بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی روی و منگنز بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

سید مسعود ضیائی*

گروه تولیدات گیاهی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران.

*نویسنده مسئول: ziaeimasoud@yahoo.com

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۴

چکیده

محاسبه کارایی مصرف آب و استفاده از ریز مغذی‌ها در مناطق خشک می‌تواند به صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی کمک کند. تحقیق حاضر با هدف بررسی سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی با سولفات روی و منگنز به‌صورت اسپلیت ـ پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (۵۰ ، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A - به‌ترتیب معادل تنش خفیف، ملایم و شدید) به‌عنوان کرت‌های اصلی و سه سطح محلول‌پاشی با سولفات روی (سه در هزار)، سولفات منگنز (سه در هزار) و عدم محلول‌پاشی به‌عنوان کرت‌های فرعی بودند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان نشت الکترولیت‌ها در تیمار ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت و عدم محلول‌پاشی و بیشترین میزان RWC در تیمار آبیاری ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت، در شرایط محلول‌پاشی روی و منگنز مشاهده شد و با افزایش میزان تبخیر تشت، از ۵۰ به ۱۱۰ میلی‌متر، RWC و تعداد دانه در بوته به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. بیشترین عملکردهای بیوماس و دانه در تیمار ۵۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده گردید. علاوه بر این، محلول‌پاشی با سولفات روی سبب افزایش معنی‌دار و ۲۱/۲ و ۲۵/۹ درصدی عملکردهای بیوماس و دانه نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی شد. تیمار ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر نسبت به تیمار آبیاری بر اساس ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، به‌ترتیب۶۰ و ۱۹/۵ درصد از کارایی مصرف آب بیوماس و دانه بالاتری برخوردار بود. همچنین بالاترین کارایی مصرف آب بیوماس و دانه در تیمار سولفات روی مشاهده شد. به‌طور کلی انجام آبیاری ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت برای گیاه کینوا در شرایط آب و هوایی سراوان قابل توصیه بوده و به نظر می‌رسد که می‌توان از محلول‌پاشی با سولفات روی به عنوان یک راهکار زراعی در افزایش عملکرد این گیاه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: سولفات روی، کارایی مصرف آب و نشت الکترولیت‌ها.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

مقدمه

دسترسی مداوم به آب آبیاری، یک عامل کلیدی مهم جهت حفظ و ثبات تولید در کشاورزی محسوب می‌شود. با این وجود، ایران کشوری با ماهیت خشک بوده و تامین آب، یکی از مهمترین عوامل محدودکنندۀ تولید در بخش کشاورزی است. این در حالی است که حدود ۹۳ درصد از آب استحصال شده از منابع آب سطحی و زیرزمینی، در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۸). از این رو، انجام اقداماتی همچون استفاده از گیاهان زراعی مقاوم به خشکی و یا دارای نیاز آبی کمتر، بایستی در دستور کار متخصصین بخش کشاورزی قرار گیرد. کینوا[1] گیاهی است که به دلیل توانایی رشد در شرایط تنش مورد توجه جهانی قرار گرفته است (Bhargava *et al*., 2006). کینوا نیاز آبی کمی دارد لذا می‌تواند در محیط های نا مناسب رشد مناسبی داشته باشد. این گیاه منبع غنی از طیف گسترده‌ای از مواد معدنی، ویتامین‌ها، پروتئین و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی است (Repo-Carrasco *et al*., 2003). مدیریت تغذیه یکی از مسائل مهم در تولید محصولات زراعی محسوب می‌شود. این در حالی است که در اکثر خاک‌های ایران، کمبود عناصر ریز مغذی یکی از عوامل کاهش دهنده رشد و عملکرد در گیاهان زراعی به شمار می‌رود. از این رو، یکی از اهداف مصرف عناصر ریز مغذی، ارتقاء خصوصیات کمی و کیفی محصولات کشاورزی است (خلیل‌وند و همکاران، ۱۳۹۸؛ ملکوتی و تهرانی، ۱۳۷۹). یکی از این عناصر، عنصر روی (Zn) است که در فرآیندهای حیاتی گیاهان از جمله سنتز اکسین‌ها، فعالیت آنزیم‌ها، متابولیسم پروتئین و تقسیمات سلولی نقش داشته و از طریق تاثیری که بر فرآیند فتوسنتز و تولید قند دارد، عنصر ضروری در متابولیسم کربوهیدرات‌ها محسوب می‌شود (Alloway, 2004). محققین کلروفیل برگ را یک عامل مهم در تعیین میزان فتوسنتز و تولید ماده خشک معرفی کردند و مشخص شده است که فراهمی عنصر روی، می‌تواند محتوی کلروفیل برگ را افزایش دهد (کافی و همکاران، ۱۳۸۹؛ Garg and Singla, 2009). عنصر روی در سنتز پروتئین‌ها، ساختار کروماتین و متابولیسم DNA و RNA و بیان ژن‌ها نقش داشته و کمبود آن سبب تخریب RNA، کاهش فعالیت RNA پلیمراز، تغییر شکل و کاهش تعداد ریبوزوم‌ها می‌شود (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Hopkins, 2004). دست-یافته‌های علمی بازگوکننده این مطلب‌اند که یکی از آنتی‌اکسیدانت‌های مهم که در زمان بروز تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی، سبب محافظت اندامک‌های درون سلولی از حملات گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)[2] می‌شود، آنزیم سوپراکسید دسموتاز (SOD)[3] است. مشخص شده است که عنصر روی برای برخی از انواع آنزیم سوپر اکسید دسموتاز به عنوان کوفاکتور عمل کرده و فراهمی آن می‌تواند در بهبود فعالیت این آنزیم و ممانعت از بروز خسارات تنش اکسیداتیو

