مقاله پژوهشی

ویژگی‌های فتوسنتزی تریتیکاله در مرحله پرشدن دانه تحت تأثیر کود نیتروژن، کاربرد برگی سیلیکون و تنش آبی

وحید براتی* و احسان بیژن‌زاده

بخش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۱/۱۵، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۹/۰۱)

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات کاربرد برگی سیلیکون در کاهش سطح تنش آبی در گیاه تریتیکاله طراحی شد. تیمارها شامل: دو سطح آبیاری به‌عنوان عامل اصلی [۱- آبیاری بدون تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و ۲- آبیاری با تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا انتهای مرحله‌ی گلدهی] بود. عامل فرعی اول شامل سه سطح کود نیتروژن به‌صورت اوره [صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار] و عامل فرعی دوم شامل دو سطح کاربرد برگی سیلیکون [صفر (شاهد) و ۳ میلی مولار] بود. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه اجرا شد. نتایج نشان داد که تنش آبی سبب کاهش مقدار فتوسنتز شد. اما، این کاهش در سطوح مختلف کود نیتروژن متفاوت بود و در بالاترین سطح کود نیتروژن بیشترین مقدار (۴۴ و ۵۵ درصد کاهش به‌ترتیب در مراحل شیری و خمیری نرم) مشاهده شد. روندی مشابه در عملکرد دانه نیز مشاهده شد. کاربرد برگی سیلیکون به‌طور مستقل از کود نیتروژن سبب کاهش اثرات تنش آبی بر فتوسنتز و صفات وابسته به آن (هدایت روزنه‌ای و کارایی استفاده از آب لحظه‌ای) شد. به‌طورکلی، برای دستیابی به بیشینه‌ی فتوسنتز و عملکرد دانه، کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار به‌ترتیب در شرایط تنش آبی و مطلوب رطوبتی پیشنهاد می‌شود. همچنین، کاربرد برگی سیلیکون به مقدار ۳ میلی‌مولار در اواسط مرحله‌ی گلدهی برای کاهش اثرات مخرب تنش شدید آبی پس از گلدهی بر فتوسنتز و سایر صفات وابسته در مناطق جنوبی ایران توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: فتوسنتز، کارایی مصرف آب ، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

کمبود آب از جمله عوامل کاهنده‌ی تولید غلات در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران از جمله جنوب استان فارس است. در این مناطق، میانگین بلند مدت مقدار بارندگی کم (۲۵۰ میلی‌متر) و تغییرات سالیانه‌ی آن بسیار زیاد است. این مقدار محدود بارندگی نیز در اواخر پاییز و اوایل زمستان- همزمان با رشد رویشی غلات- رخ می‌دهد. بنابراین، تنش آبی مراحل گلدهی و پرشدن دانه‌ی غلات از جمله تریتیکاله (×*Triticosecale* Wittmack) را متاثر می‌کند (Barati and Bijanzadeh, 2021). این گیاه که حاصل تلاقی چاودار (*Secale cereal* L.) و گندم (*Triticum* sp. L.) است و در شرایط مطلوب و همچنین طیف وسیعی از تنش‌های محیطی موفق‌تر از گندم بوده است (Roohi *et al*., 2013). بنابراین، با توجه به این مقاومت تلاش‌های قابل‌توجهی جهت معرفی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: v.barati@shirazu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

تریتیکاله به‌عنوان غله جایگزین برای سایر غلات در مناطق جنوبی ایران در جریان است (Barati *et al*., 2020).

در کنار کمبود آب، مقدار نیتروژن نیز در خاک‌های جنوب استان فارس محدود کننده بوده و کشاورزان با آگاهی از این کمبود و همچنین، نقش تعیین کننده‌ی این عنصر در شکل‌گیری عملکرد مناسب گیاهان، کود نیتروژن را در مزارع غلات به‌کار می‌برند. اما، آنها معمولا بیش از مقدار توصیه شده از کود نیتروژن استفاده می‌کنند. به‌دلیل وابستگی گیاه به آب در جذب نیتروژن، در مناطقی با بارندگی‌های متغیر و غیر قابل پیش‌بینی از سالی به سال دیگر، مدیریت کاربرد کود نیتروژن دشوار است (Karrou and Maranville, 1995) و این دشواری در شرایط استفاده از سطوح بالای کود نیتروژن، بیشتر نیز خواهد شد (Barati *et al*., 2015). زیرا، برخی از محققین نشان داده‌اند که کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن در شرایط تنش آبی می‌تواند سبب تشدید اثرات آن شود (Frederick and Camberato, 1994; Garabet *et al*., 1998) و بنابراین، عملکرد گیاه را با کاهش بیشتری مواجه کند. پژوهش‌های زیادی در مورد ابعاد فیزیولوژیک برهم‌کنش نیتروژن و تنش آبی روی غلات انجام شده است (Frederick and Camberato, 1994; Karrou and Maranville, 1995; Shangguan *et al*., 2000). اما، اطلاعات کمی در مورد اثر برهم‌کنش نیتروژن و تنش آبی انتهای فصل بر پارامترهای فتوسنتزی گیاه تریتیکاله در مناطق جنوبی ایران وجود دارد.

فرآیندهای فیزیولوژیک متعددی از کوددهی نیتروژن متاثر می‌شوند (نیازی اردکانی و همکاران، الف۱۳۹۹ Lawlor *et al*., 1988;). افزایش مقدار کود نیتروژن سبب افزایش غلظت نیتروژن برگ خواهد شد (Frederick and Camberato, 1994). این افزایش، میزان فتوسنتز خالص برگ را در خلال مرحله‌ی پر شدن دانه می‌افزاید (Hunt and Vander Poorten, 1985). Sugiharto و همکاران (۱۹۹۰) این همبستگی مثبت بین ظرفیت فتوسنتزی برگها و غلظت نیتروژن موجود در آنها را به نقش نیتروژن در ساختار اجزای دستگاه فتوسنتزی نسبت داد. Karrou و Maranville (۱۹۹۵) نشان دادند که افزایش غلظت نیتروژن درون گیاه سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ، افزایش هدایت روزنه‌ای و درنتیجه افزایش میزان فتوسنتز گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط مطلوب رطوبتی شد. اما، Shangguan (۲۰۰۰) ثابت کرد که پارامترهای مربوط به تبادلات گازی در گندم که با کاربرد کود نیتروژن در شرایط بهینه‌ی رطوبتی افزایش می‌یابند، با تنش آبی و کاهش محتوای آب درون گیاه کاهش خواهند یافت.

وجود برهم‌کنش نیتروژن و محتوای رطوبتی خاک توسط برخی دیگر از پژوهشگران نیز در مورد گندم دوروم (*Triticum durum* L.) (Ercoli *et al*., 2008) و گندم نان (*Hordeum vulgare* L.) و جو (Garabet *et al*., 1998) (نیازی اردکانی و همکاران، الف۱۳۹۹) به اثبات رسیده است. کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن اثرات منفی تنش آبی بر فتوسنتز و صفات وابسته به آن را افزایش می‌دهد (Garabet *et al*., 1998). Karrou و Maranville (۱۹۹۵) نشان دادند که در شرایط مطلوب رطوبتی، کاربرد کود نیتروژن هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز گندم را افزود. اما، در شرایط تنش رطوبتی، این صفات در گیاهانی که سطوح بالای نیتروژن را دریافت کرده بودند، کاهش یافت. Morgan (۱۹۸۶) نشان داد که بوته‌های گندمی که کود نیتروژن کمتری دریافت کرده بودند، ویژگی گیاهان متحمل به خشکی را در شرایط تنش آبی نشان دادند. همچنین، نتایج پژوهش آنها نشان داد که در گیاهان با غلظت بالای نیتروژن، هدایت روزنه‌ای برگ و میزان تبادل دی‌اکسیدکربن بیشتر از گیاهان با غلظت پایین نیتروژن، تحت تاثیر کاهش پتانسیل آب برگ قرار گرفتند. آنها اظهار داشتند که در سطوح پایین کود نیتروژن تغییر آناتومی برگ و استحکام دیواره‌ی سلولی سبب نگهداری محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش آبی می‌شود. از طرف دیگر، برخی دیگر از محققین (Barker, 2016) گزارش کردند که کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن سبب کاهش نسبت ریشه به شاخساره گندم شد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد کاهش محتوای نسبی آب برگ و به‌دنبال آن کاهش هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز در گیاهان با غلظت بالای نیتروژن در شرایط تنش آبی، ممکن است به عدم توانایی گیاه در جبران آب تعرق یافته از اندام‌های هوایی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

نسبت داده شود.

عدم اطمینان از بارندگی مناسب و یا دسترسی به آب کافی در مراحل پس از گلدهی، کشاورزان جنوب ایران را با یک بحران مدیریتی روبرو کرده است. آنها در ابتدای فصل نمی‌دانند که کود نیتروژن را در بالاترین سطح توصیه شده برای شرایط مطلوب رطوبتی به‌کار ببرند و یا اینکه سطح کود نیتروژن را برای شرایط رطوبت محدود، کاهش دهند. یک راهکار که ممکن است این مخاطره‌ی کشاورزان را کاهش دهد، کاربرد برگ مصرف مواد کاهش دهنده‌ی سطح تنش مانند سیلیکون در شرایطی است که سطوح بالای کود نیتروژن در ابتدای فصل استفاده شده است اما، محدودیت منابع آب در انتهای فصل رخ داده است. سیلیکون دومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن در پوسته زمین است. این عنصر به هنگام بروز تنش‌های محیطی با سازوکارهای مختلف از جمله مهار گونه‌های فعال اکسیژنی از طریق دفاع آنتی اکسیدانی یا جذب بهتر آب از ریشه‌ها نقش مهمی در مقاومت به تنش‌های محیطی ایفا می‌کند (Liang *et al.*, 2015). با وجود فراوانی این عنصر، به‌دلیل همراه بودن آن با سایر عناصر عمدتا از دسترس گیاه خارج است. بنابراین، می‌توان با کاربرد برگی سیلیکون به فرم قابل‌دسترس آن برای گیاه ($Si(OH)_2$)، گیاهان را در مقابل تنش‌های محیطی متحمل نمود (Epstein, 1994).

