فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۹، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۱۷۵-۱۹۱
https://doi.org/10.22034/14.69.175

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر سلنیوم، متانول و اسید آسکوربیک بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت سطوح مختلف آبیاری

فروزان خدایی، راضیه خلیل‌زاده* و خسرو عزیزی
گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷)

چکیده
استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد و انجام آبیاری تکمیلی یکی از روش‌های بهبود عملکرد و کاهش اثرات مضر ناشی از تنش خشکی به شمار می‌رود. آزمایش به صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح شامل آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی، دانه‌بندی و بدون آبیاری و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در چهار سطح شامل محلول‌پاشی سلنیوم، اسید آسکوربیک، متانول و محلول‌پاشی آب به عنوان شاهد بود. تنش کم‌آبی سبب افزایش محتوای پرولین، قندهای محلول، هدایت الکتریکی، پروتئین دانه، انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه و سهم آن‌ها در عملکرد دانه گردید، در صورتی که کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد محتوای قندهای محلول و پروتئین دانه را افزایش و هدایت الکتریکی و انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه و سهم آن‌ها در عملکرد دانه را کاهش داد. نتایج نشان داد انجام آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و دانه‌بندی در مقایسه با شرایط بدون آبیاری عملکرد دانه را به ترتیب ۵/۹ و ۱۲/۶ درصد افزایش داد. هم‌چنین محلول‌پاشی سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول در مقایسه با شاهد (محلول‌پاشی آب) عملکرد دانه را به ترتیب ۱/۱، ۸/۳ و ۷/۱ درصد بهبود بخشید. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و انجام آبیاری تکمیلی توانسته است تا حدودی اثرات زیان‌بار ناشی از تنش خشکی را کاهش دهد و بنابراین می‌توان در راستای بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گندم استفاده از این تنظیم‌کننده‌های رشدی و انجام آبیاری تکمیلی را تحت شرایط دیم پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، پرولین، پروتئین دانه، تنظیم‌کننده رشد گیاهی، قندهای محلول

مقدمه
غلات یکی از منابع اولیه کالری و پروتئین است که نقش بسزایی در تأمین نیاز غذایی مردم جهان دارد. این گیاه تأمین‌کننده غذای اصلی بیش از ۳۶ درصد جمعیت جهان، ۲۰ درصد کالری و ۵۵ درصد کربوهیدرات‌ها می‌باشد. دانه گندم مهم‌ترین قسمت این گیاه محسوب می‌شود که به دلیل وجود کربوهیدرات‌ها، ترکیبات زیستی فعال، فیبرهای غذایی، ویتامین‌ها، به‌ویژه ویتامین‌های گروه B و مواد معدنی از ارزش غذایی مهمی برخوردار است (Shewry and Hey, 2015).

تنش خشکی رشد و بقای گیاه را در نواحی خشک محدود می‌کند و اثرات زیانبار شدیدی بر تولید و عملکرد محصولات کشاورزی دارد و می‌تواند سبب کاهش بیش از ۷۰ درصدی عملکرد گردد. تنش خشکی به واسطه ایجاد اختلال در فعالیت‌های بیوشیمیایی و نیز فرآیندهای فیزیولوژیکی از قبیل

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Khalilzadeh.r@lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

فتوسنتز، تنفس، انتقال کربوهیدرات‌ها و جذب یون‌ها و نیز متابولیسم مواد مغذی، موجب کاهش رشد گیاه می‌شود (Azmat *et al.*, 2020). گیاهان با راه‌کارهایی از جمله تنظیم اسمزی که شامل تجمع اسمولیت‌های سازگار است از فرآیندهای سلولی خود در برابر اثرات مضر ناشی از تنش‌های محیطی محافظت می‌کنند. پرولین یکی از مهم‌ترین این تنظیم‌کننده‌های اسمزی محسوب می‌شود که انباشت آن در گیاه تحت شرایط تنش محیطی افزایش می‌یابد و موجب از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن، حفظ ساختار پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌گردد (Razavizadeh *et al.*, 2009). یکی دیگر از تنظیم‌کننده‌های اسمزی قندهای محلول است که سبب حفظ فشار تورژسانس تحت تنش خشکی، هضم گونه‌های فعال اکسیژن و محافظت از غشاها و پروتئین‌ها، و افزایش پایداری غشاها می‌شود (Xu *et al.*, 2007). گزارش‌ها از افزایش محتوای پرولین (Naghavi *et al.*, 2016) و قندهای محلول (Balouchi *et al.*, 2009) در گندم تحت شرایط تنش خشکی حکایت دارد. پژوهش‌ها نشان‌دهنده افزایش میزان انتقال مجدد مواد از اندام هوایی به دانه در گندم تحت شرایط تنش خشکی است (Bahrani *et al.*, 2011). آبیاری تکمیلی شامل آبیاری گیاهان با مقدار محدودی آب در زمان عدم وجود نزولات آسمانی است و یکی از راه‌کارهای مؤثر در رسیدن به تولید پایدار در شرایط مختلف از جمله در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود که می‌تواند سبب جبران کمبود آب در خاک، افزایش کارایی مصرف آب، بهبود رشد و تولید عملکرد و نیز بهبود شرایط جهت استفاده از کودهای شیمیایی و علف‌کش‌ها گردد. میزان آب داده‌شده به گیاه تحت شرایط آبیاری تکمیلی به تنهایی برای تولید محصول کافی نیست، بلکه یکی از موارد ضروری در این امر استفاده توأم آب آبیاری به همراه نزولات آسمانی است (Tavakkoli and Oweis, 2004).

طی سال‌های اخیر مطالعات به سمت استفاده از متانول معطوف گردیده است که در جهت افزایش غلظت CO_2 در داخل گیاه و بالا بردن راندمان فتوسنتزی گیاه استفاده می‌شود (Dawood *et al.*, 2013). متانول استفاده‌شده بر روی گیاهان سه‌کربنه خصوصاً در شرایطی با تنفس نوری زیاد می‌تواند بخشی از تلفات کربن تثبیت‌شده توسط فتوسنتز را جبران نماید که این امر منجر به افزایش فتوسنتز خالص در واحد سطح و بالارفتن تولید ماده خشک در گیاهان زراعی سه‌کربنه می‌شود (Ramberg *et al.*, 2002). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد متانول سبب بهبود محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی (Ramberg *et al.*, 2002) و بهبود قندهای محلول در سویا (Dawood *et al.*, 2013) شد. اسید آسکوربیک یک مولکول کوچک قابل حل در آب و یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی اصلی در گیاهان است و نقش مهمی در برخی از تنش‌های اکسیداتیو ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی ایفا می‌کند. همچنین به عنوان سوبسترای اولیه در مسیرهای چرخه‌ای، برای سمیت‌زدایی و خنثی‌کردن رادیکال‌های سوپراکسید و اکسیژن منفرد نقش دارد (Sharma *et al.*, 2019). گزارش‌های مختلفی نشان داده‌اند که تیمار بذور گندم با اسید آسکوربیک موجب افزایش وزن خشک گیاه، بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی، افزایش تجمع پرولین، افزایش میزان آب بافت و پایداری غشای سلولی شد (Farooq *et al.*, 2009). همچنین محلول‌پاشی اسید آسکوربیک در جو تحت شرایط تنش، بالاترین مقادیر کلروفیل a، b، کل و محتوای پرولین را در مقایسه با شاهد را به خود اختصاص داد (Noreen *et al.*, 2021). سلنیوم یکی دیگر از موادی است که در شرایط تنش خشکی برای محلول‌پاشی گیاهان توصیه می‌شود. سلنیوم یک عنصر معدنی کمیاب در طبیعت و یکی از عناصر کم‌مصرف ضروری برای سلامت انسان و حیوانات با خاصیت ضدسرطان است (Han-Wens *et al.*, 2010). سلنیوم به واسطه بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی باعث کاهش خسارت گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش‌های محیطی می‌شود (Nawaz *et al.*, 2015). افزایش ارتفاع بوته، تعداد سنبله در مترمربع، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و پروتئین دانه گندم تحت تأثیر مصرف سلنیوم گزارش شده است (Han-Wens *et al.*, 2010).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

