مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی نانوکود و متانول بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گندم دیم در شرایط آبیاری تکمیلی

الهام بیرانوند[۱]، علی خورگامی[۱]، مسعود رفیعی[۲*]، رضا میردریکوند[۱] و سیدحسین وفایی[۳]

[۱] گروه کشاورزی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

[۲] بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران

[۳] گروه گیاهپزشکی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۶/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۳/۰۳)

چکیده

آبیاری تکمیلی موجب تعدیل خسارات ناشی تنش خشکی در زراعت دیم می‌گردد. کاربرد نانوکود فارمکس و متانول به‌صورت محلول-پاشی نیز می‌تواند از جمله راه‌کارهای مدیریتی مؤثر در بهبود تولید تحت شرایط دیم به‌شمار روند. بدین‌منظور اثر آبیاری تکمیلی، محلول-پاشی نانوکود و محلول‌پاشی متانول در آزمایشی به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل با چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار پرولین (به‌ترتیب ۳۱ و ۲۶ درصد) و آنزیم آنتی‌اکسیدان پراکسیداز (به‌ترتیب ۴/۶ و ۱۰/۵ درصد) با آبیاری تکمیلی کاهش یافت و جذب عناصر غذایی ضروری پرمصرف و کم‌مصرف و درنهایت عملکرد دانه افزایش نشان داد. در شرایط عدم آبیاری تکمیلی، تفاوتی میان دو تیمار عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی نانوکود از نظر مقدار پراکسیداز در تمامی سطوح محلول‌پاشی متانول مشاهده نشد؛ اما مقدار پراکسیداز در شرایط آبیاری تکمیلی در تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود در تمامی سطوح محلول‌پاشی متانول بیشتر از تیمار محلول‌پاشی نانوکود بود. با کاربرد متانول در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی از مقدار پرولین و پراکسیداز کاسته شد. محلول‌پاشی نانوکود با افزایش مقدار نیتروژن اندام هوایی (۷۶ درصد) و مقدار نیتروژن دانه (۱۶ درصد) موجب افزایش مقدار پروتئین دانه (۳/۳ درصد) شد. جذب عناصر توسط گیاه و غنی‌سازی دانه گندم بستگی به نوع عنصر ضروری و غلظت متانول در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی داشت. در مجموع، آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی نانوکود و محلول‌پاشی متانول، عملکرد دانه گندم در شرایط دیم را افزایش داد، لیکن در شرایط آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول‌پاشی متانول تا سطح ۲۰ درصد افزایش یافت و با مصرف بیشتر متانول روند کاهشی داشت؛ اما در شرایط عدم آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول‌پاشی متانول افزایش نشان داد.

کلمات کلیدی: پراکسیداز، پرولین، عملکرد دانه، غنی‌سازی دانه، جذب عناصر

مقدمه

تنش کمبود آب ناشی از نامناسب بودن مقدار و توزیع بارندگی در شرایط دیم، روی فرایندهای رشدونمو گیاهان مؤثر است که

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: rafieemasoud@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]

به‌صورت تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک بروز می‌کند (Wang *et al.*, 2001). اما مکانیسم‌های دفاعی متعددی در گیاهان وجود دارد که موجب تحمل به تنش کمبود آب می‌شوند؛ همچون تنظیم اسمزی، هومئوستازی یون، و سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی و هورمونی (Mahajan and Tuteja, 2005) که به بقا و رشد گیاهان تحت شرایط محیطی شدید پیش از مرحله رشد زایشی‌شان کمک می‌کنند. تنش خشکی موجب ایجاد رادیکال‌های فعال اکسیژن در اثر تنش اکسیداتیو می‌شود که این رادیکال‌ها بر مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی اثر گذاشته و همچنین موجب پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌شوند (امینی و حداد، ۱۳۹۲) و درنتیجه بر نشت الکترولیت اثر سوء می‌گذارند. با کاهش رطوبت خاک، مقدار پرولین برگ‌ها افزایش می‌یابد و نقش کلیدی در تنظیم اسمزی بازی می‌نماید (Ghorbanli and Niakan, 2006; Cha-um and Kirdmanee, 2009; Gholdani, 2012).

آبیاری تکمیلی مصرف مقدار محدودی آب در گیاه زراعی در زمان نبود بارندگی است تا آب کافی برای رشد گیاه به‌منظور افزایش و ثبات عملکرد تأمین شود (Oweis and Hachum, 2004). بر این اساس، بیشترین اجزای عملکرد و عملکرد دانه گندم در تیمار آبیاری تکمیلی پس از کاشت (توکلی، ۱۳۸۵)، آبیاری تکمیلی در مرحله رویشی رشد گندم (Abderrazzak *et al.*, 2013)، آبیاری تکمیلی در مرحله کاشت و سنبله‌دهی (روستایی، ۱۳۹۴) گزارش شده است. این نتایج متفاوت، به‌دلیل آبیاری تکمیلی در زمان‌های مختلف نبود بارندگی است.

از مهم‌ترین کاربردهای نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های کشاورزی در بخش آب و خاک می‌توان به استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان اشاره نمود (رضایی و همکاران، ۱۳۸۸). ذرات کودی می‌توانند با غشاهایی در مقیاس نانو پوشیده شوند که رهاسازی آهسته و مداوم عناصر غذایی را تسهیل می‌کند (Liu *et al.*, 2006). استفاده از نانوکودها منجر به افزایش کارآیی عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رساندن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود (نادری و دانش شهرکی، ۱۳۹۰). محلول‌پاشی نانوذرات آهن با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای لوبیا چشم‌بلبلی تعداد غلاف (۴۷ درصد)، وزن هزار دانه (۷۵ درصد)، مقدار آهن برگ‌ها (۳۴ درصد) و مقدار کلروفیل (۱۰ درصد) را به‌طور قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش می‌دهد (Delfani *et al.*, 2014). در بررسی اثرات نانو-ذرات اکسید آهن و مقایسه آن با سولفات آهن وکلات آهن با EDTA بر روی رشد و محصول دو رقم لوبیا چیتی، محققین به این نتیجه رسیدند که تیمار نانوذره ۰/۱ درصد و روش دوبار محلول‌پاشی قبل و بعد از گلدهی بیشترین تأثیر را بر اجزای عملکرد نشان داد (فراهانی، ۱۳۹۲).

دلیل تغییرات اجزای گیاهی، تعداد بیشتر ذرات در واحد وزن و سطح ویژه ذرات نانو مقیاس است که باعث تماس بیشتر کود با گیاه و درنتیجه افزایش جذب مواد مغذی می‌گردد. علاوه بر این، نانوذرات با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر، احتمالاً بازده عناصر را بیشتر و حلالیت آن را در آب مؤثرتر می‌کند، بنابراین فعالیت نانوذرات افزایش یافته و درنتیجه عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Joseph and Morrisson, 2006). در بررسی جذب و غلظت عناصر غذایی آهن، روی، مس و منگنز در گیاه گندم گزارش شد که نانواکسید آهن نسبت به اکسید معمولی آهن برتری معنی‌داری داشت (Mazaherinia *et al.*, 2010). محلول‌پاشی کلات نانوذرات آهن اثرات قابل توجه و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته، تعداد سنبله، وزن ۱۰۰۰ دانه، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم داشته است (Harsinia *et al.*, 2014). استفاده از کود حاوی ذرات نانو در مقایسه با مقدار مساوی کود شیمیایی NPK باعث افزایش ارتفاع گیاه گندم شد و گیاهان تیمارشده با این کود دارای غلظت بیشتری از عناصر به‌خصوص نیتروژن بودند (Zhang *et al.*, 2006).