در رابطه با اثرات کاربرد سیلیکون در کاهش اثرات تنش آبی پژوهش‌های زیادی انجام شده است. به‌عنوان مثال، Hattori و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده کردند که کاربرد سیلیکون سبب کاهس نسبت شاخساره به ریشه و افزایش تجمع ماده‌ی خشک ریشه در گیاه سورگوم شده است. این در حالی است که برخی دیگر از محققین (Barker, 2016) گزارش کرده‌اند که کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن رشد شاخساره را بیشتر از رشد ریشه تحریک می‌کند. همچنین، Gao و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که کاریرد سیلیکون سبب کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق در ذرت شد. از اینرو، کاهش تعرق می‌تواند یکی از سازکارهای افزایش تحمل به خشکی توسط سیلیکون باشد. Hattori و همکاران (۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) اثبات کردند که مقاومت هیدرولیکی ریشه که در شرایط تنش آبی افزایش می‌یابد، با کاربرد سیلیکون کاهش یافت. این اثرات مثبت کاربرد سیلیکون بر گیاه در شرایط تنش آبی می‌تواند محتوای نسبی آب برگ را افزوده و سبب افزایش فتوسنتز و یا نسبت فتوسنتز به آب تعرق یافته شود.

با توجه به مطالب بالا، این فرضیه شکل خواهد گرفت که کاربرد سیلیکون می‌تواند اثرات تنش تشدید شده به‌واسطه‌ی کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن را کاهش دهد و درنتیجه سبب کاهش کمتر ویژگی‌های فتوسنتزی تریتیکاله نسبت به شرایط عدم کاربرد سیلیکون شود. برای اثبات این فرضیه، آزمایشی در شرایط متفاوت رطوبتی، کاربرد و عدم کاربرد برگی سیلیکون و سطوح مختلف کود نیتروژن طراحی شد و برهم‌کنش این تیمارها بر ویژگی‌های فتوسنتزی تریتیکاله مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ی پژوهشی دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی داراب– دانشگاه شیراز (طول جغرافیای 54° و ′۳۰ شرقی و عرض جغرافیایی 28° و ′۵۰ شمالی و با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا) در سال ۹۷-۱۳۹۶ در منطقه‌ی داراب در جنوب استان فارس انجام شد. اقلیم این منطقه، گرم و خشک مدیترانه‌ای است و حداکثر دما ۴۲ درجه سانتی‌گراد در تابستان و میانگین بلند مدت (۳۰ ساله) بارندگی، ۲۵۰ میلی‌متر است که در اواخر پاییز و اوایل زمستان رخ می‌دهد. پارامترهای اصلی هواشناسی از ایستگاه هواشناسی کشاورزی در نزدیکی محل آزمایش تهیه و در جدول ۱ آمده است. قبل از شروع آزمایش، در آبان ماه یک نمونه‌ی مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

تیمارها در این آزمایش شامل: دو سطح آبیاری به‌عنوان عامل اصلی [۱- آبیاری بدون تنش آبی (مطلوب): آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و ۲- آبیاری با تنش آبی (کم آبیاری): آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

جدول ۱- وضعیت آب و هوایی منطقه در سال زراعی ۹۷ – ۱۳۹۶

ماه	بارندگی، میلی‌متر	بیشینه دما درجه سانتی‌گراد	کمینه دما درجه سانتی‌گراد	رطوبت درصد	تبخیر و میلی‌متر	طول دوره ساعت
مهر	۰/۰	۳۳/۰	۱۵/۹	۲۸/۰	۱۸۱/۸	۳۱۰/۹
آبان	۱/۹	۲۷/۴	۹/۵	۳۵/۵	۱۱۳/۳	۲۸۴/۴
آذر	۲۶/۲	۱۹/۵	۴/۷	۵۴/۵	۵۵/۰	۲۳۱/۲
دی	۱/۳	۲۰/۱	۳/۳	۴۵/۵	۵۵/۰	۲۷۳/۲
بهمن	۰/۴	۲۱/۴	۴/۵	۳۹/۵	۷۶/۵	۲۷۷/۶
اسفند	۶۲/۰	۲۲/۵	۸/۶	۴۹/۵	۸۶/۰	۲۳۹/۲
فروردین	۶/۴	۲۸/۶	۱۲/۱	۳۷/۵	۱۶۳/۳	۲۹۰/۳
اردیبهشت	۱/۷	۳۲/۲	۱۶/۹	۳۱/۵	۲۴۷/۲	۲۸۷/۷
خرداد	۰/۲	۳۹/۶	۲۲/۱	۲۲/۰	۳۰۶/۱	۲۵۷/۱
تیر	۰/۰	۴۱/۷	۲۶/۹	۱۹/۵	۴۲۸/۰	۳۶۷/۳
مرداد	۰/۰	۴۱/۸	۲۷/۳	۲۰/۵	۴۰۲/۸	۳۵۶/۰
شهریور	۴/۷	۳۹/۵	۲۳/۴	۲۷/۰	۳۱۱/۱	۳۲۵/۵

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری.

ویژگی	واحد	مقدار
شن	%	۳۸/۶۷
سیلت	٪	۴۴/۵۴
رس	٪	۱۶/۷۹
کربن آلی	٪	۰/۹۹
ماده آلی	٪	۱/۷۰
قابلیت هدایت الکتریکی	$dS\ m^{-1}$	۱/۰۸
اسیدیته		۷/۴۷
نیتروژن کل	٪	۰/۰۹
پتاسیم قابل‌دسترس	$mg\ kg^{-1}$	۳۲۵
فسفر قابل‌دسترس	$mg\ kg^{-1}$	۱۱
آهن	$mg\ kg^{-1}$	۵/۵۵
منگنز	$mg\ kg^{-1}$	۱۶/۳۱
مس	$mg\ kg^{-1}$	۱/۴۶
روی	$mg\ kg^{-1}$	۰/۷۳

تا انتهای مرحله‌ی گلدهی (قطع آبیاری پس از مرحله گلدهی)] بود. همچنین، عامل فرعی اول شامل سه سطح کود نیتروژن به‌صورت اوره (۴۶ درصد نیتروژن) [صفر ، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار] و عامل فرعی دوم شامل دو سطح کاربرد برگی سیلیکون [صفر (شاهد) و ۳ میلی‌مولار] بود. این تیمارها به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه اجرا شدند. کود نیتروژن در سه مرحله [سه برگچه‌ای (کد زیداکس ۱۳)، پنجه‌زنی (کد زیداکس ۲۳) و ساقه رفتن (کد زیداکس ۳۱)] (Zadoks *et al.*, 1974) و به مقدار مساوی به خاک مزرعه افزوده شد. سیلیکون در اواسط مرحله‌ی گلدهی (ZGS65) (Zadoks *et al.*, 1974) بر روی برگها اسپری شد. در زمان اعمال تیمار سیلیکون، به‌منظور جلوگیری از اثرات جانبی جذب آب در این تیمار، کرت‌های شاهد نیز با آب معمولی بدون سیلیکون با حجمی معادل تیمار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

سیلیکون محلول‌پاشی شدند.

آزمایش در یک قطعه زمین که در سال زراعی قبل به‌صورت آیش بود، اجرا شد. به‌منظور آماده سازی کرت‌ها در اواخر بهار، زمین با گاوآهن قلمی و دو بار دیسک عمود بر هم خاک‌ورزی شد. در آبان ماه کرت‌های فرعی با ابعاد ۳/۵ × ۲ مترمربع تهیه شدند و جهت جلوگیری از نشت جانبی آب و کود نیتروژن اطراف هر کرت فرعی پشته‌ای به عرض نیم‌متر ایجاد شد. برای اطمینان بیشتر از عدم حرکت جانبی آب، فاصله‌ی بین کرت‌های اصلی (آبیاری مطلوب و تنش آبی) دو متر در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج آزمون خاک کود سوپر فسفات تریپل (۶۰ کیلوگرم بر هکتار) قبل از کاشت به‌صورت نواری زیر بذر استفاده شد. بذر تریتیکاله (*Triticosecale* × Wittmack) رقم سناباد که سازگاری مطلوبی با منطقه داشت از موسسه‌ی تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر (ایستگاه حسن آباد داراب) تهیه و با توجه به تاریخ بهینه کاشت در منطقه (نیمه دوم آذرماه) در ۲۰ آذر در ردیف‌های به فاصله ۲۵ سانتی‌متر در ۶ ردیف به طول ۳ متر بر اساس مقدار توصیه شده (۴۵۰ بذر بر متر مربع) کاشته شد.