با توجه به نقش مهم گندم به عنوان منبع تأمین غذای مردم جهان از یک طرف و صدمات جبران‌ناپذیر ناشی از تنش خشکی بر رشد و عملکرد گندم از طرف دیگر و نیز نقش تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در تعدیل اثرات سوء ناشی از تنش خشکی سبب گردید تا پژوهش حاضر با هدف محلول‌پاشی متانول، اسید آسکوربیک و سلنیوم و آبیاری تکمیلی بر فرآیند انتقال مجدد، برخی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط دیم اجرا گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان (واقع در کیلومتر ۱۲ جاده خرم‌آباد – اندیمشک با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳ دقیقه و ارتفاع ۱۱۱۷ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری به عنوان عامل اصلی در سه سطح [آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (BBCH 61-65)، دانه‌بندی (BBCH 71-73) و بدون آبیاری (کشت دیم)] و تنظیم‌کننده-های رشدی به عنوان عامل فرعی در چهار سطح [محلول‌پاشی سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول به ترتیب با غلظت‌های ۸۰ میلی‌گرم در لیتر، ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، و ۲۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی آب به عنوان شاهد] در دو مرحله ۴-۶ برگی (BBCH 14-16) و مرحله ساقه روی (BBCH 30-31) بود. آبیاری قطره‌ای با نوار تیپ انجام شد. آماده‌سازی زمین شامل شخم پاییزه با گاوآهن چیزل و دیسک جهت خردکردن کلوخه‌ها بود. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول چهار متر و با فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع بود. فاصله بین کرت‌ها نیم متر و فاصله بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. رقم گندم کشت‌شده آذر ۲ بود که از جهاد کشاورزی استان لرستان تهیه شد. گندم آذر ۲ دارای تیپ رشد زمستانه، زودرس، مقاوم به ورس، ریزش دانه، سرما و خشکی است. تنظیم‌کننده‌های رشدی متانول، اسید آسکوربیک و سلنیوم از شرکت جهان کیمیا تهیه گردید. کاشت به صورت دستی در ۱۵ آبان‌ماه سال ۱۴۰۲ به صورت خشکه‌کاری انجام شد. در طول فصل رشد جهت مبارزه با علف‌های هرز از سم آتلانتیس استفاده شد. خاک مزرعه دارای بافت لومی رسی با درصد نیتروژن ۰/۱۱، میزان فسفر و پتاسیم به ترتیب ۱۲/۶ و ۳۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، pH برابر ۷/۷۸، و شوری ۱/۴۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. بر پایه نتایج تجزیه آزمون خاک، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل در زمان کاشت مصرف شد. متوسط دما و بارندگی ماهانه منطقه مورد آزمایش در طول فصل رشد در جدول ۱ آورده شده است.

صفات مورفولوژیک: در پایان فصل رشد و در زمان رسیدگی (۳۰ خرداد) پس از حذف اثرات حاشیه‌ای یک مترمربع از هر کرت جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی برداشت گردید. میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در یک مترمربع از هر کرت و ارتفاع بوته و وزن صد دانه در ۵ بوته از هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری شد.

محتوای پرولین، قندهای محلول و پروتئین دانه: اندازه‌گیری قندهای محلول برگ به روش فنول سولفوریک و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۹۰ نانومتر صورت گرفت (Dubios *et al.*, 1956). محتوای پرولین برگ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد (Bates *et al.*, 1973). برای اندازه‌گیری پروتئین دانه از دستگاه Analyzer Grain N (ساخت شرکت Perten سوئد مدل ۷۲۵۰) استفاده شد.

هدایت الکتریکی و محتوای نسبی آب: جهت سنجش هدایت الکتریکی برگ پرچم گندم از دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) استفاده شد. برای سنجش محتوای نسبی آب از روش Chelah و همکاران (۲۰۱۱) و از طریق رابطه ۱ استفاده شد.

رابطه ۱: $$RWC = (F_W - D_W)/(T_W - D_W) \times 100$$

در این رابطه RWC محتوای نسبی آب، F_W وزن تر، T_W وزن آماس یافته و D_W وزن خشک است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

جدول ۱- متوسط دما و بارندگی ماهانه منطقه مورد آزمایش طی فصل رشد در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
دما (سانتی‌گراد)	۲۲/۱	۱۵/۳	۹/۷	۷/۹	۷/۴	۸/۶	۱۳/۹	۱۸/۳	۲۶/۴
بارندگی (میلی-متر)	۱/۴	۴۵/۸	۲۹/۲	۴۳	۹۹/۶	۶۷/۸	۹۴/۶	۱۰۷/۸	۰/۴

میزان انتقال مجدد ماده خشک: میزان انتقال مجدد ماده خشک از کل اندام هوایی و ساقه از مرحله پرشدن دانه تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک اندازه‌گیری شد. یک هفته قبل از پر شدن دانه، هر ۳-۴ روز یک‌بار پنج سانتی‌متر از خطوط اصلی کاشت در هر کرت تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک برداشت شد. بوته‌های برداشت‌شده به ساقه، برگ و دانه تفکیک شدند و پس از خشک‌شدن به صورت جداگانه توزین شدند. میزان انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه و سهم آن‌ها در عملکرد دانه با استفاده از روابط ۲ تا ۵ محاسبه شد (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۴).

رابطه ۲: $DMT = DMA - DMM$

رابطه ۳: $CDMAG = (DMT/GY) \times 100$

رابطه ۴: $SDMT = SDMM - SDM$

رابطه ۵: $CSAG = (SDMT/GY) \times 100$

در این روابط، DMT: انتقال مجدد ماده خشک، DMA: حداکثر میزان ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول، DMN: میزان ماده خشک اندام هوایی به جز دانه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، CDMAG: سهم فرآیند انتقال مجدد ماده خشک در عملکرد دانه، GY: عملکرد دانه، SDMT: انتقال مجدد ماده خشک از ساقه، SDMM: حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول، SDMA: وزن خشک ساقه در رسیدگی فیزیولوژیک، CSAG: سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه.

برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و Excel استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر اصلی آبیاری بر تمام صفات مورد مطالعه معنی‌دار گردید (جدول ۲). هم‌چنین تمام صفات مورد بررسی (به استثناء محتوای پرولین) تحت تأثیر اثر تنظیم‌کننده رشد تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. از طرفی اثر دوگانه آبیاری در تنظیم‌کننده رشد بر صفات محتوای نسبی آب، هدایت الکتریکی، انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه معنی‌دار گردید (جدول ۲).

پرولین و قندهای محلول: تیمارهای آبیاری از نظر محتوای پرولین و قندهای محلول تفاوت معنی‌داری نشان دادند، با این وجود اثر تنظیم‌کننده رشد تنها بر محتوای قندهای محلول تأثیر داشت و بر محتوای پرولین تفاوتی را شامل نشد (جدول ۲). تحت شرایط بدون آبیاری و نیز کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی محتوای پرولین و قندهای محلول در برگ گیاه گندم بهبود یافت. مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی آبیاری نشان داد که بالاترین محتوای پرولین (۶/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و قندهای محلول (۲۵/۲۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) تحت شرایط بدون آبیاری تکمیلی به دست آمد. کم‌ترین میزان پرولین و قندهای محلول (به ترتیب ۵/۳۴ و ۲۳/۲۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در حالت اعمال آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی مشاهده گردید که با انجام آبیاری در مرحله گلدهی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). بر این اساس مشخص گردید که انجام آبیاری-های تکمیلی در مراحل گلدهی و دانه‌بندی در مقایسه با شاهد محتوای پرولین را به ترتیب ۱۶/۷ و ۱۶/۹ درصد و محتوای قندهای محلول را نیز به ترتیب ۵/۴ و ۸/۱ درصد کاهش داد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی تنظیم‌کننده رشد حاکی از آن است که کم‌ترین میزان قندهای محلول (۲۲/۵۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) تحت شرایط بدون استفاده از تنظیم‌کننده حاصل گردید. بالاترین میزان این شاخص نیز با کاربرد سلنیوم (۲۴/۹۶