به گزارش ایقائی اسکوئی (۱۳۹۷)، اثر عامل نانوکود بر صفات لوبیا شامل تعداد روز تا ظهور سه برگچه اول، ظهور سه برگچه سوم، گلدهی، پرشدن غلاف، رسیدگی، دوره پرشدن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]

دانه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، طول غلاف کوتاه و تعداد دانه چروکیده در سطح احتمال یک درصد و بر قطر ساقه، طول غلاف بلند و وزن صد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی-دار بود.

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد از جمله محلول‌پاشی متانول، یکی از راه‌هایی است که باعث افزایش تثبیت دی‌اکسید کربن در گیاهان زراعی در واحد سطح می‌شود. نقش عمده متانول جلوگیری از کاهش اثر تنش‌های القاشده به گیاهان زراعی در انجام تنفس نوری آنها است (Downic *et al.*, 2004). محلول‌پاشی متانول بر روی گیاهان دارای کمبود آب باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های آنها می‌شود، درحالی‌که در گیاهان دارای آب کافی که متانول تیمار شدند، مقدار کلروفیل کمی کاهش پیدا می‌کند. البته گزارش شده است که تیمارکردن توتون با متانول سبب افزایش محتوای کلروفیل برگ شد (Ramirez *et al.*, 2006). در گیاهانی که با تنش خشکی مواجه هستند محلول‌پاشی متانول سبب جلوگیری از کاهش بیوماس در آنها می‌شود (Safarzade *et al.*, 2005).

آرین‌فر و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی محلول‌پاشی متانول در گندم گزارش دادند محلول‌پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد حجمی بیش از سایر تیمارهای محلول‌پاشی متانول بر عملکرد و اجزای عملکرد مؤثر بود و موجب افزایش عملکرد دانه و طول پدانکل گندم شد، درصورتی‌که محلول‌پاشی ۳۰ درصد متانول سبب کاهش ۶/۹ درصد عملکرد دانه گندم در مقایسه با تیمار شاهد شد. نتایج تحقیقات Sadeghi-Shoae و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که محلول‌پاشی متانول در غلظت‌های مختلف متانول تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش از جمله عملکرد دانه، عملکرد پروتئین، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و ارتفاع بوته داشت. بنابر اظهارات احیایی و همکاران (۱۳۸۷)، محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ درصد بیشتر از سایر تیمارها بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود مؤثر بود، به‌طوری‌که موجب افزایش تعداد غلاف، وزن هزار دانه، وزن دانه، تعداد دانه در بوته و شاخص برداشت شد.

این پژوهش با هدف بررسی احتمال اثر هم‌افزایی کاربرد همزمان آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی نانوکود و محلول‌پاشی متانول بر جذب عناصر و عملکرد گندم تحت شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

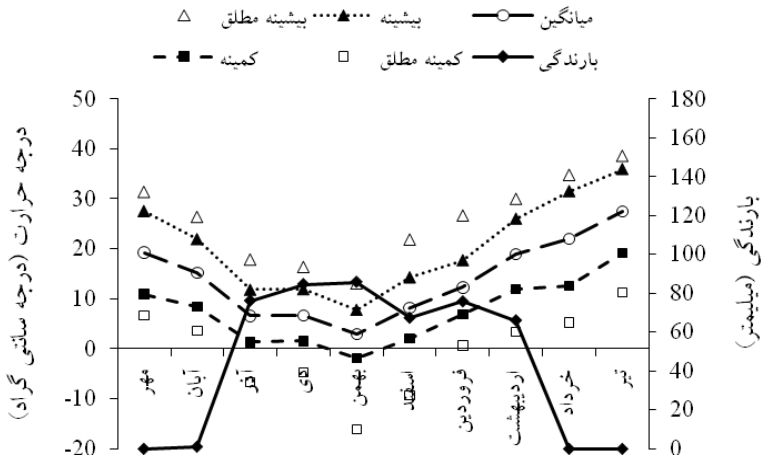
این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل با چهار تکرار ایستگاه تحقیقاتی کمالوند خرم‌آباد در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در شرایط دیم اجرا شد. عامل آبیاری تکمیلی (بدون آبیاری تکمیلی و آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی) در کرت‌های اصلی و عامل‌های محلول‌پاشی نانوکود (عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۳ میلی‌لیتر بر لیتر نانوکود فارمکس) و محلول‌پاشی متانول (عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی) (Harsinia *et al.*, 2014) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. محلول‌پاشی متانول و نانو-کود دو بار در مرحله رشد رویشی از شروع ساقه رفتن (Harsinia *et al.*, 2014) با فاصله ۱۰ روز با استفاده از سمپاش ۲۰ لیتری انجام شد. کرت‌های شاهد به‌منظور یکنواختی کرت‌های آزمایشی با آب معمولی محلول‌پاشی شد.

مشخصات هواشناسی محل آزمایش براساس آمار ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد در شکل ۱ ارائه گردیده است. طبق طبقه‌بندی اقلیمی منطقه خرم‌آباد دارای اقلیم نیمه‌گرمسیری با تابستان گرم و خشک است. براساس آمار بلندمدت متوسط حداقل، حداکثر و متوسط حرارت به‌ترتیب ۹/۲، ۲۵/۲ و ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم معتدل سرد با تابستان خشک طبق طبقه‌بندی دومارتن با متوسط بارش سالیانه ۵۲۵ میلی‌متر و میانگین رطوبت نسبی ۴۶/۷ درصد است.

مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک و نانوکود فارمکس استفاده شده در آزمایش به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ آمده است.

کاشت بذر گندم رقم کوهدشت در ۱۶ آبان‌ماه انجام گرفت. براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) مقدار ۵۰ کیلوگرم کود اوره به‌همراه ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به‌صورت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]



شکل ۱- آمار هواشناسی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ (منبع: ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد)

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
	(درصد)		(میلی‌گرم بر کیلوگرم)					
رسی سیلتی	۰/۹۸	۰/۱۲	۶/۹	۳۵۵	۴/۲۴	۷/۶۸	۱/۴۶	۱/۳۶

جدول ۲- مشخصات نانوکود فارمکس مورد استفاده

ترکیب	CaO	F	SiO_2	MgO	SO_3	ZnO	Fe_2O_3	Al_2O_3
غلظت (w/w٪)	۳۳/۷۴	۱۵/۵۸	۹/۶۳	۰/۸۳	۰/۸۰۲	۰/۳۳	۰/۲۸۸	۰/۱۹
ترکیب	Na_2O	MoO_3	K_2O	CuO	NiO	CoO	SrO	کل
غلظت (w/w٪)	۰/۱۶	۰/۰۷۵	۰/۰۶۹	۰/۰۵۱	۰/۰۴۶	۰/۰۳۹	۰/۰۳۶	۱۰۰

یکنواخت پاشیده شد و به‌وسیله دیسک سبک مخلوط گردید. کودها پس از پخش در مزرعه توسط دیسک با خاک مخلوط شد. پس از آماده‌شدن بستر براساس نقشه طرح، کاشت بذور انجام شد. هر کرت در برگیرنده پنج خط کاشت ۵ متری با فاصله خطوط ۱۷ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر، کرت‌های فرعی یک متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. کلیه عملیات زراعی مطابق معمول منطقه و براساس توصیه‌های تحقیقاتی انجام پذیرفت. بقیه کود نیتروژنه در مرحله ساقه رفتن به مقدار ۵۰ کیلوگرم کود اوره به‌صورت سرک در اسفندماه هر سال در مرحله رشد سریع مصرف شد. برای کنترل علف‌های هرز از علف‌کش گرانستار و تاپیک در مرحله انتهای پنجه‌زنی و ابتدای ساقه‌دهی استفاده شد.