به‌منظور آبیاری زمین، قبل از هر آبیاری در کرت‌های مربوط به تیمار آبیاری مطلوب، محتوای رطوبتی خاک به‌وسیله روش وزنی در فواصل ۳۰ سانتی‌متری تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. میزان آب موردنیاز برای هر کرت بر اساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه (۲۲ درصد وزنی) با کمک معادله ۱ محاسبه شد. پس از اندازه‌گیری میزان آب، آبیاری نشتی به‌صورت یکسان برای تمام کرتها به روش حجمی زمانی (Barati *et al.*, 2015) تا مرحله گلدهی (ZGS65) انجام شد و در انتهای مرحله گلدهی آبیاری تیمارهای تنش آبی (قطع آبیاری) متوقف شد و آبیاری تیمارهای مطلوب رطوبتی تا مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیک ادامه یافت. لازم به ذکر است که پس از مرحله‌ی گلدهی تا انتهای رسیدگی بارندگی رخ نداد.

معادله ۱

$$D = \sum_{i=1}^{n}(\theta_{fci} - \theta_i)\Delta Z_i$$

D: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، i یک لایه، n: تعداد لایه‌های خاک، θ_{fci}: محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) در i امین لایه خاک، θi: محتوای حجمی رطوبت خاک (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) در i امین لایه خاک، ΔZ_i: ضخامت هر لایه خاک (میلی‌متر).

بوته‌های تریتیکاله در تاریخ ۲۰ اردیبهشت به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند. در این مرحله برای تعیین عملکرد دانه دو متر طولی از دو ردیف وسط کرت با داس کف‌بر شدند (۵۰ سانتی‌متر اطراف هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد). به‌منظور اندازه‌گیری میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق برگ پرچم در اواسط مرحله‌ی شیری (کد زیداکس ۷۵) و خمیری نرم (کد زیداکس ۸۵) از دستگاه قابل حمل اندازه‌گیری این صفات (IGRA model LCA4 – ADC, Hoddeson, UK) استفاده شد. سه برگ پرچم متعلق به ساقه‌های اصلی در قسمت مرکزی هر کرت به طور تصادفی انتخاب شد و به‌منظور اندازه‌گیری این صفات، قسمت میانی آنها در فواصل زمانی ساعت ۱۱ تا ۱۳ در داخل محفظه‌ی دستگاه قرار گرفت و ویژگی‌های فتوسنتزی اندازه‌گیری شدند. کارایی استفاده از آب لحظه‌ای با تقسیم میزان فتوسنتز بر میزان تعرق محاسبه شد (Gong and Chen, 2012). محتوای نسبی آب برگ پرچم در مراحل شیری و خمیری نرم با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

معادله ۲

$$RWC = \frac{W_1 - W_3}{W_2 - W_3} \times 100$$

RWC: محتوای نسبی آب برگ (درصد)، W_1: وزن تازه برگ (گرم)، W_2: وزن اشباع برگ (گرم) ، W_3: وزن خشک برگ (گرم).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 (SAS Institute, 2004) صورت گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

جدول ۳- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس فتوسنتز ، هدایت روزنه ای، تعرق، محتوای نسبی آب برگ پرچم، کارایی مصرف آب لحظه‌ای و عملکرد دانه تریتیکاله.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		فتوسنتز		هدایت روزنه‌ای		تعرق	
		مرحله شیری	مرحله خمیری نرم	مرحله شیری	مرحله خمیری نرم	مرحله شیری	مرحله خمیری نرم
تکرار	۲	۰/۰۵۲^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۹۰۵/۹۵۰^{ns}	۳۶۲/۶۸۰^{ns}	۰/۴۲۹^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}
رژیم آبیاری (آبیاری)	۱	۱۹۳/۷۶۶**	۱۸۹/۳۳۸**	۵۶۱۶۹/۰۱۰**	۷۳۹۷۴/۹۳۴**	۱۵/۸۴۰*	۸/۵۵۶*
خطای (الف)	۲	۰/۹۳۲	۰/۷۳۲	۵۳۶/۳۹۶	۴۷۷/۱۳۸	۱/۱۸۵	۰/۳۰۶
سیلیکون	۱	۴۶/۹۲۳**	۲۹/۵۹۴**	۴۰۹۶/۰۰۱**	۵۷۶۸/۴۰۳^{ns}	۱/۵۱۳^{ns}	۱/۶۰۰**
کود نیتروژن (کود)	۲	۱۴۵/۴۰۲**	۹۰/۵۸۷**	۵۷۳۵۴/۴۰۹**	۵۳۶۳۳/۴۰۱**	۴/۳۹۸**	۶/۵۸۹**
آبیاری × سیلیکون	۱	۴۳/۶۹۲**	۱۲/۴۶۱**	۲۷۰۷/۴۶۸*	۳۵۹۸/۰۰۱**	۳/۲۴۰*	۰/۶۹۷*
آبیاری × کود	۲	۱۷/۲۷۳**	۲۶/۱۳۰**	۱۲۵۸۴/۴۲۶**	۱۷۲۳۲/۱۳۴**	۰/۰۳۱^{ns}	۰/۴۴۶ ^{ns}
سیلیکون × کود	۲	۱/۸۶۵^{ns}	۰/۳۸۰^{ns}	۴۲/۴۲۶^{ns}	۱۶۸/۰۵۱^{ns}	۰/۳۰۴^{ns}	۰/۰۸۴^{ns}
آبیاری × سیلیکون× کود	۲	۱/۲۶۹^{ns}	۰/۸۹۵^{ns}	۱۶/۸۴۲^{ns}	۸۲/۰۵۰^{ns}	۰/۳۴۵^{ns}	۰/۲۲۷^{ns}
خطای (ب)	۲۰	۰/۶۹۰	۰/۲۷۴	۳۷۸/۵۵۷	۴۲۲/۷۶۲	۰/۴۲۶	۰/۱۳۲
ضریب تغییرات (٪)		۷/۹۲	۶/۶۹	۷/۲۳	۸/۳۹	۱۰/۵۵	۷/۷۷

*** و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns : غیر معنی‌داری**

ادامه جدول ۳-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		محتوای نسبی آب برگ		کارایی مصرف آب لحظه‌ای		عملکرد دانه
		مرحله شیری	مرحله خمیری نرم	مرحله شیری	مرحله خمیری نرم	
تکرار	۲	۳۸/۸۳۰^{ns}	۶۹/۱۸۸^{ns}	۰/۰۵۷^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۸۹۳/۷۶۲^{ns}
رژیم آبیاری (آبیاری)	۱	۲۱۰۸/۳۴۰**	۲۲۸۴/۸۴۰**	۱/۵۶۷**	۳/۳۴۹**	۲۸۰۱۹۳/۷۷۸**
خطای (الف)	۲	۵۰/۷۶۷	۵۶/۱۹۰	۰/۰۴۶	۰/۰۶۳	۱۶۱/۲۲۷
سیلیکون	۱	۱۹۷/۴۰۳*	۲۰۶/۴۰۱*	۰/۹۰۶**	۰/۸۳۴**	۱۴۰۷۳/۸۶۸**
کود نیتروژن (کود)	۲	۱۳۵/۳۵۹*	۱۲۹/۱۰۵^{ns}	۲/۱۳۹**	۱/۷۲۰**	۴۰۶۲۵۷/۹۴۴**
آبیاری × سیلیکون	۱	۱۳۸/۰۶۳^{ns}	۱۹۴/۱۳۸*	۰/۵۲۶**	۰/۴۹۵**	۱۰۸۹۹/۳۶۰*
آبیاری × کود	۲	۱۹۹/۰۳۵*	۱۳۴/۶۶۱*	۰/۲۱۵ **	۰/۴۰۳ **	۵۶۷۱۰/۵۰۲**
سیلیکون × کود	۲	۱/۰۰۸^{ns}	۴/۴۹۴^{ns}	۰/۰۷۷^{ns}	۰/۰۲۵^{ns}	۳۷۷/۰۶۷^{ns}
آبیاری × سیلیکون × کود	۲	۱/۴۱۱^{ns}	۵/۷۱۰^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۸۱۹/۹۹۸^{ns}
خطای (ب)	۲۰	۳۵/۲۸۰	۳۸/۲۷۲	۰/۰۳۰	۰/۰۳۵	۱۶۷۷/۹۵۹
ضریب تغییرات (٪)		۷/۶۹	۹/۳۸	۱۰/۴۷	۱۱/۶۹	۹/۹۶

*** و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns : غیر معنی‌داری**

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

شدند. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

فتوسنتز برگ: با نمو گیاه از مرحله‌ی شیری به مرحله‌ی خمیری نرم میزان فتوسنتز برگ پرچم در شرایط مطلوب و تنش آبی کاهش یافت (جدول ۳). کاهش میزان فتوسنتز با پیشرفت مراحل نموی گیاه که در این آزمایش مشاهده شد، احتمالا مربوط به کاهش توان فتوسنتزی گیاه همروند با پیشرفت فرآیند پیری است و با یافته‌های Shabani و همکاران (۲۰۱۳) در مورد گیاه کلزا و Ahmadi و همکاران (۲۰۱۰) در مورد گیاه سیب زمینی مطابقت داشت.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش رژیم آبیاری × کود نیتروژن در مراحل شیری و خمیری نرم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان فتوسنتز (۱۶/۴۹ و ۱۳/۸۷ به‌ترتیب در مراحل شیری و خمیری نرم) در تیمار آبیاری مطلوب و بالاترین سطح کود نیتروژن و کمترین میزان فتوسنتز (۵/۲۱ و ۳/۹۰ به‌ترتیب در مراحل شیری و خمیری نرم) در تیمار تنش آبی و عدم استفاده از کود نیتروژن (شاهد) مشاهده شد (جدول ۴). همچنین، اثر متقابل نشان داد که در هر دو مرحله‌ی نموی کاربرد کود نیتروژن در شرایط مطلوب رطوبتی سبب افزایش میزان فتوسنتز تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار شد. اما، در شرایط تنش آبی، کود نیتروژن فقط تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار میزان فتوسنتز را افزود (جدول ۴). اثر مثبت کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن بر میزان فتوسنتز توسط سایر پژوهشگران (Shangguan *et al*., 2000; Lawlor *et al*., 1988) نیز به اثبات رسیده است.