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر آبیاری و تنظیم‌کننده رشد بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	هدایت الکتریکی	محتوای نسبی آب	پرولین	قندهای محلول	پروتئین دانه	انتقال مجدد کل	سهم انتقال مجدد کل	انتقال مجدد از ساقه	سهم ذخایر ساقه
بلوک	۲	۱/۴۶ ns	۲۲/۴۷ **	۰/۰۰۴ns	۸/۲۵ **	۰/۱۳ ns	۳/۴۴ ns	۹۷/۷۵ **	۷/۶۷ ns	۵۱/۳ **
آبیاری (A)	۲	۳۲۹/۵۴**	۱۴۶۱/۵۸**	۴/۵۹ **	۱۳/۰۶**	۸/۷۹ **	۱۶۸/۴۹ **	۳۹۰/۸۶ **	۵۵/۵۴ **	۱۸۳/۳۶ **
اشتباه آزمایشی a	۴	۱۲/۰۹	۲/۷۴	۰/۰۱	۰/۵۸	۰/۷۳	۲۷/۶۱	۵۶/۲۴	۱/۱۵	۲۶/۳۳
تنظیم‌کننده رشد (B)	۳	۷۴/۳۵ **	۲۴/۰۲ **	۰/۰۷۵ns	۱۰/۸۵**	۱/۱۴ *	۱۰۹/۷۹ **	۱۳۷/۷۹ **	۶۳/۸۹ **	۶۹/۳۳ **
(B) × (A)	۶	۴۴/۶۶ **	۲۷/۸۶ **	۰/۰۷۴ns	۰/۸۷ ns	۰/۶۲ ns	۱۵/۵۲ *	۱۵/۸۳ ns	۱۰/۷۹ **	۱۰/۲۵ ns
اشتباه آزمایشی b	۱۸	۳/۲۰۱	۱/۰۲	۰/۰۴۹	۱/۲۸	۰/۳۵	۵/۷۳	۱۱/۵	۲/۲۰۵	۶/۱۵
ضریب تغییرات (٪)	–	۲/۱۴	۱/۳۹	۳/۸۸	۴/۶۹	۴/۳	۳/۰۱	۷/۵۸	۲/۵۹	۷/۷

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر آبیاری و تنظیم‌کننده رشد بر محتوای پرولین، قندهای محلول و پروتئین دانه گندم

تیمار	پرولین	قندهای محلول	پروتئین دانه
	(میلی‌گرم در گرم وزن تر)		(درصد)
بدون آبیاری	۶/۴۳ a	۲۵/۲۷ a	۱۴/۲۴ a
آبیاری در مرحله گلدهی	۵/۳۸ b	۲۳/۹ b	۱۴/۲۷ a
آبیاری در مرحله دانه‌بندی	۵/۳۴ b	۲۳/۲۲ b	۱۲/۷۷ b
$LSD_{0.05}$	۰/۱۱	۰/۸۶	۰/۹۷
بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	–	۲۲/۵۲ b	۱۳/۲۷ b
سلنیوم	–	۲۴/۹۶ a	۱۳/۸ ab
اسید آسکوربیک	–	۲۴/۴۱ a	۱۴/۱۳ a
متانول	–	۲۴/۶۳ a	۱۳/۸۴ ab
$LSD_{0.05}$	–	۱/۱۲	۰/۵۸

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

میلی‌گرم در گرم وزن تر) به دست آمد که با دو تیمار اسید آسکوربیک و متانول اختلاف معنی‌داری را از لحاظ آماری نشان نداد. بر این اساس کاربرد سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول در مقایسه با شاهد محتوای قندهای محلول را به ترتیب ۱۰/۸، ۸/۳ و ۹/۳ درصد بهبود بخشید (جدول ۳).

پرولین به عنوان یکی از اسمولیت‌های سازگار است که در شرایط تنش‌های مختلف مانند خشکی، شوری (Ghaffari *et al.*, 2019)، فلزات سنگین، گرما، کمبود عناصر غذایی (Maghsoudi *et al.*, 2018) تجمع آن افزایش پیدا می‌کند و نقش مهمی در مهار گونه‌های فعال اکسیژن، حفظ فرم طبیعی پروتئین‌ها (Sales *et al.*, 2022) و حفاظت از ساختار غشاها، آنزیم‌ها، رنگیزه‌های فتوسنتزی (Ashraf and Foolad, 2007) ایفا می‌کند. تحریک سنتز پرولین و نیز ممانعت از تجزیه آن از دلایل افزایش تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی عنوان شده است (Cunhua *et al.*, 2010). مطالعات گوناگون افزایش انباشت پرولین در شرایط محدودیت آبی را در گندم نشان داده است (Annunziata *et al.*, 2017).

افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده نشاسته از قبیل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

آلفا آمیلاز و اینورتاز از دلایل افزایش محتوای قندهای محلول در شرایط تنش است، به‌طوریکه فعالیت این آنزیم‌ها سبب تجزیه نشاسته و قندهای بزرگ به مولکول‌های کوچکتر و در نتیجه حفظ پتانسیل اسمزی تحت شرایط تنش است (Bolarin *et al.*, 1995). نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که کاربرد متانول (Dawood *et al.*, 2013) و سلنیوم (Habibi, 2013) موجب افزایش محتوای قندهای محلول می‌شود. هم‌چنین گزارش گردیده است که سلنیوم (Nawaz *et al.*, 2015) و اسید آسکوربیک (Sharma *et al.*, 2019) سبب افزایش محتوای پرولین در گیاهان می‌شود.

از جمله دلایل تأثیرگذاری متانول بر مقدار کربوهیدرات‌های محلول در برگ این است که متانول از طریق تأثیری که بر دی‌اکسید کربن می‌گذارد و از طریق تحت تأثیر قرار دادن متابولیسم گیاه سبب افزایش فشار آماس، سرعت آسیمیلاسیون و تولید کربوهیدرات‌های محلول در برگ می‌شود. هم‌چنین متانول به سرعت به فرمالدئید اکسیده شده و سپس تبدیل به فروکتوز ۶ فسفات می‌شود که این ترکیب نیز به ساکارز تبدیل شده و سبب افزایش میزان کربوهیدارت‌های محلول در برگ گیاه می‌شود (Ramirez *et al.*, 2006). نقش اسید آسکوربیک در افزایش تجمع قندهای محلول را می‌توان به تأثیر مثبت اسید آسکوربیک در افزایش میزان کلروفیل‌ها و تأثیر آن در متابولیسم سلول و افزایش تقسیم و توسعه سلول نسبت داد (Gadallah, 2000). از طرفی عنوان شده است که سلنیوم با افزایش محتوای کاروتنوئید و کاهش تنش اکسیداتیو، موجب افزایش میزان قندهای موجود در گیاهان می‌شود (Nawaz *et al.*, 2015).

پروتئین دانه: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که آبیاری در مرحله گلدهی نسبت به شرایط بدون آبیاری تفاوت معنی‌داری را بر محتوای پروتئین نداشت، در صورتی که آبیاری در مرحله دانه‌بندی محتوای پروتئین را کاهش داد. هم‌چنین کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی نسبت به عدم کاربرد آن‌ها میزان پروتئین دانه گندم را بهبود بخشید. نتایج اثر اصلی برای آبیاری نشان داد که بیشترین محتوای پروتئین دانه تحت شرایط انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (۱۴/۲۷ درصد) و نیز شرایط بدون آبیاری (۱۴/۲۴ درصد) و کمترین این شاخص تحت تیمار آبیاری در مرحله دانه‌بندی (۱۲/۷۷ درصد) به دست آمد.

بر طبق نتایج انجام آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی میزان پروتئین دانه را در مقایسه با شرایط بدون آبیاری ۱۰/۳ درصد کاهش داد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی تنظیم‌کننده رشد مشخص کرد که تیمار کاربرد اسید آسکوربیک دارای بالاترین میزان پروتئین (۱۴/۱۳ درصد) است که با تیمارهای مصرف سلنیوم و متانول از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را دارا نبود. تیمار عدم کاربرد تنظیم‌کننده نیز حداقل محتوای پروتئین دانه (۱۳/۲۷ درصد) را به خود اختصاص داد (جدول ۳). بر این اساس محتوای پروتئین دانه با کاربرد سلنیوم ۳/۹ درصد، اسید آسکوربیک ۶/۴ درصد و متانول ۴/۲ درصد در مقایسه با عدم مصرف تنظیم‌کننده افزایش نشان داد (جدول ۳).

افزایش محتوای پروتئین دانه گندم در شرایط تنش خشکی به اثبات رسیده است (Azmat *et al.*, 2020). تنش خشکی سبب بسته‌شدن یا کاهش درجه باز شدن روزنه‌ها می‌شود و در این شرایط جذب و تثبیت دی‌اکسید کربن با اختلال مواجه می‌شود. در این حالت میزان کل مواد پرورده برای پر شدن دانه کاهش می‌یابد، ولی با این وجود انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه تحت تنش خشکی کاهش نمی‌یابد و این امر سبب افزایش پروتئین دانه می‌شود (Bahrani *et al.*, 2011). کاهش عملکرد و افزایش محتوای نیتروژن در دانه از دلایل افزایش میزان پروتئین در شرایط تنش است (Behboudi *et al.*, 2019). سلنیوم با تعدیل اثرات ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن سبب کاهش اکسیداسیون فسفولیپیدها و پروتئین‌ها و هم‌چنین با افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز سبب افزایش محتوای پروتئین می‌گردد (Nawaz *et al.*, 2015). Hafez و Gharib (۲۰۱۶) افزایش محتوای پروتئین‌های محلول گندم را با کاربرد اسید آسکوربیک گزارش دادند. عیسی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) تأثیر چهار سطح (صفر، ۷، ۲۱ و ۳۵ درصد حجمی) متانول را بر روی گیاه سویا در شرایط تنش خشکی مورد بررسی قرار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

دادند و نتیجه گرفتند که با افزایش محلول‌پاشی متانول تا ۲۱ درصد حجمی، درصد پروتئین دانه نسبت به شاهد ۳۰/۵ درصد افزایش یافت و این افزایش به دلیل تأثیر متانول بر اسیدهای آمینه است.