مقدار آب آبیاری تکمیلی برای هر پلات اصلی براساس فرمول $V_W = (FC - \theta) \times BD \times A \times D / Ea$ محاسبه گردید که در آن V_W، حجم آب آبیاری (مترمکعب)؛ FC، درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (۲۸ درصد)؛ θ، درصد وزنی رطوبت خاک در زمان آبیاری؛ BD، وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛ A، مساحت پلات اصلی آزمایش؛ D، عمق نفوذ ریشه در خاک در مرحله سنبله‌دهی (متر) و Ea، راندمان کاربرد آب آبیاری (۹۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]

درصد) بود. پس از محاسبه مقدار آب لازم، کرت‌های اصلی با استفاده از پمپ آب که از دبی خروجی مشخص برخوردار بود تا رسیدن به حد ظرفیت مزرعه آبیاری می‌شد. برای تعیین طول مدت (t) آبیاری هر پلات از رابطه $t = V / Q$ استفاده شد که در آن V، حجم آب آبیاری برحسب لیتر و Q، دبی خروجی پمپ آب برحسب لیتر در ثانیه بود. با توجه به محصور بودن کرت-های آزمایشی هدررفت آب صفر بود. به‌منظور توزیع یکنواخت آب در هر پلات، ابتدا و انتهای کرت‌ها مسدود گردید. برای تعیین درصد رطوبت خاک قبل از هر آبیاری، از دستگاه رطوبت‌سنج استفاده شد.

در مرحله گلدهی نمونه‌هایی از برگ‌های جوان گیاه از هر کرت جهت انجام تجزیه‌های بیوشیمیایی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید و سنجش مقدار عناصر ضروری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی (Ryan *et al.*, 2007) و آنزیم پراکسیداز (Mae-Adam and Nelson, 1992) و پرولین (Bates *et al.*, 1973) صورت گرفت. در زمان برداشت عملکرد دانه سه ردیف وسط هر کرت آزمایشی با رعایت یک‌چهارم متر حاشیه از طرفین اندازه‌گیری و براساس ۱۲ درصد رطوبت محاسبه شد. همچنین، نمونه‌هایی از دانه هر کرت جهت انجام تجزیه‌های بیوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید و مقدار عناصر ضروری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی (Ryan *et al.*, 2007) و مقدار کربوهیدرات‌ها (Kochert, 1978) و پروتئین (Kjeldal, 1998) در دانه اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت.

نتایج و بحث

اسیدآمینه پرولین و آنزیم پراکسیداز اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس ساده صفات نشان داد که مقدار اسیدآمینه پرولین و آنزیم پراکسیداز اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی نانوکود و محلول‌پاشی متانول و اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی متانول قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌ها نشان داد که آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی نانوکود موجب کاهش به‌ترتیب ۳۱ و ۲۶ درصدی مقدار پرولین اندام هوایی و به‌ترتیب ۴/۶ و ۱۰/۵ درصدی مقدار آنزیم پراکسیداز اندام هوایی شد. محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول موجب کاهش ۱۲ درصدی مقدار پرولین اندام هوایی و محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول موجب کاهش ۵/۳ درصدی مقدار آنزیم پراکسیداز اندام هوایی نسبت به عدم محلول‌پاشی متانول شد (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تکمیلی در نشان داد که با کاربرد متانول در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی از مقدار پرولین و پراکسیداز کاسته شد، به‌طوری‌که در شرایط آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول موجب کاهش به‌ترتیب ۱۶ و ۱۰ درصدی مقدار پرولین و پراکسیداز اندام هوایی نسبت به عدم محلول‌پاشی متانول شد (جدول ۵).

تنظیم اسمزی یک فرآیند فیزیولوژیک است که در طی آن گیاه با انباشت یک سری مواد اسمزی مانند پرولین و قندهای محلول در سلول‌ها، پتانسیل اسمزی بافت‌های تحت تنش را کاهش می‌دهد تا فشار تورژسانس سلول‌ها در حد مطلوب باقی بماند (Bahramichegeni *et al.*, 2013). پراکسیدازها در جذب H_2O_2 و پراکسیدازهای آلی که تحت شرایط تنش مختلف تشکیل می‌شوند اهمیت دارد (Tian and Li, 2006). در آزمایشی تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و محتوی پرولین گردید (Khalilzadeh *et al.*, 2016).

عناصر ضروری در اندام هوایی و دانه: نتایج تجزیه واریانس ساده صفات بیوشیمیایی در اندام هوایی و دانه نشان داد که اثر نانوکود بر مقدار نیتروژن اندام هوایی، اثرات آبیاری تکمیلی، نانوکود و متانول بر مقدار فسفر و روی اندام هوایی و مقدار نیتروژن و فسفر دانه، اثرات آبیاری تکمیلی و متانول بر مقدار پتاسیم دانه، اثر نانوکود و متانول بر مقدار پتاسیم در اندام هوایی، اثر متانول و نانوکود بر مقدار آهن و روی در دانه و اثر متانول بر مقدار آهن اندام هوایی معنی‌داری بود (جدول ۳).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی اندام هوایی گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		پرولین	پراکسیداز	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی
تکرار	۲	۰/۰۱	۴۱/۲	۰/۷۴*	۰/۰۰۰۷	۰/۱۲۴	۴۷۳/۹	۳/۷۴
آبیاری تکمیلی (A)	۱	۳۵/۴**	۴۴۶**	۰/۲۱	۰/۰۴۴**	۰/۴۹۲	۱۱۴/۷	۱۴۰**
خطای ۱	۲	۰/۰۳	۸۵/۵	۰/۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۵۱	۲۷۲/۸	۶/۵۹
نانوکود (B)	۱	۲۶/۴**	۲۲۱۳**	۱۵/۷**	۰/۱۰۸**	۱۹/۲**	۲۵۰۲/۷	۱۶۴۳**
متانول (C)	۳	۲/۷۱**	۱۳۷/۷	۰/۱۰	۰/۰۴۹**	۲/۱۵۹**	۱۱۲۹*	۳۲*
(B) × (A)	۱	۰/۱۶	۱۵۹/۶	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۰/۷۰۱	۲۸۷/۱	۰/۶۷
(C) × (A)	۳	۰/۶۶**	۴۵۴**	۰/۶۸۷*	۰/۰۱۲*	۱/۰۸۴*	۱۳۶۵۳**	۳۶/۶
(C) × (B)	۳	۰/۰۶	۸۸/۴	۰/۱۵	۰/۰۰۶	۰/۴۱	۱۱۹۹/۴	۶۹**
(C) × (B) × (A)	۳	۰/۰۳۵	۵۶/۱	۰/۱۲	۰/۰۰۲	۰/۴۶	۱۰۸۰/۶	۸/۴۴
خطای۲	۲۸	۰/۰۳۸	۵۴/۶	۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۲۴	۱۱۱۲/۱	۱۲/۳
ضریب تغییرات	(٪)	۳/۰۳	۵/۴	۱۸/۷۰	۲۱/۵	۲۷/۲	۱۸/۰۴	۷/۲