بررسی این اثر متقابل از منظری دیگر، نشان داد که در هر دو مرحله‌ی نموی، تنش آبی میزان فتوسنتز برگ پرچم را به طور معنی‌داری کاهش داد. اما، این کاهش در سطوح مختلف کود نیتروژن متفاوت بود (۳۳، ۲۹ و ۴۴ درصد کاهش در مرحله‌ی شیری و ۳۱، ۴۱ و ۵۵ درصد کاهش در مرحله‌ی خمیری نرم به‌ترتیب در شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) که در هر دو مرحله بیشترین کاهش در بالاترین سطح کود نیتروژن رخ داد (جدول ۴). همروند با نتایج این پژوهش، برخی دیگر از مطالعات نیز نشان داده‌اند که تنش آبی سبب کاهش فتوسنتز در گیاه جو (Wall *et al*., 2011) و گندم (Shangguan *et al*., 2000) شده است. کاهش بیشتر مقدار فتوسنتز به‌واسطه‌ی تنش آبی در بالاترین سطح کود نیتروژن در مقایسه با کاربرد کمتر نیتروژن، نشان داد که گیاهانی که کود نیتروژن زیادی دریافت کرده‌اند، حساسیت بیشتری به تنش خشکی داشتند. کاهش بیشتر میزان فتوسنتز به‌واسطه‌ی تنش آبی نسبت شرایط مطلوب رطوبتی با کاربرد بالاترین سطح کود نیتروژن در این آزمایش، با نتایج Karrou و Maranville (۱۹۹۵) در مورد گندم مطابقت داشت. در همین راستا، Frederick و Camberato (۱۹۹۴) نشان دادند که کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن در شرایط کمبود آب سبب تشدید تنش آبی به‌واسطه‌ی افزایش شاخص سطح برگ گندم و تخلیه‌ی سریعتر نیم‌رخ خاک از رطوبت شد. افزایش شدت تنش در سطوح بالای کود نیتروژن سبب کاهش بیشتر میزان فتوسنتز در دوره‌ی پر شدن دانه و در نهایت کاهش وزن دانه‌ها شده و می‌تواند عملکرد نهایی دانه را متاثر کند.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) برهم‌کنش رژیم آبیاری × سیلیکون در مرحله‌ی شیری و خمیری نرم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در شرایط مطلوب رطوبتی، کاربرد سیلیکون سبب افزایش میزان فتوسنتز در مرحله‌ی شیری (۱ درصد) و خمیری نرم (۷ درصد) نسبت به عدم کاربرد آن شد. اما، این افزایش فقط در مرحله‌ی خمیری نرم معنی‌دار بود. همچنین، کاربرد سیلیکون میزان فتوسنتز را در شرایط تنش آبی به‌طور معنی‌دار و به میزان ۷۶ و ۷۴ درصد به‌ترتیب در مراحل شیری و خمیری نرم نسبت به شرایط عدم کاربرد سیلیکون افزود (جدول ۵). نمایی دیگر از برهم‌کنش رژیم آبیاری × سیلیکون نشان داد که، تنش آبی میزان فتوسنتز را در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون در هر دو مرحله‌ی نموی به‌طور معنی‌دار کاهش داد. اما، این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

جدول ۴- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری × کود نیتروژن بر فتوسنتز، هدایت روزنه ای، محتوای نسبی آب برگ پرچم و کارایی مصرف آب لحظه‌ای تریتیکاله

رژیم آبیاری	کود نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)	فتوسنتز (میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)		هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)		محتوای نسبی آب برگ پرچم (درصد)		کارایی مصرف آب لحظه‌ای (میلی‌مول بر مول)	
		مرحله شیری	مرحله خمیری نرم	مرحله شیری	مرحله خمیری نرم	مرحله شیری	مرحله خمیری نرم	مرحله شیری	مرحله خمیری نرم
بدون	۰	۷/۷۸^{d}	۵/۶۲^{d}	۲۰۸^{d}	۱۸۹^{d}	۸۴/۳^{a}	۷۳/۳^{a}	۱/۲۶^{d}	۱/۳۳^{c}
تنش	۱۰۰	۱۴/۱۶^{b}	۱۰/۸۷^{b}	۳۱۴^{b}	۲۹۱^{b}	۸۴/۶^{a}	۷۴/۴^{a}	۲/۰۵^{ab}	۲/۱۰^{a}
آبی	۱۵۰	۱۶/۴۹^{a}	۱۳/۸۷^{a}	۴۰۵^{a}	۳۹۲^{a}	۸۵/۷^{a}	۷۴/۰^{a}	۲/۲۵^{a}	۲/۳۰^{a}
با تنش آبی	۰	۵/۲۱^{e}	۳/۹۰^{e}	۱۷۹^{e}	۱۵۶^{e}	۷۴/۸^{b}	۶۱/۵^{b}	۱/۰۶^{d}	۱/۰۱^{d}
	۱۰۰	۱۰/۰۸^{c}	۶/۴۵^{c}	۲۵۸^{c}	۲۲۹^{c}	۷۲/۸^{b}	۶۲/۱^{b}	۱/۷۲^{bc}	۱/۶۱^{b}
	۱۵۰	۹/۲۲^{cd}	۶/۲۵^{cd}	۲۵۳^{c}	۲۱۵^{c}	۶۱/۱^{c}	۵۰/۴^{c}	۱/۵۳^{c}	۱/۲۷^{c}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ۵- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری × سیلیکون بر فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ پرچم و تعرق تریتیکاله

رژیم آبیاری	کاربرد سیلیکون	فتوسنتز (میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)		هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)		محتوای نسبی آب برگ پرچم (درصد)		تعرق (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)	
		مرحله شیری	مرحله خمیری نرم	مرحله شیری	مرحله خمیری نرم	مرحله شیری	مرحله خمیری نرم	مرحله شیری	مرحله خمیری نرم
بدون تنش آبی	بدون سیلیکون	۱۲/۷۷^{a}	۹/۸۰^{b}	۳۰۷^{a}	۲۸۸^{a}	۸۴/۵^{a}	۷۴/۰^{a}	۶/۹۴^{a}	۵/۰۹^{a}
	با سیلیکون	۱۲/۸۵^{a}	۱۰/۴۴^{a}	۳۱۱^{a}	۲۹۳^{a}	۸۵/۳^{a}	۷۴/۰^{a}	۶/۷۵^{a}	۵/۲۳^{a}
با تنش آبی	بدون سیلیکون	۵/۹۲^{c}	۴/۰۴^{d}	۲۱۰^{c}	۱۷۷^{c}	۶۵/۳^{c}	۵۳/۳^{c}	۵/۰۱^{c}	۳/۸۳^{c}
	با سیلیکون	۱۰/۴۱^{b}	۷/۰۳^{c}	۲۴۹^{b}	۲۲۲^{b}	۷۳/۹^{b}	۶۲/۷^{b}	۶/۰۲^{b}	۴/۵۳^{b}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

کاهش در شرایط عدم کاربرد سیلیکون بیشتر (۵۴ و ۵۹ درصد به‌ترتیب در مراحل شیری و خمیری نرم) از شرایط با کاربرد سیلیکون (۱۹ و ۳۳ درصد به‌ترتیب در مراحل شیری و خمیری نرم) بود (جدول ۵). افزایش بیشتر میزان فتوسنتز به‌واسطه‌ی کاربرد سیلیکون نسبت به عدم کاربرد آن در شرایط تنش آبی، نشان دهنده‌ی کاهش اثرات تنش بر میزان فتوسنتز در صورت کاربرد سیلیکون است که با یافته‌های Chen و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت. اما، بر خلاف یافته‌های Hattori و همکاران (۲۰۰۵) در مورد گیاه سورگوم، در آزمایش حاضر، کاربرد سیلیکون میزان فتوسنتز را در شرایط مطلوب رطوبتی و به‌ویژه در مرحله‌ی خمیری نرم نیز افزود.

هدایت روزنه‌ای: میزان هدایت روزنه‌ای برگ پرچم با پیشرفت مراحل رشدی گیاه از شیری به خمیری نرم کاهش یافت. اما، این کاهش در شرایط با تنش آبی (میانگین شرایط با کاربرد و بدون کاربرد سیلیکون، ۱۴ درصد) بیشتر از شرایط بدون تنش آبی (میانگین شرایط با کاربرد و بدون کاربرد سیلیکون، ۶ درصد) بود. همچنین، در شرایط تنش آبی و بدون کاربرد سیلیکون میزان کاهش (۱۶ درصد) بیشتر از شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

جدول ۶- همبستگی بین عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) ، فتوسنتز (میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)، تعرق (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)، کارایی مصرف آب لحظه‌ای (میلی‌مول بر مول) و محتوای نسبی آب برگ پرچم (درصد).