هدایت الکتریکی و محتوای نسبی آب: تنش آبی سبب افزایش میزان هدایت الکتریکی و کاهش محتوای نسبی آب شد. هم‌چنین کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در مقایسه با عدم کاربرد (شاهد) موجب کاهش هدایت الکتریکی و بهبود محتوای نسبی آب گردید (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری آبیاری در تنظیم‌کننده رشد نشان داد که حداکثر هدایت الکتریکی برگ گندم (۸۸/۵۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در حالت عدم مصرف تنظیم‌کننده در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی مشاهده شد که با ترکیبات تیماری مصرف سلنیوم و متانول در تیمار آبیاری در مرحله گلدهی و نیز مصرف سلنیوم، متانول، اسید آسکوربیک و عدم مصرف در حالت بدون آبیاری و هم‌چنین بدون مصرف تنظیم‌کننده در شرایط آبیاری در مرحله دانه‌بندی تفاوت معنی‌داری را از لحاظ آماری دارا نبود. محلول‌پاشی سلنیوم (۷۲/۳۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر)، اسید آسکوربیک (۷۴/۳۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) و متانول (۷۴/۴۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) به همراه آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی از کمترین میزان هدایت الکتریکی برخوردار بودند (جدول ۴). هم‌چنین حداکثر محتوای نسبی آب با کاربرد سلنیوم (۸۷/۴۲ درصد)، اسید آسکوربیک (۸۸/۲۴ درصد) و متانول (۸۸/۱۷ درصد) تحت شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی مشاهده گردید. ترکیب تیماری عدم مصرف تنظیم‌کننده تحت تیمار بدون آبیاری دارای حداقل محتوای نسبی آب (۶۴/۴۹ درصد) بود که از نظر آماری با کاربرد سلنیوم در شرایط بدون آبیاری و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک در شرایط آبیاری در محله گلدهی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۴).

محتوای نسبی آب به عنوان شاخصی برای ارزیابی گیاهان در مقابل تنش خشکی می‌باشد تا ارقام مقاوم به خشکی را شناسایی کنند. کاهش محتوای نسبی آب در گیاهان در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Azmat *et al.*, 2020). کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها در شرایط تنش خشکی و نیز عدم توازن میان مصرف آب ناشی از تبخیر و تعرق و تأمین و جایگزینی آن از طریق رطوبت خاک و آبیاری از دلایل عمده کاهش محتوای نسبی آب است (Abdel-Motagally *et al.*, 2018). افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو ناشی از تنش، سبب پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری آن‌ها می‌شود و از این طریق موجب افزایش نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (Mohammadkhani and Heidari, 2007).

عنوان شده است که تحت شرایط محدودیت آبی استفاده از تعدیل‌کننده‌های تنش از طریق تجمع اسمولیت‌های سازگار، افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی علاوه بر مهار گونه‌های فعال اکسیژن سبب حفظ ثبات و پایداری غشای سلولی می‌شوند (Ghaffari *et al.*, 2019). در این راستا گزارش شده است که در گیاهان تیمارشده با سلنیوم تخریب غشای پلاسمایی و نشت یون‌ها از سلول نسبت به گیاهان شاهد کمتر است و در نتیجه میزان هدایت الکتریکی نیز کاهش می‌یابد (Broadley *et al.*, 2010). در آزمایشی بر روی گیاه جو نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم محتوای نسبی آب را در گیاهان شاهد از ۷۲/۵ درصد به ۸۳/۵ درصد و در شرایط تنش خشکی از ۵۵/۲ درصد به ۵۷/۶ درصد افزایش داد (Habibi, 2013). کاربرد متانول از طریق افزایش دی‌اکسید کربن درون برگی، زمینه را برای بسته نگه داشتن بیشتر روزنه‌ها فراهم نموده و گیاه از این طریق میزان آب کمتری را در اثر تعرق از دست می‌دهد و از این طریق سبب حفظ محتوای نسبی آب می‌گردد (Huve *et al.*, 2007). محلول‌پاشی اسید آسکوربیک از طریق افزایش تجمع پرولین و قندها نقش مهمی را در تنظیم اسمزی برعهده دارد و از این طریق سبب حفظ محتوای نسبی آب در شرایط تنش خشکی می‌شود (Gadallah, 2000).

انتقال مجدد ماده خشک: در این پژوهش عدم آبیاری تکمیلی سبب افزایش انتقال ماده خشک از کل بوته و ساقه به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده رشد بر محتوای نسبی آب، هدایت الکتریکی و انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه گندم

آبیاری	تنظیم‌کننده	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	محتوای نسبی آب (درصد)	انتقال مجدد کل (گرم در مترمربع)	انتقال مجدد از ساقه (گرم در مترمربع)
بدون آبیاری	بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	۸۵/۹ ab	۶۴/۴۹ d	۸۷/۴۴ a	۶۲/۱۷ a
	سلنیوم	۸۵/۵۹ ab	۶۴/۹ d	۸۳/۵۱ ab	۵۹/۵۲ b
	اسید آسکوربیک	۹۶/۰۰ ab	۶۷/۲۲ c	۸۳/۹۲ ab	۵۸/۳۶ bc
	متانول	۸۷/۹۸ a	۶۸/۴۳ c	۸۰/۳۴ bc	۵۸/۰۵ bc
آبیاری در مرحله گلدهی	بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	۸۸/۵۸ a	۶۷/۲۵ c	۸۵/۲۶ ab	۶۲/۳۷ a
	سلنیوم	۸۵/۴۶ ab	۶۷/۵۲ c	۷۶/۴۵ cde	۵۶/۵۲ cd
	اسید آسکوربیک	۸/۲ b	۶۴/۵ d	۷۲/۱۵ e	۵۴/۵۱ de
	متانول	۸۶/۶ ab	۶۸/۵۶ c	۷۴/۲۲ de	۵۴/۲۹ def
آبیاری در مرحله دانه‌بندی	بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	۸۷/۷۱ ab	۷۹/۰۲ b	۸۰/۷۷ bc	۵۸/۷۴ bc
	سلنیوم	۷۲/۳۴ c	۸۷/۴۲ a	۷۷/۹۳ cd	۵۲/۸۶ ef
	اسید آسکوربیک	۷۴/۳۵ c	۸۸/۲۴ a	۷۵/۶۳ cde	۵۲/۰۷ f
	متانول	۷۴/۴۴ c	۸۸/۱۷ a	۷۶/۲۸ cde	۵۷/۳۵ bc
$LSD_{0.05}$		۳/۷۱	۱/۹۶	۵/۲۷	۲/۴

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

دانه گردید. به نظر می‌رسد کاهش طول دوره رشدی و نیز تسریع پیری و ریزش برگ‌های پایینی در شرایط محدودیت آبی سبب کاهش نقش فتوسنتز جاری در پر شدن دانه‌ها گردیده و در نتیجه بخش بیشتری از پر شدن دانه به واسطه انتقال بیشتر ماده خشک به سمت دانه تأمین می‌شود. از طرفی محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی میزان انتقال مجدد ماده خشک را کاهش داد. این تأثیر را می‌توان به نقش تنظیم‌کننده‌های رشدی در تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی و در نتیجه بهبود فتوسنتز جاری در جهت تأمین آسیمیلات‌های لازم برای پر شدن دانه نسبت داد. مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی آبیاری نشان داد که بالاترین سهم انتقال ماده خشک کل در عملکرد دانه (۵۱/۱ درصد) و سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه (۳۶/۳۲ درصد) در تیمار بدون آبیاری تکمیلی مشاهده شد (جدول ۵). کمترین سهم انتقال مجدد کل در عملکرد دانه (۴۰/۱۵ درصد) و سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه (۲۸/۵۵ درصد) از تیمار آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی حاصل شد (جدول ۵). نتایج مشخص کرد که تنش کم آبی در مقایسه با آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی سهم انتقال مجدد کل و نیز سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه را به ترتیب ۱۹/۳ و ۱۴/۷ درصد و در مرحله دانه‌بندی نیز به ترتیب ۲۷/۲ و ۲۷/۲ درصد افزایش داد (جدول ۵).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار بدون محلول‌پاشی (شاهد) دارای بالاترین سهم انتقال مجدد کل در عمکلرد دانه (۴۹/۴۴ درصد) و سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه (۳۵/۷۳ درصد) بود. کمترین سهم انتقال مجدد کل در مصرف اسید آسکوربیک و متانول (به ترتیب ۴۱/۳۱ و ۴۱/۶۶ درصد) مشاهده گردید. از طرفی محلول‌پاشی اسید آسکوربیک دارای حداقل سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه (۲۹/۴۴ درصد) بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول نسبت به شاهد سهم انتقال

