., Andersson, S., Andrist-Rangel, Y., Hillier, S., Mattsson, L., & Oborn, I. (2007). Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. *Geoderma*, *140*(1-2), 188-198. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.04.002

Sparks, D. L. (2000). 1.4 Bioavailability of Soil Potassium. Handbook of Soil. CRC Press, New York.

Sundar Singh, S. S., Dave, P. V., Choudhary, S. S., & Swami, B. N. (2004). Performance of wheat under different levels of phosphorus and zinc in Inceptisol and Vertisol. *Journal of Soils and Crops*, *14*, 465-468. http://dx.doi.org/10.17582/journal.jis/2022/8.1.68.74

Tariq, M. & Shah, M. (2002). Response of wheat to applied soil potassium. *Asian Journal of Plant Sciences*. https://doi.org/10.3923/ajps.2002.470.471

Tátrai, Z. A., Sanoubar, R., Pluhar, Z., Mancarella, S., Orsini, F., & Gianquinto, G. (2016). Morphological and physiological plant responses to drought stress in Thymus citriodorus. *International Journal of Agronomy*, *2016*(1), 4165750. https://doi.org/10.1155/2016/4165750

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

Tausz, M., Trummer, W., Wonisch, A., Goessler, W., Grill, D., Jimenez, M. S., & Morales, D. (2004). A survey of foliar mineral nutrient concentrations of *Pinus canariensis* at field plots in Tenerife. *Forest Ecology and Management*, *189*(1-3), 49-55. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.034

Thalooth, A. T., Tawfik, M. M., & Mohamed, H. M. (2006). A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, *2*(1), 37-46.

Tosens, T., Niinemets, U., Vislap, V., Eichelmann, H., & Castro Diez, P. (2012). Developmental changes in mesophyll diffusion conductance and photosynthetic capacity under different light and water availabilities in *Populus tremula*: How structure constrains function. *Plant, Cell and Environment*, *35*(5), 839-856. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02457.x

Tsugane, K., Kobayashi, K., Niwa, Y., Ohba, Y., Wada, K., & Kobayashi, H. (1999). A recessive Arabidopsis mutant that grows photoautotrophically under salt stress shows enhanced active oxygen detoxification. *The Plant Cell*, *11*(7), 1195-1206. https://doi.org/10.1105/tpc.11.7.1195

Vasconcelos, A. D., Nascimento, C. W. A., & Cunha Filho, F. D. (2011). Distribution of zinc in maize plants as a function of soil and foliar Zn supply. *International Research Journal of Agricultural Science*, *1*, 1-5.

Walker, D. J., Leigh, R. A., & Miller, A. J. (1996). Potassium homeostasis in vacuolate plant cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *93*(19), 10510-10514. https://doi.org/10.1073%2Fpnas.93.19.10510

Wang, M., Kong, F., Liu, R., Fan, Q., & Zhang, X. (2020). Zinc in wheat grain, processing, and food. *Frontiers in Nutrition*, *7*, 124. https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00124

Waraich, E. A., Ahmad, R., & Ashraf, M. Y. (2011). Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(6), 764-777.

Weggler-beaton, R., Graham, D., & Melaugin, M. J. (2003). The influence of low rates of arid-dried on yield and phosphorus and zinc nutrition of wheat (*Triticum durum*) and barley (*Hordeum vulgar*). *Soil Research of Americal Journal, 41*, 293-308. http://dx.doi.org/10.1071/SR02074

Welch, R. M. (2003). Farming for Nutritious Foods: Agricultural Technologies for Improved Human Health. IFA-FAO Agricultural Conference, Rome, Italy.

Xi, S., Lihua, R., Yongsong, Z., Qizhao, Y., Caixian, T., & Lianxiang, Q. (1989). Effect of potassium fertilizer application on physiological parameters and yield of cotton grown on a potassium deficient soil. *Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde*, *152*(3), 269-272. https://doi.org/10.1371%2Fjournal.pone.0257023

Yang, X. F., Bie, Z. L., & Xu, J. L. (2007). Effect of potassium supply on the growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce. *Acta Horticulturae*, *761*. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.761.65

Zhang, Z., Tariq, A., Zeng, F., Graciano, C., & Zhang, B. (2020). Nitrogen application mitigates drought-induced metabolic changes in *Alhagi sparsifolia* seedlings by regulating nutrient and biomass allocation patterns. *Plant Physiology and Biochemistry*, *155*, 828-841. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.036

Zhao, D., Oosterhuis, D. M., & Bednarz, C. W. (2001). Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*, *39*, 103-109. DOI: 10.1023/A:1012404204910

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]

The effect of potassium and zinc fertilizers management on the quantitative and qualitative traits of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.)

Omid Kamangar[1], Mohammad Jafar Malakouti[1*], Mohaamad Hossein Sedri[2], Adel Siosemardeh[3]

[1] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2] Soil and water Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Sanandaj, Iran
[3] Department of Plant Breeding, Faculty of Agricultural, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran
(Received: 2023/10/28, Accepted: 2023/03/11)

Abstract

This research aims to investigate the effect of potassium and zinc fertilizers management on the quantitative and qualitative traits of rainfed wheat with six fertilizer treatments including, T1 or control (Application of all chemical fertilizers based on soil testing except potassium and zinc), T2 (Application of all potassium fertilizers from potassium-sulfate, based on soil testing in autumn), T3 (Application of 33% potassium-sulfate in fall and 67% remaining from potassium-sulfate solution containing zinc chelate in spring), T4 (Application of all zinc fertilizer from zinc-sulfate source based on soil testing in autumn), T5 (Application of all potassium-sulfate and zinc-sulfate based on soil testing in autumn), T6 (Application of 33% of potassium-sulfate and zinc-sulfate in autumn and the remaining 67% from the source of potassium-sulfate solution containing zinc-chelate in spring) was done in 3 replications and in a randomized complete block design (RBCD), during 2021-2022. The results showed that the highest leaf area index (LAI) (45.25 square centimeters) and the highest grain protein content (14.65%), grain yield (4472 kg. ha^{-1}), potassium concentration in the grain (4880 $mg.kg^{-1}$) and zinc concentration in the grain (34.60 mg.kg-^{1}) were the sixth treatments. The highest Proline (568 µg. g^{-1} FW) and Glycine Betaine contents (3.85 µg. g-^{1} FW) were the fourth and sixth treatments, respectively. Considering the results and the significant effect of the treatments on the performance indicators, it is recommended to use potassium sulfate and zinc sulfate simultaneously before planting as preside-dressing applications during spring rains in rainfed wheat.

Keywords: Soil testing, Nutrition elements, Drought stress, Soil fertility, Topdressing, Wheat

Corresponding author, Email: mjmalakouti@modares.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-24]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.301]