	صفات	عملکرد دانه	فتوسنتز	هدایت روزنه‌ای	تعرق	کارایی مصرف آب
مرحله شیری	فتوسنتز (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه)	۰/۹۵۳**				
	هدایت روزنه‌ای (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه)	۰/۹۸۶**	۰/۹۵۳**			
	تعرق (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه)	۰/۸۲۸**	۰/۹۱۳**	۰/۸۵۳**		
	کارایی مصرف آب لحظه‌ای (میلی مول بر مول)	۰/۹۳۹**	۰/۹۸۴**	۰/۹۲۲**	۰/۸۵۰**	
	محتوای نسبی آب برگ پرچم (درصد)	۰/۳۶۹	۰/۵۲۹	۰/۴۳۶	۰/۶۱۱*	۰/۴۵۲
مرحله خمیری نرم	فتوسنتز (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه)	۰/۹۴۸**				
	هدایت روزنه‌ای (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه)	۰/۹۷۳**	۰/۹۷۷**			
	تعرق (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه)	۰/۸۸۲**	۰/۹۴۱**	۰/۹۱۱**		
	کارایی مصرف آب لحظه‌ای (میلی مول بر مول)	۰/۹۱۸**	۰/۹۶۷**	۰/۹۳۰**	۰/۸۵۳**	
	محتوای نسبی آب برگ پرچم (درصد)	۰/۴۱۴	۰/۶۲۱*	۰/۵۳۵	۰/۴۵۱	۰/۶۷۶*

**** همبستگی معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، * همبستگی معنی دار در سطح ۵ درصد**

تنش آبی و با کاربرد سیلیکون (۱۱ درصد) بود (جدول ۵). کاهش میزان هدایت روزنه‌ای در طول مراحل رشدی تریتیکاله با یافته‌های Ahmadi و همکاران (۲۰۱۰) در مورد گیاه سیب زمینی و Shabani و همکاران (۲۰۱۳) در مورد گیاه کلزا مطابقت داشت. احتمالا، این روند کاهشی میزان هدایت روزنه-ای برگ با پیشرفت مراحل فنولوژیک گیاه در انتهای فصل رشد که در شرایط تنش آبی نیز تشدید شد، مربوط به کاهش توان ریشه‌ها در جذب آب به‌واسطه‌ی پیری آنها و افزایش تولید آبسزیک اسید به‌ویژه در شرایط تنش آبی بود. این کاهش جذب آب سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ شده و به همراه اثرات آبسزیک اسید بر روزنه‌ها، بسته شدن روزنه‌ها را سبب شده است. به‌علاوه، در آزمایش حاضر، محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت با هدایت روزنه‌ای (۰/۴۳۶ در مرحله‌ی شیری و ۰/۵۳۵ در مرحله‌ی خمیری نرم) نشان داد (جدول ۶). کاهش کمتر میزان هدایت روزنه‌ای با پیشرفت مراحل فنولوژیک گیاه در شرایط استفاده از سیلیکون ممکن است به‌علت اثرات مثبت سیلیکون در کاهش روند پیری ریشه‌ها و استمرار جذب آب در مراحل انتهایی رشد گیاه باشد، که البته فهم دقیق آن نیازمند پژوهش‌های بیشتر است.

هدایت روزنه‌ای برگ پرچم به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در مراحل شیری و خمیری نرم تحت تاثیر برهم‌کنش رژیم آبیاری × کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۳). این برهم‌کنش، در هر دو مرحله از رشد، نشان داد که در شرایط مطلوب رطوبتی هدایت روزنه‌ای تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. در مقابل، در شرایط تنش آبی این افزایش فقط تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار معنی‌دار بود (جدول ۴). همچنین، این برهم-کنش نشان داد که تنش آبی هدایت روزنه‌ای را در تمام سطوح کود نیتروژن کاهش داد. اما، میزان کاهش تابعی از سطح کود نیتروژن مورد استفاده بود (۱۴، ۱۸ و ۳۸ درصد کاهش در مرحله‌ی شیری و ۱۸، ۲۱ و ۴۵ درصد کاهش در مرحله‌ی خمیری نرم به‌ترتیب در شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) (جدول ۴).

کاهش هدایت روزنه‌ای به‌واسطه‌ی تنش آبی که در این پژوهش مشاهده شد با یافته‌های سایر محققین (Wall *et al.*,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

2011; Li *et al*., 2004) مطابقت داشت. بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز به‌علت کاهش تولید هورمون سیتوکاینین در ریشه‌ها در شرایط تنش آبی است که با تجمع آبسزیک اسید در سلول‌های محافظ روزنه تشدید می‌شود (Blackman and Davies, 1985). همروند با نتایج این پژوهش، بسیاری از محققین اثر مثبت تغذیه با کود نیتروژن بر هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز گندم را نشان داده‌اند (Shangguan *et al*., 2000; Fredrick and Camberato, 1995). اما، همانطور که نتایج این پژوهش در مورد تریتیکاله نشان داد، اثر تغذیه با کود نیتروژن از تنش آبی متاثر شد. Radin و Boyer (۱۹۸۲) گزارش کردند که غلظت نیتروژن در گیاه، وضعیت آب گیاه را در شرایط تنش آبی دستخوش تغییر می‌کند. در واقع Radin و Parker (۱۹۷۹) در آزمایشی بر روی پنبه نتیجه‌گیری کردند که گیاهانی که غلظت نیتروژن کمی داشتند ویژگی‌های مقاومت به خشکی را نشان دادند. همچنین، Morgan (۱۹۸۶) اثبات کرد که هدایت رورنه‌ای برگ گیاهانی که کود نیتروژن کمتری دریافت کرده‌اند نسبت به گیاهانی که کود نیتروژنه زیادی دریافت کرده‌اند، کمتر تحت تاثیر پتانسیل آب برگ قرار گرفتند. این محقق نشان داد که کمبود نیتروژن در گیاه سبب تغییراتی در آناتومی برگ و سختی بیشتر دیواره‌ی سلولی شده و سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ در پتانسیل آب کمتر می‌شود. افزایش ضخامت دیواره سلولی در شرایط استفاده از سطوح پایین کود نیتروژن را سایر پژوهشگران (Barker, 2016) نیز گزارش کرده‌اند.

اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری × سیلیکون بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم در مرحله‌ی شیری و خمیری نرم به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کاربرد سیلیکون در شرایط مطلوب رطوبتی سبب افزایش جزئی در هدایت روزنه‌ای شد. اما، در شرایط تنش آبی، کاربرد سیلیکون هدایت روزنه‌ای را در مراحل شیری و خمیری نرم به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به مقدار ۱۹ و ۲۵ درصد افزود (جدول ۵). بررسی این برهم‌کنش از منظری دیگر نشان داد که تنش آبی سبب کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون در هر دو مرحله‌ی رشدی شد. اما، این کاهش در شرایط کاربرد سیلیکون کمتر از شرایط عدم کاربرد آن بود (۳۲ و ۳۹ درصد کاهش در شرایط عدم کاربرد سیلیکون به‌ترتیب در مراحل شیری و خمیری نرم و ۲۰ و ۲۴ درصد کاهش در شرایط کاربرد سیلیکون به‌ترتیب در مراحل شیری و خمیری نرم) (جدول ۵).

کاهش کمتر هدایت روزنه‌ای به‌واسطه‌ی تنش آبی در شرایط کاربرد سیلیکون را برخی دیگر از محققین در مورد سورگوم (Hattori *et al*., 2005) و فلفل (Lobato *et al*., 2009) نیز اثبات کرده‌اند. همچنین، Gong و Chen (۲۰۱۲) گزارش کردند که کاربرد سیلیکون نسبت به عدم کاربرد آن، سبب افزایش هدایت روزنه‌ای گندم در شرایط تنش آبی شد. Hattori و همکاران (۲۰۰۷) اثبات کردند که کاربرد سیلیکون باعث تسهیل جذب آب و انتقال آن در شرایط تنش آبی خواهد شد. بنابراین، احتمالا، بهبود وضعیت آبی گیاه سبب تداوم هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش آبی می‌شود. در آزمایش حاضر نیز همبستگی هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ مثبت بود (جدول ۶).

تعرق

با پیشرفت رشد گیاه از مرحله‌ی شیری به خمیری، میزان تعرق برگ پرچم در همه‌ی تیمارها کاهش یافت، که این کاهش همروند با کاهش هدایت روزنه‌ای بود (جدول ۵). همروند بودن تغییرات هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق را برخی دیگر از محققین (Gong and Chen, 2012) نیز گزارش کرده‌اند. در آزمایش حاضر نیز این دو صفت دارای همبستگی مثبت در مراحل شیری و خمیری نرم بودند (جدول ۶).