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری و تنظیم‌کننده‌های رشد بر سهم انتقال مجدد از کل بوته و ساقه در عملکرد دانه گندم

تیمار	سهم انتقال مجدد کل (درصد)	سهم ذخایر ساقه (درصد)
بدون آبیاری	۵۱/۱ a	۳۶/۳۲ a
آبیاری در مرحله گلدهی	۴۲/۸۳ ab	۳۱/۶۶ ab
آبیاری در مرحله دانه‌بندی	۴۰/۱۵ b	۲۸/۵۵ b
$LSD_{0.05}$	۸/۵	۵/۸۱
بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	۴۹/۴۴ a	۳۵/۷۳ a
سلنیوم	۴۶/۳۵ a	۳۲/۹۳ b
اسید آسکوربیک	۴۱/۳۱ b	۲۹/۴۴ c
متانول	۴۱/۶۶ b	۳۰/۶۱ bc
$LSD_{0.05}$	۳/۳۵	۲/۴۵

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

مجدد کل در عملکرد دانه را به ترتیب ۶/۲، ۱۶/۴ و ۱۵/۷ درصد و سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه را به ترتیب ۷/۸، ۱۷/۶ و ۱۴/۳ درصد کاهش داد (جدول ۵).

اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده رشد نشان داد که حداکثر انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته (۸۷/۴۴ گرم در مترمربع) در حالت بدون محلول‌پاشی و بدون آبیاری مشاهده گردید که با تیمارهای کاربرد سلنیوم و اسید آسکوربیک در شرایط بدون آبیاری و تیمار بدون محلول‌پاشی در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. کمترین میزان این شاخص (۷۲/۱۵ گرم در مترمربع) با مصرف اسید آسکوربیک در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی به دست آمد (جدول ۴). بر اساس نتایج، محلول‌پاشی سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) میزان انتقال مجدد کل را در شرایط بدون آبیاری به ترتیب ۴/۴، ۴ و ۸/۱ درصد، در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی به ترتیب ۱۰/۳، ۱۵/۳ و ۱۲/۹ درصد و در شرایط آبیاری در مرحله دانه‌بندی به ترتیب ۳/۵، ۶/۳ و ۵/۵ درصد کاهش داد (جدول ۴). مقایسه میانگین ترکیب تیماری تنظیم‌کننده رشدی در آبیاری حاکی از آن است که ترکیب تیماری محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و آبیاری در مرحله دانه‌بندی کمترین میزان انتقال مجدد ماده خشک از ساقه (۵۲/۰۷ گرم در مترمربع) و ترکیب تیماری بدون محلول‌پاشی و بدون آبیاری و نیز آبیاری در مرحله گلدهی (به ترتیب ۶۲/۳۷ و ۶۲/۱۷ گرم در مترمربع) بالاترین این شاخص را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). انتقال مجدد ماده خشک از ساقه تحت تأثیر مصرف سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول نسبت به شاهد، در حال بدون آبیاری تکمیلی به ترتیب ۴/۲، ۶/۱ و ۶/۶، در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی ۹/۳، ۱۲/۶ و ۱۲/۹ درصد و در حالت آبیاری در مرحله دانه‌بندی ۱۰، ۱۱/۳ و ۲/۳ درصد کاهش را نشان داد (جدول ۴).

کاهش فتوسنتز جاری و افزایش انتقال مجدد ماده خشک از اندام هوایی به دانه در شرایط تنش خشکی در مطالعات متعدد گزارش شده است (Bahrani *et al.*, 2011). Davidson و Chevalier (۱۹۹۲) نیز بیان داشتند که در شرایط عادی سهم ذخایر ساقه در تشکیل دانه ۱۲ درصد و در شرایط تنش خشکی ۴۰ درصد است. در شرایط گوناگون سهم انتقال مجدد ماده خشک در عملکرد دانه به روابط مبدأ و مخزن در طول دوره پر شدن دانه مربوط می‌شود. در شرایط مطلوب و دسترسی به منابع کافی، چون فتوسنتز جاری افزایش می‌یابد، در نتیجه تعادل مبدأ و مقصد تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی مبدأ می‌تواند در مقصد مورد استفاده قرار گیرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

(Asseng and van Herwaarden, 2003). با این وجود تحت شرایط تنش، فتوسنتز جاری کاهش می‌یابد و بنابراین در این شرایط فرآیند انتقال مجدد نقش مهمی را در عملکرد نهایی دانه بازی می‌کند (Papakosta and Gagianas, 1991).

گزارش گردیده است که دی‌اکسید کربن حاصل از اکسیداسیون سریع متانول، با افزایش غلظت CO_2 در بافت‌های فتوسنتزکننده به دلیل بالابردن فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و کاهش تنفس نوری ضمن بهبود فتوسنتز جاری امکان انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی از مبدأ به مقصد را فراهم کرده و موجب می‌شود تحت چنین شرایطی سهم انتقال ماده خشک در عملکرد دانه کاهش یابد (Gout *et al.*, 2000). ساجدی و همکاران (۱۳۹۱) بیان داشتند که کاربرد تنظیم‌کننده-های سلنیوم و اسید سالیسیلیک میزان فتوسنتز جاری را در گندم افزایش داد، در صورتی که سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه را کاهش داد. ایشان بیان داشتند که بالاترین سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه با عدم کاربرد سلنیوم و اسید سالیسیلیک مشاهده شد.

صفات مورفولوژیک: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آبیاری بر صفات وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار شد. هم‌چنین تمام صفات تحت تأثیر اثر اصلی تنظیم‌کننده رشد تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده رشد بر عملکرد بیولوژیک تأثیر معنی‌داری را داشت (جدول ۶).

ارتفاع بوته و وزن صد دانه: تنها اثر اصلی تنظیم‌کننده رشد بر ارتفاع بوته معنی‌دار گردید. با این وجود وزن صد دانه تحت تأثیر اثر اصلی آبیاری و اثر اصلی تنظیم‌کننده رشد معنی‌دار گردید. نتایج حاصل از مقایسه میانگین بیانگر این است که بالاترین ارتفاع بوته با ۸۴/۴۴ سانتی‌متر در تیمار محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک و کمترین میزان آن با ۷۳/۳۳ سانتی‌متر در تیمار بدون کاربرد تنظیم‌کننده مشاهده گردید (جدول ۷). بر این اساس ارتفاع بوته با کاربرد سلنیوم ۱۲/۲ درصد، اسید آسکوربیک ۱۵/۱ درصد و متانول ۱۱/۳ درصد در مقایسه با عدم محلول‌پاشی افزایش یافت (جدول ۷). اثر اصلی آبیاری نشان داد که حداکثر وزن صد دانه (۳/۳۱ گرم) تحت شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی مشاهده شد که سبب افزایش ۱۶/۱ درصدی این شاخص در مقایسه با شرایط بدون آبیاری گردید. حداقل وزن صد دانه (۲/۸۵ گرم) در حالت بدون آبیاری و نیز آبیاری در مرحله گلدهی به دست آمد (جدول ۷). از طرفی اثر اصلی برای تنظیم‌کننده رشد مشخص کرد که تیمار محلول‌پاشی متانول از بیشترین وزن صد دانه (۳/۱۷ گرم) برخوردار بود که با تیمارهای محلول‌پاشی سلنیوم و اسید آسکوربیک اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. حداقل وزن صد دانه (۲/۷۱ گرم) در شرایط بدون کاربرد تنظیم‌کننده رشد مشاهده گردید (جدول ۷). نتایج حاصل نشان داد که مصرف سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول نسبت به عدم مصرف (شاهد) وزن صد دانه را به ترتیب ۱۲/۵، ۱۵/۱ و ۱۶/۹ درصد بهبود بخشید (جدول ۷).