*** و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.**

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی دانه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		نیتروژن دانه	فسفر دانه	پتاسیم دانه	آهن دانه	روی دانه	کربوهیدرات دانه	پروتئین دانه
تکرار	۲	۰/۰۲۲	۸/۱۳ E-۰۵	۰/۰۰۰۳	۲/۲۷	۷۲/۸	۳۵/۰	۰/۰۵۳
آبیاری تکمیلی (A)	۱	۱/۵۷ **	۰/۱۱ **	۰/۰۰۸۲ **	۱۱۱**	۲۳۴/۱	۷۲/۵	۰/۴۲۱
خطای ۱	۲	۰/۱۹۲	۰/۰۴۸	۰/۰۰۰۲	۱۰/۵	۵۷/۱	۴۵/۲	۱/۲۱۰ **
نانوکود (B)	۱	۱/۲۳ **	۰/۱۱ **	۱/۸۸ E-۰۵	۵۸*	۴۲۰ *	۲۲/۶	۲/۰۴۱ *
متانول (C)	۳	۰/۴۷ **	۰/۰۸۱ **	۰/۰۰۳۱ *	۲۵/۱	۳۳۴ *	۷۵/۰	۰/۵۶۹
(B) × (A)	۱	۰/۰۴۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۹/۱	۰/۰۸	۱۵۰ *	۰/۳۵۰
(C) × (A)	۳	۰/۳۲	۰/۰۴ *	۰/۰۰۰۱	۷/۰۲	۳۰/۷	۴۶/۶	۲/۰۷۴ **
(C) × (B)	۳	۰/۰۲۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲۶ *	۶/۸۵	۶۶/۹	۹۳/۵	۰/۳۳۲
(C) × (B) × (A)	۳	۰/۰۶۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴۳ *	۲۰/۰۷	۱۵/۱	۶۸/۱	۰/۶۴۷
خطای۲	۲۸	۰/۰۶۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۶	۱۳/۱۳	۸۲/۳	۳۱/۶	۰/۲۹۸
ضریب تغییرات	(٪)	۱۱/۹۰	۲۳/۷	۵/۱۶	۵/۹۱	۲۱/۷	۷/۱۵	۴/۲۶

*** و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.**

عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن اندام هوایی و فسفر دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی متانول قرار گرفتند و مقدار روی اندام هوایی و پتاسیم دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر متقابل محلول‌پاشی نانوکود در محلول‌پاشی متانول قرار گرفتند. پتاسیم دانه تحت تأثیر متقابل سه‌گانه آبیاری تکمیلی در نانوکود در متانول نیز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی اندام هوایی و دانه گندم

تیمارها		پرولین (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پراکسیداز (میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
آبیاری تکمیلی	شاهد	۷/۳۳ a	۱۳۹/۲۶ a	۲/۰۲	۰/۲۵ b	۱/۹۳	۱۸۳/۶۷	۴۷/۱ b
	آبیاری تکمیلی	۵/۶۱ b	۱۳۳/۱۶ b	۲/۱۵	۰/۳۱ a	۱/۷۳	۱۸۶/۷۶	۵۰/۵۲ a
محلول‌پاشی نانوکود	شاهد	۷/۲۱ a	۱۴۳/۰۱ a	۱/۵۱ b	۰/۲۴ b	۱/۱۹ b	۱۷۷/۹۹	۴۲/۹ b
	محلول‌پاشی	۵/۷۳ b	۱۲۹/۴۲ b	۲/۶۵ a	۰/۳۳ a	۲/۴۷ a	۱۹۲/۴۳	۵۴/۶ a
محلول‌پاشی متانول	شاهد	۶/۷۸ b	۱۳۹/۴۹	۲/۰۷	۰/۲۴ c	۱/۴۶ b	۱۸۱/۱ b	۴۷/۶ ab
	۱۰	۶/۹۸ a	۱۳۸/۶۶	۱/۹۷	۰/۲۲ c	۱/۵۲ b	۱۸۰/۹ b	۴۷/۱ b
	۲۰	۶/۰۹ c	۱۳۲/۵۲	۲/۱۲	۰/۳۶ a	۲/۳۷ a	۱۷۹/۱ b	۵۰/۲ a
	۳۰	۶/۰۴ c	۱۳۴/۲۰	۲/۱۸	۰/۳۱ b	۱/۹۷ ab	۱۹۹/۷ a	۵۰/۱ a
LSD (5%)		۰/۱۶۶			۰/۴۲۰	۰/۰۵۲	۰/۴۲۰	۲/۹۶۴

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی دانه گندم

تیمارها		نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کربوهیدرات (درصد)	پروتئین (درصد)
آبیاری تکمیلی	شاهد	۲/۰ b	۰/۴۰ b	۰/۴۹ b	۵۹/۷۵ b	۳۹/۵۸	۷۹/۸۸	۱۲/۹۴
	آبیاری تکمیلی	۲/۳۶ a	۰/۵۳ a	۰/۵۲ a	۶۲/۷۹ a	۴۴/۰۰	۷۷/۴۲	۱۲/۷۵
محلول‌پاشی نانوکود	شاهد	۲/۰۲ b	۰/۴۲ b	۰/۵۱	۶۰/۰۱ b	۳۸/۸۳ b	۷۷/۹۶	۱۲/۶۴ b
	محلول‌پاشی	۲/۳۴ a	۰/۵۱ a	۰/۵۱	۶۲/۳۸ a	۴۴/۷۵ a	۷۹/۳۳	۱۳/۰۵ a
محلول‌پاشی متانول (درصد حجمی)	شاهد	۱/۸۸ b	۰/۳۵ b	۰/۴۸ c	۵۹/۳۳	۳۶/۰۰ b	۷۹/۷۵	۱۲/۹۸
	۱۰	۲/۲۸ a	۰/۴۶ a	۰/۵۱ ab	۶۱/۳۳	۴۰/۱۷ b	۸۱/۳۳	۱۲/۶۱
	۲۰	۲/۲۷ a	۰/۵۲ a	۰/۵۲ bc	۶۱/۵۸	۴۸/۶۷ a	۷۵/۵۰	۱۲/۷۳
	۳۰	۲/۲۸ a	۰/۵۳ a	۰/۵۳ a	۶۲/۸۳	۴۲/۳۳ ab	۷۸/۰۰	۱۳/۰۸
LSD (5%)		۰/۲۲۰	۰/۰۹۳	۰/۰۲۲		۷/۶۴۴		

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

قرار گرفت (جدول ۳).

آبیاری تکمیلی موجب افزایش معنی‌دار ۲۴ درصدی مقدار فسفر اندام هوایی، ۷/۳ درصدی مقدار روی اندام هوایی و ۱۸ درصدی نیتروژن دانه، ۳۲ درصدی فسفر دانه و ۵ درصدی پتاسیم دانه نسبت به شرایط دیم شد (جدول ۳). ملاحظه می‌شود که تأمین آب موجب افزایش جذب اغلب عناصر به‌ویژه عناصر کم‌تحرک در خاک همچون فسفر گردیده و و انتقال عناصر از اندام هوایی به دانه را بهبود بخشیده است. محلول‌پاشی نانوکود موجب افزایش معنی‌دار ۷۶ درصدی مقدار نیتروژن اندام هوایی، ۴۰ درصدی مقدار فسفر اندام هوایی، ۱۰۶ درصدی مقدار پتاسیم اندام هوایی و ۲۷ درصدی مقدار روی اندام هوایی و ۱۶ درصدی مقدار نیتروژن دانه، ۲۳

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی اندام هوایی و دانه گندم تحت تأثیر متقابل دوگانه آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی متانول