جدول تجزیه واریانس نشان داد که میزان تعرق در مرحله‌ی شیری و خمیری نرم به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد از کاربرد کود نیتروژن متاثر شد (جدول ۳). استفاده از کود نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار میزان تعرق تا سطح ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار به‌ترتیب در مرحله‌ی شیری و خمیری نرم شد (جدول ۷). برخی دیگر از پژوهشگران (Shangguan *et al*., 2000) نیز اثرات مثبت نیتروژن بر هدایت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

جدول ۷- اثر رژیم آبیاری، کود نیتروژن و سیلیکون بر تعرق در مراحل شیری و خمیری نرم تریتیکاله

	تعرق (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)	
رژیم آبیاری	مرحله شیری	مرحله خمیری نرم
بدون تنش آبی	۶/۸۵[a]	۵/۱۶[a]
با تنش آبی	۵/۵۲[a]	۴/۱۸[b]
کود نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)		
۰	۵/۴۹[b]	۳/۹۸[c]
۱۰۰	۶/۴۳[a]	۴/۵۹[b]
۱۵۰	۶/۶۳[a]	۵/۴۵[a]
کاربرد سیلیکون		
بدون سیلیکون	۵/۹۸[a]	۴/۴۶[b]
با سیلیکون	۶/۳۹[a]	۴/۸۸[a]

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

روزنه‌ای و تعرق را نشان داده‌اند. همچنین، جدول تجزیه واریانس نشان داد که میزان تعرق در هر دو مرحله از رشد به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد تحت تاثیر برهم‌کنش رژیم آبیاری × سیلیکون قرار گرفت (جدول ۳). تنش آبی سبب کاهش میزان تعرق در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون شد. اما، مقدار این کاهش در شرایط کاربرد سیلیکون کمتر (۱۱ و ۱۳ درصد به‌ترتیب در مرحله‌ی شیری و خمیری نرم) از شرایط عدم کاربرد سیلیکون (۲۸ و ۲۵ درصد به‌ترتیب در مرحله‌ی شیری و خمیری نرم) بود (جدول ۵). Gong و Chen (۲۰۱۲) نیز با انجام پژوهشی بر روی گندم نشان دادند که در شرایط تنش آبی و کاربرد سیلیکون میزان تعرق بیش از شرایط عدم کاربرد آن بود. بر اساس نتایج آزمایش حاضر، این افزایش را می‌توان به بالا بودن میزان هدایت روزنه‌ای با کاربرد سیلیکون در شرایط تنش آبی مرتبط دانست.

کارایی مصرف آب لحظه‌ای

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که کارایی استفاده از آب لحظه‌ای به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر برهم‌کنش رژیم آبیاری × کود نیتروژن در مرحله‌ی شیری و خمیری نرم قرار گرفت (جدول ۳). این برهم‌کنش نشان داد که کاربرد کود نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار مقدار کارایی استفاده از آب در هر دو شرایط رطوبتی و هر دو مرحله‌ی رشدی نسبت به شاهد شد (جدول ۴). روند افزایشی این صفت در شرایط مطلوب رطوبتی تا بالاترین سطح کود نیتروژن ادامه یافت. اما، در شرایط تنش رطوبتی، پس از افزایش کارایی استفاده از آب تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، با افزایش مقدار کود نیتروژن روندی کاهشی را نشان داد (جدول ۴). اثرات مثبت کاربرد کود نیتروژن بر کارایی استفاده از آب لحظه‌ای در شرایط مطلوب رطوبتی با یافته‌های Shangguan و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت داشت. همچنین، این برهم‌کنش نشان داد که تنش آبی سبب کاهش کارایی استفاده از آب در همه‌ی سطوح کود نیتروژن شد. اما، این کاهش در سطوح مختلف کود نیتروژن متفاوت بود (۱۶، ۱۶ و ۳۹ درصد کاهش در مرحله‌ی شیری و ۲۴، ۲۳ و ۴۵ درصد کاهش در مرحله‌ی خمیری نرم به‌ترتیب در شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) (جدول ۴).

میانگین مقدار کارایی استفاده از آب لحظه‌ای تریتیکاله در آزمایش حاضر (۱/۶۵ و ۱/۶۰ (میلی مول بر مول) به‌ترتیب در مراحل شیری و خمیری نرم) کمتر از مقدارهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

گزارش شده توسط Shangguan و همکاران (۲۰۰۴) در مورد گندم بود. اگرچه برخی از محققین (Zhang *et al*., 2006) نشان داده‌اند که در شرایط کم آبیاری مقدار کارایی استفاده از آب افزایش می‌یابد، اما، در آزمایش حاضر تنش آبی سبب کاهش کارایی استفاده از آب لحظه‌ای شد. این تعارض در رابطه با اثر تنش آبی بر کارایی استفاده از آب در پژوهش‌های مختلف ممکن است به شدت تنش وابسته باشد. در این رابطه، Barati و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که کارایی استفاده از آب گیاه جو در شرایط تنش‌های ملایم نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی افزایش و با اعمال تنش‌های شدید کاهش یافت.

کاهش بیشتر کارایی استفاده از آب لحظه‌ای به‌واسطه‌ی تنش آبی در شرایط استفاده از بالاترین سطح کود نیتروژن در آزمایش حاضر، یافته‌های Van Herwaarden و همکاران (۱۹۹۸) را تایید می‌کند. این محققین نشان دادند که تنش آبی انتهای فصل، کارایی استفاده از آب بوته‌های گندمی که با ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار تیمار شده بودند را بیشتر از تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن کاهش داد. آنها اظهار داشتند که گیاهانی که کود نیتروژن بیشتری دریافت کرده‌اند، اندام‌های رویشی بیشتری تولید می‌کنند و بنابراین با سرعت بیشتری آب را از نیم رخ خاک خارج کرده و گیاهان را با تنش انتهایی شدیدتری روبرو می‌کنند. در چنین شرایطی، میزان فتوسنتز و انتقال مجدد مواد پرورده (Barati and Ghadiri, 2017) نیز کاهش شدیدتری نسبت به شرایط عدم استفاده از کود نیتروژن خواهند یافت و درنتیجه کارایی استفاده از آب نسبت به شرایط شاهد (عدم کاربرد نیتروژن) کاهش بیشتری می‌یابد.

برهم‌کنش رژیم آبیاری × سیلیکون در مراحل شیری و خمیری نرم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). این برهم‌کنش نشان داد که تنش آبی سبب کاهش کارایی استفاده از آب در شرایط کاربرد سیلیکون و عدم کاربرد آن در هر دو مرحله‌ی رشدی شد. اما، این کاهش در شرایط کاربرد سیلیکون کمتر (۹ و ۲۰ درصد به‌ترتیب در مرحله‌ی شیری و خمیری نرم) از شرایط عدم استفاده از سیلیکون (۳۶ و ۴۵ درصد به‌ترتیب در مرحله‌ی شیری و خمیری نرم) بود (شکل ۱).

کاهش کمتر کارایی استفاده از آب به‌واسطه‌ی تنش آبی در شرایط کاربرد سیلیکون را می‌توان به کاهش شدت تنش در گیاهان دریافت کننده‌ی سیلیکون نسبت داد. در این رابطه، Yin و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که کاربرد سیلیکون سبب افزایش رشد ریشه و افزایش جذب آب در گیاه سورگوم و درنتیجه کاهش شدت تنش در این گیاه شد. در آزمایش حاضر، وضعیت بهتر آبی گیاه در شرایط تنش آبی به‌واسطه‌ی کاربرد سیلیکون، احتمالا، سبب تاخیر در فرایند پیری و تداوم هدایت روزنه‌ای و تثبیت دی‌اکسیدکربن نسبت به شرایط عدم کاربرد سیلیکون شد. در چنین شرایطی، هرچند که میزان تثبیت دی اکسید کربن به‌واسطه‌ی تنش کاهش می‌یابد، اما به نظر می‌رسد که میزان کاهش آن کمتر از میزان کاهش تعرق خواهد بود و درنتیجه کارایی استفاده از آب کاهش کمتری می‌یابد. در تایید این نتایج، Ritchie (۱۹۸۳) نیز گزارش کردند که در شرایط تنش اگرچه فتوسنتز و تعرق هر دو کاهش می یابند، اما، کاهش تعرق بیشتر از کاهش فتوسنتز است و بنابراین، کارایی استفاده از آب افزایش می‌یابد.

محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ پرچم به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد در مراحل شیری و خمیری نرم تحت تاثیر برهم‌کنش رژیم آبیاری × کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۳). این صفت روندی کاهشی از مرحله‌ی شیری به مرحله‌ی خمیری نرم نشان داد (جدول ۴ و ۵). Huseynova و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که محتوای نسبی آب برگ‌های گندم از مرحله‌ی گلدهی تا رسیدگی کاهش می‌یابد و این روند در شرایط تنش آبی به‌واسطه‌ی تشدید فرآیند پیری تسریع می-شود.

در هر دو مرحله از رشد، برهم‌کنش رژیم آبیاری و کود نیتروژن نشان داد که کاربرد کود نیتروژن در شرایط مطلوب رطوبتی باعث افزایش جزئی و غیر معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ پرچم شد. اما، در شرایط تنش آبی، کاربرد کود نیتروژن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

کاهش آن را سبب شد، که این کاهش در بالاترین سطح کود نیتروژن نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۴). همچنین، در هر دو مرحله از رشد، تنش آبی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ پرچم شد. اما، بیشترین مقدار کاهش در بالاترین سطح کود نیتروژن در مراحل شیری (۲۹ درصد) و خمیری نرم (۳۲ درصد) رخ داد (جدول ۴). همروند با نتایج این پژوهش Karrou و Maranville (۱۹۹۵) نیز نشان دادند که تنش آبی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ گندم شد و این کاهش در بالاترین سطح کود نیتروژن بیشترین مقدار بود.

جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری × سیلیکون بر محتوای نسبی آب برگ پرچم در سطح احتمال ۰/۰۶۱۸ در مرحله‌ی شیری و در سطح احتمال پنج درصد در مرحله‌ی خمیری نرم معنی‌دار بود (جدول ۳). در هر دو مرحله از رشد، کاربرد سیلیکون در شرایط مطلوب رطوبتی تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. اما، در شرایط تنش آبی، سبب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ پرچم در مرحله‌ی شیری (۱۳ درصد) و خمیری نرم (۱۸ درصد) نسبت به عدم کاربرد سیلیکون شد. این برهم‌کنش از نمایی دیگر نشان داد که، تنش آبی در هر دو مرحله از رشد، سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ پرچم در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون شد. اما، در هر دو مرحله‌ی رشدی، این کاهش در شرایط کاربرد سیلیکون کمتر از شرایط عدم کاربرد سیلیکون بود (۲۳ و ۱۴ درصد کاهش به‌ترتیب در شرایط عدم کاربرد و کاربرد سیلیکون در مرحله‌ی شیری و ۲۸ و ۱۵ درصد کاهش به‌ترتیب در شرایط عدم کاربرد و کاربرد سیلیکون در مرحله‌ی خمیری نرم) (جدول ۵).

تنش آبی غشای پلاسمایی و سایر غشاهای درونی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Agarie *et al.*, 1998). برخی از محققین Liang و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که در شرایط تنش آبی بوته‌های گندم دچار تخریب غشای سلولی شده و نهایتا پلاسمولیز رخ می‌دهد. این پدیده سبب حذف یا کاهش مکانیسم‌های سلولی در برابر از دست دادن آب شده و در نهایت تعرق را افزایش و به‌طور مشخص محتوای نسبی آب برگ را کاهش خواهد داد. Pei و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که کاربرد سیلیکون سبب حفظ یکپارچگی غشای سلولی در گیاه گندم شد. در همین راستا، Liang و همکاران (۲۰۱۵) اثبات کرد که در برگ‌های گندمی که با سیلیکون تیمار شده بودند، مقدار پلاسمولیز نسبت به شرایط عدم استفاده از سیلیکون کاهش یافت. فرض دیگری که ممکن است در توجیه کاهش کمتر محتوای نسبی آب برگ با کاربرد سیلیکون در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال وجود داشته باشد، اثرات مثبت سیلیکون در جذب بیشتر آب است. در این راستا Hattori و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که کاربرد سیلیکون می‌تواند جذب و انتقال آب را در گیاه در شرایط تنش خشکی افزایش داده و سبب بهبود وضعیت آبی گیاه شود.

عملکرد دانه

عملکرد دانه همبستگی مثبت با فتوسنتز و صفات وابسته به آن در مرحله‌ی شیری و خمیری نرم داشت (جدول ۶) که نشان‌دهنده‌ی نقش پر رنگ فتوسنتز جاری برگ پرچم در شکل‌گیری وزن دانه‌ها و نهایتا عملکرد دانه تریتیکاله در شرایط آزمایش حاضر بود. بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، برهم‌کنش رژیم آبیاری × کود نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). این برهم‌کنش نشان داد که، تنش آبی انتهای فصل عملکرد دانه را در تمامی سطوح کود نیتروژن کاهش داد. اما، بالاترین سطح کود نیتروژن، بیشترین کاهش (۴۶ درصد) را در مقایسه با شاهد (۲۴ درصد) و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار (۲۶ درصد) سبب شد (شکل ۲).

یافته‌های برخی دیگر از پژوهشگران در مورد گندم نان (Frederick and Camberato, 1995) و جو (Barati *et al.*, ; 2015 نیازی اردکانی و همکاران، ب۱۳۹۹) نیز نشان داد که تنش آبی سبب کاهش بیشتر عملکرد دانه در بالاترین سطح کود نیتروژن شد، که نشان دهنده‌ی حساسیت بیشتر گیاهان دریافت کننده‌ی سطوح بالای کود نیتروژن به تنش آبی بود. همچنین، Garabet و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که در شرایط مطلوب رطوبتی بالاترین عملکرد دانه گندم نان در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

سطوح بالای کود نیتروژن حاصل شد. اما، در شرایط تنش آبی استفاده از سطوح بالای نیتروژن سبب افزایش حساسیت به تنش آبی و کاهش عملکرد دانه شد. بنابراین، با توجه به نتایج پژوهش حاضر در مورد تریتیکاله و نتایج پژوهش‌های دیگر در مورد سایر غلات، سطح بهینه‌ی کاربرد کود نیتروژن بستگی به رژیم آبیاری و فهم دقیق پاسخ گیاه به اثر متقابل آب و کود نیتروژن دارد.

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس برهم‌کنش تیمار رژیم آبیاری × سیلیکون در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). این برهم‌کنش نشان داد که تنش آبی سبب کاهش عملکرد دانه در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون شد. اما، مقدار کاهش در شرایط کاربرد سیلیکون (۲۸ درصد) کمتر از شرایط عدم کاربرد (۴۳ درصد) آن بود (شکل ۳). کاربرد سیلیکون می‌تواند با کاهش اثرات مخرب تنش آبی سبب افزایش میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه شده و در نهایت بر وزن دانه و عملکرد دانه تاثیرگذار باشد (Epstein and Bloom, 2005). همچنین، رضا بیگی و همکاران (۱۳۹۹) نیز نشان دادند که کاربرد برگی سیلیکون در مرحله‌ی گلدهی سبب افزایش عملکرد دانه گندم دوروم و نان به‌ویژه در شرایط تنش رطوبتی انتهای فصل شد.

نتیجه‌گیری

بیشترین مقدار فتوسنتز در شرایط مطلوب رطوبتی و در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار به‌دست آمد. تنش آبی (قطع آبیاری پس از گلدهی) سبب کاهش فتوسنتز و ویژگی‌های وابسته به آن در گیاه تریتیکاله شد. اما، این کاهش در سطوح مختلف کود نیتروژن متفاوت و تابعی از کاربرد کود نیتروژن بود. به‌طوری‌که، با افزایش سطح کود نیتروژن، اثرات منفی تنش آبی تشدید شد. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار فتوسنتز با عملکرد دانه در مراحل پس از گلدهی، عملکرد دانه نیز روندی مشابه با فتوسنتز را نشان داد. از این رو، بیشترین عملکرد دانه در شرایط مطلوب رطوبتی و سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار (۷۰۹/۷ گرم بر مترمربع) به‌دست آمد. اما، در شرایط تنش آبی بیشترین عملکرد دانه (۴۱۲/۸ گرم بر مترمربع) در سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار به‌دست آمد. مقدار فتوسنتز و صفات وابسته به آن در شرایط کاربرد برگی سیلیکون کمتر تحت تاثیر تنش آبی قرار گرفت. از اینرو، عملکرد دانه نیز کاهش کمتری به‌واسطه‌ی تنش در شرایط کاربرد سیلیکون (۲۸ درصد) نسبت به شرایط عدم کاربرد آن (۴۳ درصد) داشت. اما، اثر سیلیکون بر فتوسنتز و صفات وابسته به آن مستقل از اثر کود نیتروژن بود. بنابراین، فرض اولیه‌ی این پژوهش در مورد اثرات مطلوب سیلیکون در کاهش تنش آبی تشدید شده به‌واسطه‌ی کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن رد می‌شود. به‌طورکلی، برای دستیابی به بیشینه‌ی فتوسنتز و عملکرد دانه، کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار به‌ترتیب در شرایط تنش آبی و مطلوب رطوبتی پیشنهاد می‌شود. همچنین، کاربرد برگی سیلیکون به مقدار ۳ میلی‌مولار در اواسط مرحله‌ی گلدهی سبب کاهش اثرات مخرب تنش شدید آبی پس از گلدهی شد. از این رو، در صورت تایید این نتیجه توسط مطالعات مشابه، می‌توان این تیمار را برای کاهش اثرات تنش در مناطق جنوبی ایران توصیه کرد.

منابع

رضا بیگی، س.، بیژن زاده، ا.، بهپوری، ع. و براتی، و. (۱۳۹۹) اثر کاربرد برگی سیلیکون بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد دو رقم گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل. تنش های محیطی در علوم زراعی ۱۳: ۸۴۳-۸۲۹.

نیازی اردکانی، م.، براتی، و. و بیژن زاده، ا. (الف۱۳۹۹) اثرات کود زیستی و بقایای گیاهی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه جو در شرایط تنش آبی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۹: ۲۹۸-۲۷۹.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

نیازی اردکانی، م.، براتی، و.، بیژن زاده، ا. و بهپوری، ع. (ب۱۳۹۹) تأثیر منابع مختلف کود نیتروژن و بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش آبی انتهای فصل. نشریه بوم شناسی کشاورزی ۱۲: ۱۲۶-۱۰۷.

Agarie, S., Hanaoka, N., Ueno, O., Miyazaki, A., Kubota, F., Agata, W. and Kaufman, P. B. (1998) Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. Plant Production Science 1: 96-103.

Ahmadi, S. H., Anderses, M. N., Plauborg, F., Poulsen, R. T., Jensen, C. R., Sepaskhah, A. R. and Hansen, S. (2010) Effect of irrigation strategies and soils on field-grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA]. Agricultural Water Management 97: 1469-1486.

Barati, V. and Bijanzadeh, E. (2021). Grain yield and its components of triticale as affected by silicon foliar application, nitrogen fertilizer and water stress in reproductive phase. Iranian Journal of Field Crops Research 18: 435-449.

Barati, V., Bijanzadeh, E. and Zinati, Z. (2020). Nitrogen source and deficit irrigation influence on yield and nitrogen translocation of triticale in an arid mediterranean agroecosystem. Journal of Agricultural Sciences and Technology 22: 1295-1311.

Barati, V. and Ghadiri, H. (2017) Assimilate and nitrogen remobilization of six-rowed and two-rowed winter barley under drought stress at different nitrogen fertilization. Archives of Agronomy and Soil Science 63:841-855.