از حساس‌ترین مراحل رشدی گیاه به تنش خشکی می‌توان به مراحل زایشی مانند گلدهی، گرده‌افشانی و پر شدن دانه‌ها اشاره کرد. بنابراین بروز هر گونه محدودیت آبی در این مراحل سبب کاهش جذب عناصر شده و منجر به کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به دانه‌ها شده و در نتیجه وزن دانه‌ها کاهش می‌یابد (Scharf *et al.*, 2015). از دلایل دیگر کاهش وزن دانه در شرایط تنش خشکی می‌توان به کوتاه شدن زمان پر شدن دانه گندم اشاره کرد (Zhao *et al.*, 2020). تنش خشکی از طریق کاهش تورژسانس سلولی، کاهش توسعه سلولی، تقسیم سلولی و دی‌هیدراسیون پروتوپلاسم سبب کاهش ارتفاع بوته گندم می‌گردد (El-Kholy and Gaballah, 2005). سلنیوم از طریق افزایش دسترسی به نیتروژن و نیز جلوگیری از آبشویی آن می‌تواند اثر مثبتی بر وزن دانه داشته باشد (ساجدی و همکاران، ۱۳۹۱). Dolatabadian و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که محلول‌پاشی ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید آسکوربیک سبب بهبود رشد، تولید و افزایش وزن دانه ذرت گردید. Davis و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که وزن صددانه رقم‌های مختلف نخود تحت تأثیر محلول‌پاشی متانول افزایش یافته و کمترین وزن صد دانه در تیمار عدم کاربرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و تنظیم‌کننده رشد بر برخی صفات مورفولوژیک گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن صد دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
بلوک	۲	۰/۰۲۷ ns	۰/۰۴۷ ns	۱۱۴۹۱۶/۷۷ **	۶۰۶۷۱/۳۶ **
آبیاری	۲	۰/۱۱۱ ns	۰/۸۲ **	۹۱۲۱۸۶/۷۷ **	۱۳۹۹۲۵/۴۴ **
اشتباه آزمایشی a	۴	۰/۰۲۷	۰/۰۳۷	۶۴۸۵۴/۰۶	۳۷۹۹۸/۵۲
تنظیم‌کننده رشد	۳	۲۱۴/۸۸ **	۰/۳۸۸ **	۱۳۷۳۹۸/۳۲ **	۴۷۳۶۱/۱۳ *
آبیاری × تنظیم‌کننده رشد	۶	۰/۱۱۱ ns	۰/۰۴۶ ns	۵۴۲۹۰/۱۸ **	۱۲۹۵۹ ns
اشتباه آزمایشی b	۱۸	۰/۳۹۸	۰/۰۴۸	۱۳۲۹۹/۴۵	۹۳۵۳/۱
ضریب تغییرات (٪)	–	۰/۷۸	۷/۲۶	۳/۱۷	۵/۳۴

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

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری و تنظیم‌کننده رشد بر برخی صفات مورفولوژیکی گندم

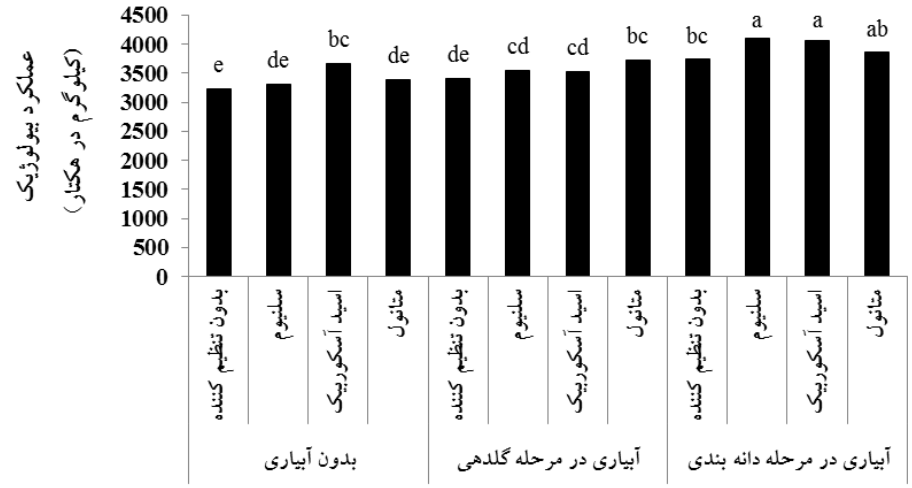
تیمار	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	وزن صد دانه (گرم)
بدون آبیاری	۱۷۰۴/۷۵ b	–	۲/۸۵ b
آبیاری در مرحله گلدهی	۱۸۰۶/۰۸ b	–	۲/۸۵ b
آبیاری در مرحله دانه‌بندی	۱۹۲۰/۵۸ a	–	۳/۳۱ a
$LSD_{0.05}$	۲۲۰/۹۵	–	۰/۲۱
بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	۱۷۳۸/۲۲ b	۷۳/۳۳ d	۲/۷۱ b
سلنیوم	۱۷۵۸/۷۸ b	۸۲/۳۳ b	۳/۰۵ a
اسید آسکوربیک	۱۸۸۲/۷۸ a	۸۴/۴۴ a	۳/۱۲ a
متانول	۱۸۶۲/۱۱ a	۸۱/۶۶ c	۳/۱۷ a
$LSD_{0.05}$	۹۵/۷۸	۰/۶۲	۰/۲۱

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

متانول مشاهده شد. محلول‌پاشی متانول با افزایش تولید سیتوکینین و افزایش تقسیم سلولی موجب تحریک رشد و افزایش ارتفاع در گیاهان تیمارشده با متانول می‌شود (Madhaiyan *et al.*, 2006).

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و دانه‌بندی افزایش یافت. هم‌چنین کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در مقایسه با عدم مصرف تنظیم‌کننده محتوای این شاخص‌ها را بهبود بخشید. اثر اصلی آبیاری نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۱۹۲۰/۵۸ کیلوگرم در هکتار) تحت شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی و کمترین این شاخص (۱۷۰۴/۷۵ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون آبیاری مشاهده گردید (جدول ۷). نتایج نشان داد که انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و دانه‌بندی در مقایسه با شرایط بدون آبیاری عملکرد دانه را به ترتیب ۵/۹ و ۱۲/۶ درصد افزایش داد (جدول ۷). مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی تنظیم‌کننده رشد نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۱۸۸۲/۷۸ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد اسید آسکوربیک حاصل شد که با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده رشد بر عملکرد بیولوژیک گندم. میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

کاربرد متانول اختلاف معنی‌داری را شامل نشد. کمترین عملکرد دانه (۱۷۳۸/۲۲ کیلوگرم در هکتار) نیز تحت شرایط بدون استفاده از تنظیم‌کننده حاصل شد. براساس نتایج مشخص گردید که محلول‌پاشی سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی) عملکرد دانه را به ترتیب ۱/۱، ۸/۳ و ۷/۱ درصد بهبود بخشید (جدول ۷).

اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده نشان داد که بالاترین عملکرد بیولوژیک با محلول‌پاشی سلنیوم تحت شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی (۴۱۰۶ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که با کاربرد اسید آسکوربیک و متانول تحت همین سطح آبیاری تفاوت معنی‌داری را از نظری آماری دارا نبود (شکل ۱). کمترین میزان این شاخص از ترکیب تیماری بدون محلول‌پاشی و بدون آبیاری (۳۲۳۵ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید. تحت شرایط بدون آبیاری تکمیلی عملکرد بیولوژیک با کاربرد سلنیوم ۲/۵ درصد، اسید آسکوربیک ۱۳/۴ درصد و متانول ۴/۹ درصد در مقایسه با شرایط بدون کاربرد تنظیم‌کننده ارتقا یافت (شکل ۱).