تیمارها		پراکسیداز اندام هوایی	نیتروژن اندام‌هوایی	فسفر اندام‌هوایی	پتاسیم اندام‌هوایی	پرولین اندام‌هوایی	مس اندام هوایی	آهن اندام هوایی	فسفر دانه	پروتئین دانه
آبیاری تکمیلی	محلول‌پاشی متانول (درصد حجمی)	(میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	(درصد)			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			(درصد)	
شاهد	شاهد	۱۳۲/۳^{bc}	۲/۱۶^{abc}	۰/۲۶^{bc}	۲/۰۶^{ab}	۶/۷۴ ^{b}	۴۴/۹^{a}	۱۶۲/۲^{c}	۰/۳۹^{c}	۱۳/۲^{ab}
	۱۰	۱۳۰/۸^{c}	۲/۳۳^{ab}	۰/۲۹^{bc}	۲/۰۵^{ab}	۶/۷۱^{b}	۴۳/۱^{ab}	۱۵۷/۲^{c}	۰/۳۵^{c}	۱۳/۶^{a}
	۲۰	۱۴۹/۸^{a}	۱/۸۷^{bc}	۰/۲۲^{c}	۱/۸۰^{ab}	۸/۰۸^{a}	۳۶/۵^{b}	۲۱۵/۵^{ab}	۰/۴۳^{c}	۱۲/۶^{bc}
	۳۰	۱۴۳/۹^{ab}	۱/۷^{c}	۰/۲۳^{c}	۱/۸۱^{ab}	۷/۷۹^{a}	۳۸/۴^{ab}	۱۹۹/۶^{b}	۰/۴۱^{c}	۱۲/۳^{c}
آبیاری تکمیلی	شاهد	۱۳۶/۰^{bc}	۲/۱۹^{abc}	۰/۳۵^{ab}	۱/۸۷^{ab}	۵/۳۵^{c}	۳۹/۶^{ab}	۲۳۷/۲^{a}	۰/۶۶^{a}	۱۲/۹^{abc}
	۱۰	۱۳۴/۱^{bc}	۱/۹۱^{bc}	۰/۴۳^{a}	۲/۶۹^{a}	۵/۴۷^{c}	۳۷/۳^{ab}	۲۰۰/۹^{ab}	۰/۳۴^{c}	۱۲/۳^{c}
	۲۰	۱۲۷/۴^{c}	۲/۰۶^{bc}	۰/۲۲^{c}	۱/۲۴^{b}	۵/۸۸^{bc}	۴۴/۰^{ab}	۱۴۶/۳^{c}	۰/۴۸^{bc}	۱۲/۶^{bc}
	۳۰	۱۳۵/۰^{bc}	۲/۴۳^{a}	۰/۲۵^{c}	۱/۱۱^{b}	۵/۷۶^{bc}	۴۰/۷^{ab}	۱۶۲/۶^{c}	۰/۶۲^{ab}	۱۳/۱^{abc}
LSD (0.05)		۱۲/۹۰۳	۰/۴۷۳	۰/۰۹۳	۱/۰۱۹	۱/۰۰۴۹	۷/۶۸۸	۳۶/۹۳۹	۰/۱۶۴	۲۹/۸۲۲

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

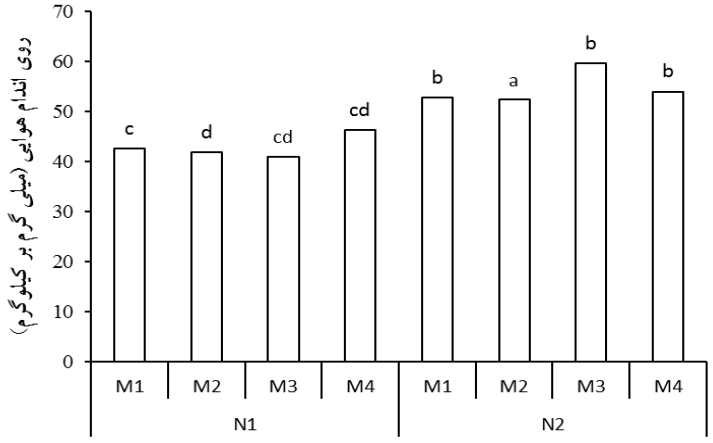
درصدی مقدار فسفر دانه، ۳/۷ درصدی آهن دانه و ۱۵/۲ درصدی روی دانه نسبت به عدم کاربرد نانوکود شد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوکود نقش مؤثری در تأمین عناصر ضروری گیاه داشته و موجب غنی‌سازی دانه گندم از نظر برخی عناصر ضروری می‌گردد (نادری و دانش شهرکی، ۱۳۹۰؛ Zhang *et al*., 2006; Liu *et al*., 2006).

با افزایش غلظت محلول‌پاشی متانول بر مقدار تمامی عناصر ضروری در اندام هوایی و دانه افزوده شد. در میان سطوح محلول‌پاشی متانول، کاربرد ۳۰ درصد حجمی متانول موجب افزایش معنی‌دار ۵/۴ درصدی مقدار نیتروژن اندام هوایی و ۱۰ درصدی آهن اندام هوایی و ۲۱ درصدی نیتروژن دانه، ۵۲ درصدی فسفر دانه، ۹ درصدی پتاسیم دانه و ۵/۹ درصدی آهن دانه شد. کاربرد ۲۰ درصد حجمی متانول موجب افزایش معنی‌دار ۵۰ درصدی مقدار فسفر اندام هوایی، ۶۲ درصدی مقدار پتاسیم اندام هوایی و ۵/۵ درصدی روی اندام هوایی و ۳۵/۲ درصدی روی دانه نسبت به عدم محلول‌پاشی متانول گردید (جدول ۴). مشاهده می‌شود که جذب عناصر توسط گیاه با محلول‌پاشی متانول تا غلظتی مشخص بسته به نوع عنصر (برای برخی عناصر غلظت ۲۰ درصد حجمی و برای برخی دیگر غلظت ۳۰ درصد حجمی) افزایش می‌یابد.

میانگین اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی متانول نشان داد که واکنش عناصر ضروری در اندام هوایی و دانه به محلول‌پاشی متانول در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی متفاوت بود. در شرایط بدون آبیاری تکمیلی (دیم)، بیشترین مقدار نیتروژن و فسفر اندام هوایی از محلول‌پاشی سی درصد متانول (به‌ترتیب ۳۷ و ۲۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) و بیشترین پتاسیم و آهن اندام هوایی و فسفر دانه از محلول‌پاشی ۱۰ درصد متانول (به‌ترتیب ۱۴، ۸ و ۲۲ درصد افزایش نسبت به شاهد) به‌دست آمد. اما در شرایط آبیاری تکمیلی، بیشترین مقدار نیتروژن اندام هوایی از عدم محلول‌پاشی متانول و بیشترین مقدار فسفر، پتاسیم و آهن اندام هوایی و فسفر دانه از محلول‌پاشی ۳۰ درصد متانول (به‌ترتیب صفر، ۷۳، ۱۴۱، ۴۶ و ۹۴ درصد افزایش نسبت به شاهد) حاصل شد (جدول ۳). این نتایج بیانگر این واقعیت است که تأمین آب از طریق آبیاری تکمیلی در شرایط دیم با محلول‌پاشی متانول اثر متقابل داشته، و جذب عناصر توسط گیاه و غنی‌سازی دانه گندم بستگی به نوع عنصر و غلظت متانول در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی دارد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]



شکل ۲- مقایسه میانگین روی اندام هوایی تحت تأثیر متقابل آبیاری تکمیلی در نانوکود. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