Barati, V., Ghadiri, H., Zand-Parsa, Sh. and Karimian, N. (2015) Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid Mediterranean climate. Archives of Agronomy and Soil Science 61: 15-32.

Barker, A. V. (2016). Science and Technology of Organic Farming. CRC Press.

Blackman, P. G. and Davies, W. J. (1985) Root to shoot communication in maize plants of the effects of soil drying. Journal of Experimental Botany 36: 38-48.

Chen, W., Yao, X. Q., Cai, K. Z. and Chen, J. (2011) Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. Biological Trace Element Research 142: 67-76.

Epstein, E. (1994) Silicon. Plant physiology. 50: 641 -664.

Epstein, E. and Bloom, A. J. (2005) Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland.

Ercoli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Masoni, A. and Arduini, I. (2008) Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. European Journal of Agronomy 28: 138-147.

Frederick, J. R. and Camberato, J. J. (1994) Leaf net CO_2-exchange rate and associated leaf traits of winter wheat grown with various spring nitrogen fertilization rates. Crop Science 34: 432-439.

Fredrick, J. R. and Camberato, J. J. (1995) Water and nitrogen effects on winter wheat Southeastern central plain. II. Physiological responses. Agronomy Journal 87: 527-533.

Gao, X., Zou, C., Wang, L. and Zhang, F. (2006) Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. Jornal of Plant Nutrition. 29: 1637-1647.

Garabet, S., Wood, M. and Ryan, J. (1998) Nitrogen and water effects on wheat yield in a Mediterranean type climate. I. Growth, water-use and nitrogen accumulation. Field Crops Research 57: 309-318.

Gong, H. and Chen, K. (2012) The regulatory role of silicon on water relations, photosynthetic gas exchange, and carboxylation activities of wheat leaves in field drought conditions. Acta Physiologiae Plantarum 34: 1589-1594.

Hattori, T., Sonobe, K., Inanaga, S., An, P., Tsuji, W., Araki, H., Eneji, A. E. and Morita, S. (2007) Short term stomatal responses to light intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings raised with and without silicon. Environmental and Experimental Botany 60:177-182.

Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxova, M. and Lux, A. (2005) Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolour*. Physiologia Plantarum 123: 459-466.

Hattori, T., Sonobe, K., Araki, H., Inanaga, S., An, P. and Morita, S. (2008) Silicon application by sorghum through the alleviation of stress-induced increase in hydraulic resistance. Journal of Plant Nutrition 31: 1482-1495.

Hunt, L. A. and Van Der Poorten, G. (1985) Carbon dioxide exchange rates and leaf nitrogen contents during ageing of the flag and penultimate leaves of five spring-wheat cultivars. Canadian Journal of Botany 63: 1605-1609.

Huseynova, I. M. (2012) Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of leaves from wheat cultivars exposed to drought. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) Bioenergetics 1817: 1516-1523.

Karrou, M. and Maranville, W. (1995) Response of wheat cultivars to different soil nitrogen and moisture regimes; III. Leaf water content, conductance and photosynthesis. Journal of Plant Nuttition 18: 777-791.

Lawlor, D. W., Boyle, F. A., Keys, A. J., Kendall, A. C. and Young, A. T. (1988) Nitrate nutrition and temperature effects on wheat: a synthesis of plant growth and nitrogen uptake in relation to metabolic and physiological processes. Journal of Experimental Botany 39: 329-343.

Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H. and Song, A. (2015) Silicon in Agriculture: from Theory to Practice. Springer Dordrecht Heidelberg, New York, London.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

Li, F., Kang, S. and Zhang, J. 2004. Interactive effects of elevated CO_2, nitrogen and drought on leaf area, stomatal conductance, and evapotranspiration of wheat. Agricultural Water Management 67: 221-233.

Lobato, A. K. S., Coimbra, G. K., Neto, M. A. M., Costa, R. C. L., Filho, B. G. S., Neto, C. F.O., Luz, L. M., Barreto, A. G. T., Pereira, B. W. F., Alves, G. A. R., Monteiro, B. S. and Marochio, C. A. (2009) Protective action of silicon on water relations and photosynthetic pigments in pepper plants induced to water deficit. Research Journal of Biological Sciences 4: 617-623.

Morgan, J. A. (1986) The effects of N nutrition on the water relations and gas exchange characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Physiology 80: 52-58.

Pei, Z. F., Ming, D. F., Liu, D., Wan, G. L., Geng, X. X., Gong, H. J. and Zhou, W. J. (2010) Silicon improves the tolerance to water deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. Journal of Plant Growth Regulation 29: 106-115.

Radin, J. W. and Boyer, J. S. (1982) Control of leaf expansion by nitrogen nutrition in sunflower plants. Plant Physiology 69: 771-775.

Radin, J. W. and Parker, L. (1979) Water relations of cotton plants under nitrogen deficiency. I. Dependence upon leaf structure. Plant Physiology 64: 495-498.

Ritchie, J. T. (1983) Efficient water use in crop production: discussion on the generality of relations between biomass production and evapotranspiration. In Limitations to efficient water use in crop production (eds. Taylor, H. M., Jordan, W. R. and Sinclair, T. R.) Pp. 29-43. ASA Spec. Publ., ASA, CSSSA, and SSSA, Madison

Roohi, E., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-Sanavy, S. A. M. and Siosemardeh, A. 2013. Comparative study on the effect of water stress on photosynthetic function of triticale, bread wheat, and barley. Journal of Agricultural Sciences and Technology 15: 215-228.

SAS. (2004) Statistical Analysis Software. Version 9. Cary (NC): SAS Institute.

Shabani, A., Sepaskhah, A. R. and Kamgar-Haghighi, A. A. (2013) Growth and physiologic response of rapeseed (*Brassica napus* L.) to deficit irrigation, water salinity and planting method. International Journal of Plant Production 7: 569-596.

Shangguan, Z. P., Shao, M. A., Ren, S. J., Zhang, L. M. and Xue, Q. (2004) Effect of nitrogen on root and shoot relations and gas exchange in winter wheat. Botanical Bulletin of Academia Sinica Taipei 45: 49-54.

Shangguan, Z. P., Shao, M. A. and Dyckmans, J. (2000) Nitrogen nutrition and water stress effects on leaf photosynthetic gas exchange and water use efficiency in winter wheat. Environmental and Experimental Botany 44: 141-149.

Sugiharto, B., Miyata, K., Nakamoto, H., Sasakawa, H. and Sugiyama, T. (1990) Regulation of expression of carbon assimilating enzymes by nitrogen in maiz leaf. Plant Physiology 92: 963-969.

Van Herwaarden, A. F., Farquhar, G. D., Angus, J. F., Richards, R. A. and Howe, G. N. (1998) 'Haying-off', the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer: I. Biomass, grain yield, and water use. Australian Journal of Agricultural Research 49: 1067-1082.

Wall, G. W., Garcia, R. L. Wechsung, F. and Kimball, B. A. (2011) Elevated atmospheric CO_2 and drought effects on leaf gas exchange properties of barley. Agriculture Ecosystems & Environment 144: 390-404.

Yin, L. N., Wang, S. W., Liu, P., Wang, W. H., Cao, D., Deng, X. P. and Zhang, S. Q. (2014) Silicon-mediated changes in polyamine and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid are involved in silicon-induced drought resistance in *Sorghum bicolor* L. Plant Physiology and Biochemistry 80: 268-277.

Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F. (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 11-16.

Zhang, B., Li, F. M., Huang, G., Cheng, Z. Y. and Zhang, Y. (2006) Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. Agricultural Water Management 79: 28-42.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]

Photosynthetic traits of triticale in grain filling period as affected by nitrogen fertilizer, silicon foliar application and water stress

Vahid Barati * and Ehsan Bijanzadeh

Agroecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Iran

(Received: 04/04/2022, Accepted: 22/11/2022)

Abstract

In order to investigate the interaction effect of nitrogen (N) and silicon foliar application on photosynthetic traits of triticale under water stress conditions, a split factorial experiment in a randomized complete block design with three replicates was conducted at the Experimental Farm of College of Agriculture and Natural Resources of Darab – Shiraz University in 2017-2018 growing season. Treatments included: two levels of irrigation as the main plots [normal irrigation; irrigation based on the plant's water requirement up to the physiological maturity (IR_N) and water deficit (water stress); irrigation based on the plant's water requirement up to the anthesis stage (withholding irrigation after anthesis) (IR_{DI})]. Also, sub plots included two levels of silicon foliar application [0, and 3 mM] and three N fertilizer levels [N_0, no nitrogen fertilizer (control); N_{100}, 100 kg N ha^{-1}; N_{150}, 150 kg N ha^{-1}]. The results showed that the IR_{DI} reduced the photosynthesis at the milking and soft dough stages, however, this reduction was not constant in different N levels and the highest reduction was occurred in 150 kg N ha^{-1} (44% and 55% reduction in the milking and soft dough stages, respectively). A similar trend was observed in the grain yield. Silicon foliar application caused the reduction of distractive effects of water stress on photosynthesis and related traits (stomatal conductance and instantaneous water use efficiency), independent of N fertilizer supply. Totally, application of 150 and 100 kg N ha^{-1} is recommended for high photosynthesis rate of triticale in normal and water deficit, respectively. Furthermore, silicon foliar application (3 mM) is suggested for deminishing the hurmful effects of the severe water stress after anthesis on photosynthesis and its related traits in South of Iran.

Keywords: Photosynthesis, Stomatal conductance, Water use efficiency

Corresponding author, Email: v.barati@shirazu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.10.8]