گزارش شده است که کاهش عملکرد بیولوژیک گندم تحت شرایط تنش خشکی، به دلیل کاهش ارتفاع گیاه و شاخ و برگ و کاهش ظرفیت مخزن برای جذب مواد فتوسنتزی و نیز کاهش دوره رشد دانه است (Liang *et al.*, 2001). از دلایل کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی به افزایش نشت الکترولیت و کاهش محتوای کلروفیل اشاره شده است (Mohammadkhani and Heidari, 2007). کاهش تقسیم سلولی و رشد، کاهش فتوسنتز، تخریب غشایی (Hasanuzzaman *et al.*, 2018) و عقیمی گرده (Cattivelli *et al.*, 2008) از دلایل دیگر کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی است. Glover و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی نشان دادند که مصرف ۲۰ گرم سلنیوم در هکتار در شرایط تنش خشکی با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و خنثی‌کردن گونه‌های فعال اکسیژن سبب افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد گردید. این افزایش عملکرد را می‌توان به نقش سلنیوم در تولید اسید آسکوربیک و گلوتاتیون نسبت داد که نقش اکسیداسیون- احیا برای محافظت از گیاه در برابر تنش‌های محیطی را دارا هستند (Lanza and Reis, 2021). مطالعات گوناگون نشان داده است که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک از طریق تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله تحریک فعالیت‌های تنفسی، تقسیم سلولی و فعالیت‌های آنزیمی سبب افزایش عملکرد دانه گندم می‌شود (Hafez and Gharib, 2016). محلول‌پاشی با متانول ۲۱ درصد سبب افزایش وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک آفتابگردان نسبت به شاهد شد (Dawood *et al.*, 2013).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

نتیجه‌گیری

تنش کم آبی سبب افزایش محتوای پرولین، قندهای محلول، هدایت الکتریکی، پروتئین دانه، انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه و سهم آن‌ها در عملکرد دانه و کاهش عملکرد دانه، صفات مورفولوژیکی و محتوای نسبی آب گردید. در صورتی که کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد محتوای قندهای محلول، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، وزن صد دانه، محتوای نسبی آب و پروتئین دانه را افزایش و هدایت الکتریکی و انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه و سهم آنها در عملکرد دانه را کاهش داد. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به واسطه تعدیل اثرات مضر ناشی از محدودیت آبی و در نتیجه بهبود فتوسنتز جاری در جهت تأمین آسیمیلات‌های لازم برای پر شدن دانه میزان انتقال مجدد ماده خشک را کاهش دادند. مشخص شد که کاربرد سلنیوم، متانول و اسید آسکوربیک تحت شرایط عدم آبیاری تکمیلی از طریق بهبود عملکرد و صفات مورفولوژیک و کاهش هدایت الکتریکی و نیز افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار از قبیل پرولین و قندهای محلول تا حدودی اثرات سوء ناشی از کم آبی بر روی گندم را کاهش داده است. از این‌رو می‌توان در راستای بهبود رشد و عملکرد گندم در شرایط دیم محلول‌پاشی این تنظیم‌کننده‌های رشدی و نیز انجام آبیاری تکمیلی را پیشنهاد کرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت دانشگاه لرستان و همکاران گرامی دانشکده کشاورزی در اجرا و اتمام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

خیری‌زاده آروق، یونس، سیدشریفی، رئوف، صدقی، محمد، و برمکی، مرتضی (۱۳۹۴). اثر کودهای زیستی و نانواکسید روی بر فرآیند انتقال مجدد و برخی شاخص‌های رشدی تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، *۷*(۲۶)، ۵۶-۳۷. DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.3.0.

ساجدی، نورعلی، مدنی، حمید، حبیبی، داود، و پزاکی، علیرضا (۱۳۹۱). بررسی تأثیر سلنیوم و اسید سالیسیلیک بر انتقال مجدد، فتوسنتز جاری و عمکلرد دانه ارقام گندم در شرایط دیم. *تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی*، ۴(۱)، ۱۴-۱.

عیسی‌زاده پنجعلی خرابسی، جابر، گلوی، محمد، و رمرودی، محمود (۱۳۹۴). اثر محلول‌پاشی متانول بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی سویا تحت تنش خشکی. *به‌زراعی کشاورزی*، *۱۷*(۴)، ۱۰۸۵-۱۰۷۵. https://doi.org/10.22059/jci.2015.55152

Abdel-Motagally, F. M. F, & El-Zohri, M. (2018). Improvement of wheat yield grown under drought stress by boron foliar application at different growth stages. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *17*(2), 178-185. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.03.005

Annunziata, M. G., Ciarmiello, L. F., Woodrow, P., Maximova, E., Fuggi, A., & Carillo, P. (2017). Durum wheat roots adapt to salinity remodeling the cellular content of nitrogen metabolites and sucrose. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 2035. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02035

Ashraf, M, & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, *59*(2), 206-216. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006

Asseng, S, & van Herwaarden, A. F. (2003). Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments. *Plant and Soil*, *256*, 217-239. https://doi.org/10.1023/A:1026231904221

Azmat, A., Yasmin, H., Hassan, M. N., Nosheen, A., Naz, R., Sajjad, M., Ilyas, N., & Akhtar, M. N. (2020). Co-application of bio-fertilizer and salicylic acid improves growth, photosynthetic pigments and stress tolerance in wheat under drought stress. *PeerJ*, *8*, e9960. https://doi.org/10.7717/peerj.9960

Bahrani, A., Sharif Abad, H. H., Sarvestani, Z. T., Moafpourian, G. H., & Band, A. A. (2011). Remobilization of dry matter in wheat: Effects of nitrogen application and post-anthesis water deficit during grain filling. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *39*(4), 279-293. https://doi.org/10.1080/01140671.2011.599397

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

Balouchi, H. R., Sanavy, S. M., Emam, Y., & Dolatabadian, A. (2009). UV radiation, elevated CO_2 and water stress effect on growth and photosynthetic characteristics in durum wheat. *Plant, Soil and Environment, 55*(10), 443-453. https://doi.org/10.17221/1024-PSE

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

Behboudi, F., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Kassaee, M. Z., Modarres-Sanavy, S. A. M., Sorooshzade, A., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2019). Evaluation of chitosan nanoparticles effects with two application methods on wheat under drought stress. *Journal of Plant Nutrition, 42*(13), 1439-1451. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617308

Bolarin, M. C., Santa-Cruz, A., Cayuela, E., & Perez-Alfocea, F. (1995). Short-term solute changes in leaves and roots of cultivated and wild tomato seedlings under salinity. *Journal of Plant Physiology, 147*, 463-468. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)82184-X

Broadley, R., Martin, F., & John, A. (2010). Selenium biofortification of high yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilization. *Plant and Soil, 332*, 5-18. https://doi.org/10.1007/s11104-009-0234-4

Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A., & Stanca, A. M. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research, 105*(1-2), 1-14. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.07.004

Chelah, M. C., Nordin, M. N. B., Isa, M. B. M., Khanif, Y. M., & Jahan, M. S. (2011). Composting increases BRIS soil health and sustains rice production. *Science Asia, 37*(4), 291-295. https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2011.37.291

Cunhua, S., Wei, D., Xiangling, C., Xinna, X., Yahong, Z., Dong, S., & Jianjie, S. (2010). The effects of drought stress on the activity of acid phosphatase and its protective enzymes in pigweed leaves. *African Journal of Biotechnology, 9*(6), 825-833. https://doi.org/10.5897/AJB09.1253

Davidson, D. J, & Chevalier, P. M. (1992). Storage and remobilization of water-soluble carbohydrates in stems of spring wheat. *Crop Science, 32*(1), 186-190. https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183X003200010038x

Davis, S., Turner, N. C., Siddique, K. H. M., Plummer, J., & Leport, L. (2009). Seed growth of desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a short season Mediterranean-type environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture, 39*, 181-188. https://doi.org/10.1071/Ea98134

Dawood, M. G., El-Lethy, S. R., & Sadak, M. S. (2013). Role of methanol and yeast in improving growth, yield, nutritive value and antioxidants of soybean. *World Applied Sciences Journal, 26*(1), 6-14. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.26.01.13476

Dolatabadian, A., Modarresi Sanavy, S. A. M., & Asilan, K. S. (2010). Effect of ascorbic acid foliar application on yield, yield component and several morphological traits of grain corn under water deficit stress conditions. *Notulae Scientia Biologicae, 2*(3), 45-50. https://doi.org/10.15835/nsb.2.3.4717

Dubios, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Roberts, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Annals of Chemistry, 28*, 350-356. https://doi.org/10.1021/ac60111a017

El-Kholy, M. A, & Gaballah, M. S. (2005). Productivity of wheat cultivars as affected by seeding methods and reflectant application under water stress condition. *Journal of Agronomy, 4*, 23-30. https://doi.org/10.3923/ja.2005.23.30

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Sustainable Agriculture, 29*, 153-188. https://doi.org/10.1051/agro:2008021