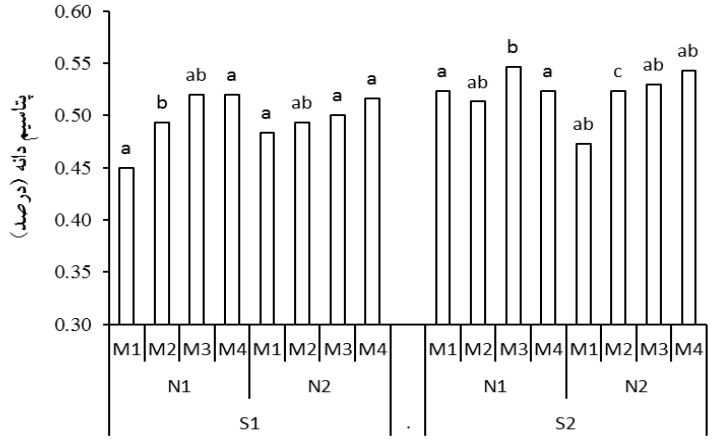
مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی نانوکود در محلول‌پاشی متانول بر مقدار روی در اندام هوایی نشان داد که در شرایط عدم محلول‌پاشی نانوکود، بیشترین مقدار روی در اندام هوایی از محلول‌پاشی ۳۰ درصد متانول و در شرایط محلول‌پاشی نانوکود از محلول‌پاشی ۲۰ درصد متانول (به‌ترتیب ۹ و ۱۳ درصد افزایش نسبت به شاهد) حاصل شد (شکل ۲). این نتیجه نشان دهنده نیاز به غلظت محدودی از متانول در حضور نانوکود برای حداکثر جذب روی است. مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه بر مقدار پتاسیم دانه نشان داد که بیشترین مقدار پتاسیم دانه در شرایط دیم، از عدم محلول‌پاشی نانوکود و متانول حاصل شد، اما در شرایط آبیاری تکمیلی، از محلول‌پاشی تنهای نانوکود یا محلول‌پاشی تنهای ۳۰ درصد متانول به‌دست آمد (شکل ۳). به‌عبارت دیگر، در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی نانوکود و متانول تأثیر مثبتی در جذب پتاسیم ندارد و در صورت تأمین آب، محلول‌پاشی توأم نانوکود و متانول اثر بازدارنده بر جذب پتاسیم داشته است.

کربوهیدرات‌ها و پروتئین دانه: نتایج تجزیه واریانس ساده صفات نشان داد که پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده محلول‌پاشی نانوکود قرار گرفت. اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی نانوکود بر کربوهیدرات‌های دانه و اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی متانول بر پروتئین دانه معنی‌داری شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌ها نشان داد که محلول‌پاشی نانوکود موجب افزایش ۳/۳ درصدی مقدار پروتئین دانه گردید (جدول ۴). دلیل افزایش مقدار پروتئین دانه را می‌توان در افزایش ۷۶ درصدی مقدار نیتروژن اندام هوایی و ۱۶ درصدی مقدار نیتروژن دانه (احمدی و سی و سه مرده، ۱۳۸۳) ناشی از محلول‌پاشی نانوکود جستجو نمود (Zhang *et al.*, 2006).

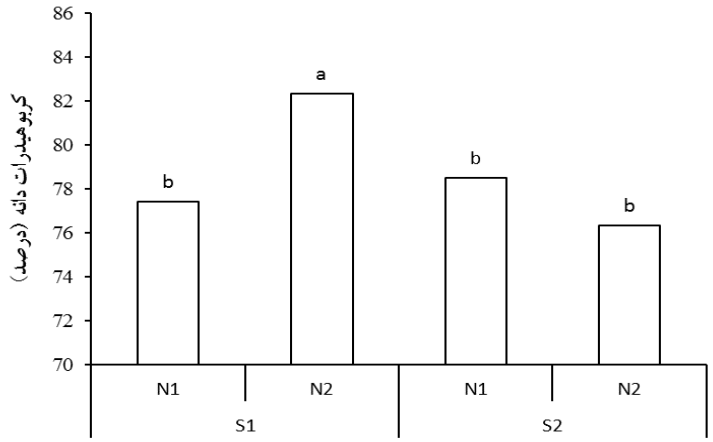
مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی نانوکود نشان داد که محلول‌پاشی نانوکود در شرایط دیم موجب افزایش ۶/۳ درصدی مقدار کربوهیدرات‌های دانه شد. محلول‌پاشی نانوکود در شرایط آبیاری تکمیلی موجب کاهش مقدار کربوهیدرات‌های دانه گردید (شکل ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی متانول نشان داد که با کاربرد متانول در شرایط دیم از مقدار پروتئین دانه کاسته شد، اما در شرایط آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول موجب افزایش ۶/۱ درصدی مقدار پروتئین دانه نسبت به عدم محلول‌پاشی متانول شد (جدول ۵).

با توجه به همبستگی منفی میان مقدار کربوهیدرات‌ها و پروتئین دانه (احمدی و سی‌وسه‌مرده، ۱۳۸۳)، به‌نظر می‌رسد تغییر در مقدار کربوهیدرات‌های دانه به مقدار جذب نیتروژن و درنتیجه پروتئین دانه تحت تأثیر وضعیت آب بستگی دارد. در شرایط دیم، حتی با محلول‌پاشی نانوکود یا متانول، جذب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]



شکل ۳- مقایسه میانگین مقدار پتاسیم دانه تحت تأثیر متقابل آبیاری تکمیلی در نانوکود در متانول. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).



شکل ۴- مقایسه میانگین مقدار کربوهیدرات‌های دانه تحت تأثیر متقابل آبیاری تکمیلی در متانول. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

نیتروژن و درنتیجه پروتئین دانه کاهش می‌یابد، لذا مقدار کربوهیدرات‌های دانه افزایش نشان می‌دهد. بالعکس، در صورت تأمین آب با آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی نانوکود با افزایش مقدار نیتروژن و درنتیجه پروتئین دانه، مقدار کربوهیدرات‌های دانه را کاهش می‌دهد. محلول‌پاشی متانول، البته تا غلظت ۲۰ درصد حجمی نیز در صورت تأمین آب، جذب نیتروژن و درنتیجه مقدار پروتئین دانه را بهبود می‌بخشد.

در میان عناصر غذائی فسفر و پتاسیم به‌عنوان دو عنصر پرمصرف دارای نقش اساسی و مهم در رشد گیاه است که جذب آن در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد (سیروس مهر و روشن ضمیر، ۱۳۹۳). اصلانی و همکاران (۱۳۸۸) کاهش معنی‌داری را در مقدار فسفر برگ گیاه ریحان با افزایش دور آبیاری از چهار روز به ۱۲ روز گزارش کردند. در آزمایشی استفاده از کود حاوی ذرات نانو در مقایسه با مقدار مساوی کود شیمیایی NPK باعث افزایش ارتفاع گیاه گندم شد و گیاهان تیمارشده با این کود دارای غلظت بیشتری از عناصر به‌خصوص نیتروژن بودند (Zhang *et al*., 2006).

روند تغییرات عملکرد دانه و پراکسیداز: روند تغییرات عملکرد دانه گندم تحت تأثیر متقابل سطوح آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی متانول به‌روش برش‌دهی براساس محلول‌پاشی نانوکود نشان داد که در تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود (شکل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]

۲، N1) و محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N2)، عملکرد دانه با افزایش محلول‌پاشی متانول از یک رابطه پلی‌نومیال معنی‌دار و مثبت در هر دو شرایط عدم آبیاری تکمیلی (به‌ترتیب R^2= 0.989** و R^2= 0.956**) و آبیاری تکمیلی (به‌ترتیب R^2= 0.999** و R^2= 0.952**) پیروی نمود.

عملکرد دانه در تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N1) در تمامی سطوح محلول‌پاشی متانول و آبیاری تکمیلی، کمتر از تیمار محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N2) بود. در هر دو تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N1) و محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N2)، عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی در تمامی سطوح محلول‌پاشی متانول بیشتر از شرایط عدم آبیاری تکمیلی بود، با این تفاوت که در شرایط آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول‌پاشی متانول تا سطح ۲۰ درصد افزایش یافت (به‌ترتیب ۲۵۳۲ و ۲۸۶۳ کیلوگرم در هکتار) و با مصرف بیشتر متانول روند کاهشی داشت؛ اما در شرایط عدم آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول‌پاشی متانول افزایش نشان داد و در سطح ۳۰ درصد متانول به حداکثر مقدار رسید (به‌ترتیب ۲۴۸۲ و ۲۵۰۳ کیلوگرم در هکتار).