Gadallah, M. A. A. (2000). Effects of acid mist and ascorbic acid treatment on the growth, stability of leaf membranes, chlorophyll content and some mineral elements of *Carthamus tinctorius*, the safflower. *Water, Air, and Soil Pollution, 118*, 311-327. https://doi.org/10.1023/A:1005191220530

Ghaffari, H., Tadayon, M. R., Nadeem, M., Cheema, M., & Razmjoo, J. (2019). Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and the physiology of sugar beet under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum, 41*, 1-13. https://doi.org/10.1007/s11738-019-2815-z

Glover, J. D., Borevitz, J., Brummer, E. C., & Buckler, E. S. (2014). Increasing food and ecosystem security through perennial grain breeding and selenium. *Science, 335*, 364-379. https://doi.org/10.1126/science.1188761

Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A. R., Benson, A., & Douce, R. (2000). Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology, 123*, 287-296. https://doi.org/10.1104/pp.123.1.287

Habibi, G. (2013). Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. *Acta Agriculturae Slovenica, 101*(1), 31-39. https://doi.org/10.2478/acas-2013-0004

Hafez, E. M, & Gharib, H. S. (2016). Effect of exogenous application of ascorbic acid on physiological and biochemical characteristics of wheat under water stress. *International Journal of Plant Production, 10*(4), 579-596. DOI: https://doi.org/10.22069/IJPP.2016.3051

Han-Wens, S., Jing, H., Shu-Xuan, L., & Wei-Jun, K. (2010). Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41*, 1195-1204.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

https://doi.org/10.1080/00103621003721395
Hasanuzzaman, M., Al Mahmud, J., Anee, T. I., Nahar, K., & Islam, M. T. (2018). Drought stress tolerance in wheat: Omics approaches in understanding and enhancing antioxidant defense. In: Abiotic Stress-Mediated Sensing and Signaling in Plants: An Omics Perspective. (eds. Zargar, S. and Zargar, M.) Pp. 267-307. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7479-0_10
Huve, K., Christ, M. M., Kleist, E., Uerlings, R., Niinemets, U., Walter, A., & Wildt, J. (2007). Simultaneous growth and emission measurements demonstrate an interactive control of methanol release by leaf expansion and stomata. *Journal of Experimental Botany, 58*(7), 1783-1793. https://doi.org/10.1093/jxb/erm038
Lanza, M. G. D. B, & Reis, A. R. D. (2021). Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry, 164*, 27-43. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.04.026
Liang, J., Zhang, J., & Cao, X. (2001). Grain sink strength may be related to the poor grain filling of indica-japonica rice (*Oryza sativa* L.) hybrids. *Physiologia Plantarum, 112*(4), 470-477. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1120403.x
Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., Sundaram, S. P., & Sa, T. (2006). A new insight into foliar applied methanol influencing phylloplane methylotrophic dynamics and growth promotion of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Environmental and Experimental Botany, 57*(1-2), 168-176. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.05.010
Maghsoudi, K., Emam, Y., Niazi, A., Pessarakli, M., & Arvin, M. J. (2018). P5CS expression level and proline accumulation in the sensitive and tolerant wheat cultivars under control and drought stress conditions in the presence/absence of silicon and salicylic acid. *Journal of Plant Interactions, 13*(1), 461-471. https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1506516
Mohammadkhani, N, & Heidari, R. (2007). Effects of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 10*(21), 3835-3840. https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.3835.3840
Naghavi, M. R., Moghaddam, M., Toorchi, M., & Shakiba, M. R. (2016). Evaluation of spring wheat cultivars for physiological, morphological and agronomic traits under drought stress. *Journal of Crop Breeding, 8*(18), 64-77. https://doi.org/10.29252/jcb.8.18.64
Nawaz, F., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Waraich, E. A., & Khan, S. Z. (2015). Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 113*, 191-200. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.003
Noreen, S., Sultan, M., Akhter, M. S., Shah, K. H., Ummara, U., Manzoor, H., Ulfat, M., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2021). Foliar fertigation of ascorbic acid and zinc improves growth, antioxidant enzyme activity and harvest index in barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry, 158*, 244-254. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.007
Papakosta, D. K, & Gagianas, A. A. (1991). Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal, 83*(5), 864-870. https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300050018x
Ramberg, H. A., Bradly, J. S. S., Olseon, I. S. C., Nishio, J. N., Markwell, J., & Osterman, J. C. (2002). The role of menthal in promithing plant groeth: an update. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology, 1*, 113-126.
Ramirez, I., Dorta, F., Espinoza, V., Jimenez, E., Mercado, A., & Pena-Cortes, H. (2006). Effects of foliar and root applications of methanol on the growth of Arabidopsis, tobacco, and tomato plants. *Journal of Plant Growth Regulation, 25*, 30-44. https://doi.org/10.1007/s00344-005-0027-9
Razavizadeh, R., Ehsanpour, A. A., Ahsan, N., & Komatsu, S. (2009). Proteome analysis of tobacco leaves under salt stress. *Peptides, 30*, 1651-1659. https://doi.org/10.1016/j.peptides.2009.06.023
Sales, E., Canizares, E., Pereira, C., Perez-Oliver, M. A., Nebauer, S. G., Pavlovic, I., Novak, O., Segura, J., & Arrillaga, I. (2022). Changing temperature conditions during somatic embryo maturation result in *Pinus pinaster* plants with altered response to heat stress. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(3), 1-16. https://doi.org/10.3390/ijms23031318
Scharf, P. C., Shannon, D. K., & Latchern, N. R. (2015). Sensor based selenium application producer chosen rates on wheat demonstrations. *Agronomy Journal, 107*, 445-458. https://doi.org/10.2134/agronj2011.0164
Sharma, R., Bhardwaj, R., Thukral, A. K., Al-Huqail, A. A., Siddiqui, M. H., & Ahmad, P. (2019). Oxidative stress mitigation and initiation of antioxidant and osmoprotectant responses mediated by ascorbic acid in *Brassica juncea* L. subjected to copper (II) stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 182*, 109436. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109436
Shewry, P. R, & Hey, S. J. (2015). The contribution of wheat to human diet and health. *Food and Energy Security, 4*(3), 178-202. https://doi.org/10.1002/fes3.64
Tavakkoli, A. R, & Oweis, T. Y. (2004). The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. *Agricultural Water Management, 65*(3), 225-236. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2003.09.001

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

Xu, S. M., Liu, L. X., Woo, K. C., & Wang, D. L. (2007). Changes in photosynthesis, xanthophyll cycle, and sugar accumulation in two North Australia tropical species differing in leaf angles. *Photosynthetica, 45*, 348-354. https://doi.org/10.1007/s11099-007-0059-4

Zhao, W., Liu, L., Shen, Q., Yang, J., Han, X., Tian, F., & Wu, J. (2020). Effects of water stress photosynthesis, yield, and water use effciency in winter wheat. *Water, 12*(8), 1-19. https://doi.org/10.3390/w12082127

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]

Evaluating the effect of selenium, methanol, and ascorbic acid on some morphophysiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different irrigation levels

Forouzan Khodaei, Razieh Khalilzadeh*, Khosro Azizi

Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

(Received: 2025/04/11, Accepted: 2025/07/08)

Abstract

Using plant growth regulators and supplementary irrigation is one approach for increasing production while avoiding the negative impacts of drought stress. A split-plot experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications during 2023-2024. Experimental treatments include irrigation at three levels [supplementary irrigation at the flowering stage, grain filling stage, and without irrigation (rainfed)], and plant growth regulators at four levels include foliar application of selenium, ascorbic acid, methanol, and water as a control. Water deficit stress increased the content of proline, soluble sugars, electrical conductivity, grain protein, and dry matter remobilization from shoot organs and stem, as well as their contribution to grain yield, whereas growth regulators increased the content of soluble sugars and grain protein while decreasing electrical conductivity and dry matter remobilization from shoot organs and stem and their contribution to grain yield. The results showed that supplementary irrigation at the flowering and grain-filling stages increased grain yield by 5.9 and 12.6%, respectively, compared to the no-irrigation conditions. Also, foliar application of selenium, ascorbic acid, and methanol improved grain yield by 1.1, 8.3, and 7.1%, respectively, compared to the control (no foliar application). It appears that foliar spraying plant growth regulators and supplementary irrigation has somewhat mitigated the negative effects of drought stress. As a result, it is possible to suggest the use of these growth regulators and supplementary irrigation in rainfed conditions in order to increase wheat yield and yield components.

Keywords: Grain protein, Plant growth regulator, Proline, Soluble sugars, Supplementary irrigation

Corresponding author, Email: Khalilzadeh.r@lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.175]