برخلاف عملکرد دانه، روند تغییرات پراکسیداز تحت تأثیر متقابل سطوح آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی متانول به‌روش برش‌دهی براساس محلول‌پاشی نانوکود نشان داد که در تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N1) و محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N2)، مقدار پراکسیداز با افزایش محلول‌پاشی متانول از یک رابطه خطی معنی‌دار و منفی در هر دو شرایط عدم آبیاری تکمیلی (به‌ترتیب R^2= 0.691* و R^2= 0.524*) و آبیاری تکمیلی (به‌ترتیب R^2= 0.558* و R^2= 0.865**) پیروی نمود.

تفاوتی میان دو تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N1) و محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N2) از نظر مقدار پراکسیداز در تمامی سطوح محلول‌پاشی متانول در شرایط عدم آبیاری تکمیلی مشاهده نشد، اما در شرایط آبیاری تکمیلی، مقدار پراکسیداز در تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N1) در تمامی سطوح محلول‌پاشی متانول بیشتر از تیمار محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N2) بود.

در هر دو تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N1) و محلول‌پاشی نانوکود (شکل ۲، N2)، مقدار پراکسیداز در شرایط عدم آبیاری تکمیلی در تمامی سطوح محلول‌پاشی متانول بیشتر از شرایط آبیاری تکمیلی بود، با این تفاوت که در تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود، مقدار پراکسیداز با افزایش محلول‌پاشی متانول با شیب بیشتری کاهش نشان داد؛ اما در تیمار محلول‌پاشی نانوکود، با شیب کمتری کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که در تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود، محلول‌پاشی متانول نقش بیشتری در مکانیسم آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز دارد؛ اما در تیمار محلول‌پاشی نانوکود، افزایش محلول‌پاشی متانول اثر هم‌افزا داشته و موجب تعدیل بیشتر تنش خشکی شده و لذا نقش آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز ضعیف‌تر می‌شود.

نتایج تحقیقات مختلف نیز حاکی از کاهش پراکسیداز (حشمتی و همکاران، ۱۳۹۵) و افزایش عملکرد دانه (تاتاری و همکاران، ۱۳۹۱؛ Ghobadi *et al*., 2012; Shawkat Al-Mahmada *et al*., 2014) در گیاه گندم در اثر آبیاری تکمیلی در زراعت دیم است و کاربرد نانوکود (نادری و دانش شهرکی، ۱۳۹۰؛ Mazaherinia *et al*., 2010; Liu *et al*., 2006) و متانول تا غلظتی مشخص (آرین‌فر و همکاران، ۱۳۹۴) بر عملکرد دانه گندم می‌افزاید، که با یافته‌های حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش مشخص شد که مقدار پرولین، و آنزیم آنتی‌اکسیدان پراکسیداز با آبیاری تکمیلی کاهش یافت و جذب عناصر غذایی ضروری پرمصرف و کم‌مصرف و درنهایت عملکرد دانه افزایش نشان داد. افزایش غلظت ترکیب اسمزی پرولین و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان پراکسیداز در شرایط دیم (تنش خشکی) نشان‌دهنده سعی گیاه گندم در تعدیل تنش خشکی بود. محلول‌پاشی نانوکود با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]

افزایش مقدار نیتروژن اندام هوایی و مقدار نیتروژن دانه موجب افزایش مقدار پروتئین دانه شد. آبیاری تکمیلی با محلول‌پاشی متانول اثر متقابل نشان داد و جذب عناصر توسط گیاه و غنی‌سازی دانه گندم بستگی به نوع عنصر و غلظت متانول در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی داشت. در شرایط عدم آبیاری تکمیلی تفاوتی میان دو تیمار عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی نانوکود از نظر مقدار پراکسیداز در تمامی سطوح محلول‌پاشی متانول مشاهده نشد، اما مقدار پراکسیداز در شرایط آبیاری تکمیلی در تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود در تمامی سطوح محلول‌پاشی متانول بیشتر از تیمار محلول‌پاشی نانوکود بود. در مجموع، آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی نانوکود و محلول‌پاشی متانول، عملکرد دانه گندم در شرایط دیم را افزایش داد، لیکن در شرایط آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول‌پاشی متانول تا سطح ۲۰ درصد افزایش یافت و با مصرف بیشتر متانول روند کاهشی داشت؛ اما در شرایط عدم آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول‌پاشی متانول افزایش نشان داد.

منابع

آرین‌فر، ا. ر.، خورگامی، ع. و سیاح‌فر، م. (۱۳۹۴) اثر محلول‌پاشی متانول و عناصر ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم آبی. سومین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار، صفحه ۱۲.

احمدی، ع. و سی‌وسی‌مرده، ع. (۱۳۸۳) اثر تنش خشکی بر کربوهیدرات‌های محلول، کلروفیل و پرولین در چهار رقم گندم سازگار با شرایط متفاوت اقلیمی ایران. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۵: ۸۲۵-۸۱۳.

احیایی، ح.، پارسا، م. و نصیری محلاتی، م. (۱۳۸۹) اثر محلول‌پاشی متانول و دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم نخود. نشریه پژوهشی‌های حبوبات ایران ۱: ۴۸-۳۷.

اصلانی، ز.، حسنی، ع.، صدقیانی، م.، سفیدکن، ف.، برین، م. و غیبی، س. (۱۳۸۸) تأثیر همزیستی با قارچ مایکوریزا بر برخی پارامترهای فیزیولوژیک گیاه ریحان تحت شرایط تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زیستی ۲: ۱۱۷-۱۰۹.

امینی، ز. و حداد، ر. (۱۳۹۲) نقش رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در مقابل تنش اکسیدیتیو. مجله پژوهش‌های سلولی و مولکولی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۲۶: ۲۵۱-۲۶۵.

ایقائی اسکوئی، آ. (۱۳۹۷) ارزیابی اثرات نانوذرات آهن (سبز، شیمیایی، مغناطیسی) بر مراحل رشدی و عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ‌های لوبیا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم.

تاتاری، م.، احمدی، م. م. و عباسی‌علی‌کمر، ر. (۱۳۹۱) اثر آبیاری تکمیلی بر رشد و عملکرد گندم دیم. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۰: ۴۵۵-۴۴۸.

توکلی، ع. ر. (۱۳۸۰) به گزینی مدیریت تک آبیاری در زراعت گندم دیم. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ۲: ۵۰-۴۱.

توکلی، ع. (۱۳۸۵) ارزیابی زراعی و اقتصادی مدیریت تک آبیاری گندم در شرایط خشکسالی. مجله علمی کشاورزی ۲۹: ۲۹-۱۷.

حشمتی، س.، امینی‌دهقی م. و فتحی امیرخیز، ک. (۱۳۹۵) بررسی اثر کود شیمیایی و زیستی فسفر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ۸: ۲۰۳-۲۱۳.

رضایی، ر. س.، حسینی، م.، شعبانعلی فمی، ح. و صفا، ل. (۱۳۸۸) شناسایی و تحلیل موانع توسعه فناوری نانو در بخش کشاورزی ایران از دیدگاه محققان. فصلنامه علمی پژوهشی سایت فناوری ۲: ۲۶-۱۷.

روستایی، م. (۱۳۹۴) اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های گندم نان در منطقه مراغه. مجله به‌نژادی نهال و بذر ۳۱: ۲۲۵-۲۰۵.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]

سیروس مهر، ع. ر. و روشن ضمیر، ف. (۱۳۹۳) تأثیر تنش کم آبی و کود فسفر بر روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و درصد اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.). نشریه زراعت پژوهش و سازندگی ۱۰۵: ۱۴۰-۱۳۴.

فراهانی، ن.، سنگی، م.، دری، ح.، بامداد، ف. و مهدیه، م. (۱۳۹۲) بررسی اثر نانوذرات اکسید آهن و مقایسه آن با سایر منابع آهن بر رشد و عملکرد لوبیا. پنجمین همایش ملی حبوبات ایران ۴۵۸-۴۵۵.

نادری، م. ر. و دانش شهرکی، ع. (۱۳۹۰) کاربرد فناوری نانو در بهینه‌سازی فورمولاسیون کودهای شیمیایی. ماهنامه فناوری نانو ۴: ۳۲-۲۰.

Abderrazzak, B., Daoui, K., Kajji, A., Dahan, R. and Ibriz, M. (2013) Effects of supplemental irrigation and nitrogen applied on yield and yield components of bread wheat at the sais region of Morocco. American Journal of Experimental Agriculture 3: 904-913.

Bahramichegeni, Z., Amiri, H. and LariYazdi, H. (2013) Effect of drought stress on some physiological parameters of basil. Agricultural Science and Technology 419-430.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Cha-um, S. and Kirdmanee, Ch. (2009) Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. Agricultural Sciences in China 8: 51-58.

Delfani, M., Firouzabadi, M. B., Farrokhi, N. and Makarian, H. (2014) Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium nanofertilizers.Communications in Soil Science and Plant Analysis 45: 530-540.

Downic, A. S., Miyazaki, H., Bohnert, P., John, J., Coleman, M. and Parry Haslam, R. (2004) Expression profilimy of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimulation. Phytochemistry 65: 2305-2316.

Ghobadi, M., Felehkari, E. H., Mohammadi, G. R. and Jalali Honarmand, S. (2012) The effects of supplemental irrigation and N-applications on yield and yield component in two wheat cultivars in Kermanshah condition. Annals of Biological Research 3: 2127-2133.

Gholdani, M. (2012) Effect of irrigation intervals on some morphophysiological traits of basil (*Ocimum basilicum* L.) ecotypes. Iranian Journal of Field Crops Research 10: 412-420.

Ghorbanli, M. and Niakan, M. (2006) The effect of drought stress on soluble sugar, total protein, proline, phenolic compound, chlorophyll content and rate reductase activity in soybean (*Glycine max* L.cv.Gorgan3). Materials and Energy 18: 537-550.

Harsinia, M. G., Habibib, H. and Talaei, G. H. (2014) Study the effects of iron nano chelated fertilizers foliar application on yield and yield components of new line of wheat cold region of kermanshah provence. Agricultural Advances 3: 95-102.

Joseph, T. and Morrisson, M. (2006) Nanoforum: Nanotechnology in Agriculture and Food. Eur. Nanotechnol. Gateway.

Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R. and Jalilian, J. (2016) Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition. Journal of Plant Interactions 11: 130-137.

Kjeldal, S. E. (1998) An investigation of several psychological factors impinging on the perception of fresh fruits and vegetables. Unpublished Ph.D Thesis, University of New England, Australia.

Kochert, G. (1978) Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: Hand book of Physiological Method Helebust (ed. Craig, J. S.) Pp. 56-97. Cambridge University Press, Cambridge.

Liu, X., Feng, Z., Zhang, S., Zhang, J., Xiao, Q. and Wang, Y. (2006) Preparation and testing of cementing nano-subnano composites of slower controlled release of fertilizers. Scientific Agriculture 39: 1598-1604.

Mae-Adam, J. W. and Nelson Sharp, C. J. (1992) Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall Fese Ue. Journal of Plant Physiology 99: 872-878.

Mahajan, S. and Tuteja, N. (2005) Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives in Biochemistry and Biophysics, 444: 139-158.

Mazaherinia, M., Astaraei, A. R., Fotovat, A. and Monshi, A. (2010) Effect of nano iron oxide particles on Fe, Mn, Zn, Cu concentrations in weath plant. World Applied Science Journal 7: 156-162.

Oweis, T. and Hachum, A. (2004) Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity for dry farming systems in West Asia and North Africa. ICARDA. Aleppo. Syria for Presentation at the 4th International Crop Science Congress 26th Sept. to 1st Oct.

Ramirez, I. F., Dorta, V., Espinoza, E., Jimenez, A. and Pena-Cortes, A. (2006) Effect of foliar and root applications of methanol on the yrowth of Arabidopsis, tobacco and tomato plant. Journal of Plant Growth Reyul 25: 30-44.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]

Ryan, J., Estefan, G. and Rashid, A. (2007) Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. ICARDA.

Sadeghi-Shoae, M., Pak Nejad, F., Kashani, A., Vazan, S. and Nooralvandi, T. (2012) Methanol and its period of floiar application on suger beet in different available water. Tropentory, September 19-21, Gottingen.

Safarzade Vishyahi, M. N., Normohammadi, G. and Maghidi Haravan, I. (2005) Effect of methanol on peanvt function and yield components. Journal of Crop Science 20: 88-103.

Shawkat Al-Mahmada, D. and Khalaf, A. S. (2014) Effect of preceding crops and supplementary irrigation on yield and yield components of two varieties of common wheat (*Triticum aestivum* L.). American Journal of Experimental Agriculture 4: 1944-1957.

Tian, X. and Li, Y. (2006) Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. Biologia Plantarum 50: 775-778.

Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. (2001) Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: Physiological and molecular considerations. Acta Horticulturae 560: 285-292.

Zhang, H., Kol, G. J. and Nkod, Z. Z. (2006) Effect of limited irrigation on yield and water use efficiency of two sequence replaced winter wheat in Loess Plateau. African Journal of Biotechnology 13: 1493-1497.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]

Effect of foliar application of nano fertilizer and methanol on morphophysiological properties of rainfed wheat in terms of supplementary irrigation

Elham Beiranvand[1], Ali Khorgami[1], Masoud Rafiee[2*], Reza Mir Derikvand[1], Saied Hossein Vafaiee[3]

[1] Department of Agriculture, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran
[2] Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran
[3] Department of Plant Protection, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran
(Received: 12/09/2021, Accepted: 24/05/2022)

Abstract

Supplementary irrigation moderates the damage caused by drought stress in rainfed agriculture. Meanwhile, the application of nano fertilizers and methanol as the foliar application can be considered as effective management strategies to improve production under dryland conditions. For this purpose, the effect of supplementary irrigation, nano fertilizer spraying, and methanol foliar spraying was investigated in a split-factorial experiment with four replications. The results showed that the amount of proline (31% and 26%, respectively) and antioxidant enzyme peroxidase (4.6% and 10.5%, respectively) decreased with supplementary irrigation and showed the absorption of high and low consumption essential nutrients and finally increased grain yield. In the absence of supplemental irrigation, no difference was observed between the two treatments of non-foliar spraying and foliar application of peroxidase at all levels of methanol foliar spraying; However, the amount of peroxidase in the conditions of supplementary irrigation in the non-foliar application of nano fertilizer at all levels of methanol foliar application was higher than the foliar application of nano fertilizer. Proline and peroxidase levels were reduced by methanol application in both rainfed and supplementary irrigation conditions. Foliar application of nano fertilizer increased the amount of grain protein (3.3%) by increasing the amount of nitrogen (76%) in the shoot and the amount of grain nitrogen (16%). Element uptake by plants and wheat grain enrichment depended on the type of element and the concentration of methanol in both dryland and supplementary irrigation conditions. In general, supplementary irrigation, nano fertilizer foliar application, and methanol foliar application increased wheat grain yield in dryland conditions, but in supplementary irrigation conditions, grain yield increased by 20% with increasing methanol foliar application and with more consumption Methanol had a decreasing trend; However, in the absence of supplementary irrigation, grain yield increased with increasing methanol foliar application.

Keywords: Grain enrichment, Grain yield, Nutrient uptake, Peroxidase, Proline

Corresponding author, Email: rafieemasoud@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1]