1- *Chenopodium quinoa* Willd.
2- Reactive Oxygen Species
3- Superoxide Dismutase

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

موثر باشد (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Alscher *et al*., 2002). یکی دیگر از عناصر موثر در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه، منگنز است. این ماده در متابولیسم ایزوپروپانوئیدها، کلروفیل‌ها ، کاروتنوئیدها و ترکیبات فنلی نقش عمده‌ای داشته و جذب آن باعث افزایش توان فتوسنتزی گیاه و عملکرد می‌شود (Sebastian and Prasad, 2015). منگنز در قسمت پروتئینی آنزیم‌هایی مانند دکربوکسیلاسیون مالات دهیدروژناز، ایزوسیترات دهیدروژناز و نیترات ردوکتاز ایفای نقش می‌کند. منگنز نیز مشابه روی، برای آنزیم سوپر اکسید دسموتاز به عنوان کوفاکتور عمل کرده و در ساختمان پروتئین ۳۳ کیلو دالتونی مجموعه تجزیه کننده آب در PSII نقش دارد (Mousavi *et al*., 2011). زاهدی و علیپور (۱۳۹۷) گزارش کردند که کاربرد منگنز در زراعت گیاه جو تحت اعمال تنش خشکی، سبب تخفیف کاهش اثرات نامطلوب تنش بر روی جو گردید. خاک‌هایی با اسیدیته بالا سبب تثبیت منگنز و روی را می‌شوند. از طرف دیگر، کمبود منگنز و روی در گیاهان با رطوبت کم خاک مرتبط است. بنابراین انجام محلول‌پاشی ممکن است برای جبران کمبود این عناصر در شرایط تنش رطوبتی مفید باشد (فتحی، ۱۳۹۴). با توجه به موارد ذکر شده این آزمایش با هدف بررسی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک، عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه کینوا تحت شرایط فواصل مختلف آبیاری و محلول‌پاشی با سولفات روی و منگنز در شرایط آب و هوایی سراوان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر بصورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در اسفند ۱۳۹۷ و بهار ۱۳۹۸در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی سراوان (با عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۲ درجه و ۲۰ درجه شرقی و ارتفاع ۱۱۹۵ متر از سطح دریا و و بارندگی سالیانه حدود ۱۰۰ میلی متر در سال) اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل سه دور آبیاری بر اساس تبخیر (میلی‌متر) از تشت تبخیر کلاس A به عنوان کرت اصلی (۵۰: تنش خفیف، ۸۰: تنش ملایم و ۱۱۰: تنش شدید) و محلول‌پاشی در سه سطح بصورت محلول‌پاشی با سولفات روی (سه در هزار)، محلول‌پاشی با سولفات منگنز (سه در هزار) و عدم محلول‌پاشی (شاهد) به عنوان کرت فرعی بودند. انجام محلول‌پاشی در اوایل گلدهی صورت گرفت. کشت کینوا بصورت خشکه‌کاری و در تاریخ ۱۷ اسفند ۱۳۹۷ صورت گرفت و بذر مورد استفاده رقم Titicaca تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان بود. طول هر کرت سه متر و فاصله ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتیمتر و تعداد آن‌ها در هر کرت، شش عدد و تراکم بوته ۲۰۰۰۰۰ بوته در هکتار بود و جهت جلوگیری از اختلاط تیمارهای آبیاری دو متر فاصله بین تیمارهای آبیاری ایجاد شد. آبیاری اول بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری دوم بعد از سبز شدن حدود ۵۰ درصد بوته‌ها صورت گرفت و سپس تیمارهای آبیاری در مرحله چهار برگی و بر اساس تبخیر از تشت کلاس A تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک اعمال شدند. با توجه به مساحت هر کرت حجم آب آبیاری

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

محاسبه و با استفاده از کنتور حجمی اعمال شد (سلامتی و دانایی، ۱۳۹۹). بدین ترتیب که جهت تعیین مقدار آب مصرفی، در هر مرتبه آبیاری، ابتدا از خاک مزرعه نمونه‌برداری و مقدار رطوبت آن، در حالت FC محاسبه گردید. سپس وضعیت رطوبت فعلی خاک به روش وزنی اندازه‌گیری شد. در ادامه با استفاده از رابطه ۱ عمق آب آبیاری محاسبه گردید:

رابطه ۱: $$I = (W_1 - W_2)/100 * D * Pb$$

در این رابطه I ارتفاع آب آبیاری برحسب سانتیمتر، W_1 مقدار رطوبت خاک در وضعیت FC بر حسب درصد، W_2 مقدار رطوبت فعلی خاک برحسب درصد، D عمق ریشه برحسب سانتیمتر و Pb وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتیمتر مکعب هستند. بر این اساس، برای هر یک از تیمارهای ۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، به ترتیب ۴۵۴۰، ۳۴۹۰ و ۱۹۰۸ متر مکعب برآورد گردید (ارشدی، ۱۳۹۵). مبارزه با علف‌های هرز بصورت وجین دستی و در مراحل شاخه‌دهی و گلدهی صورت گرفت. در مرحله ۵۰ درصد گلدهی معیاری از کلروفیل برگ با دستگاه کلروفیل‌متر SPAD 502-Minolta از طریق اندازه‌گیری کلروفیل بالاترین برگ توسعه یافته، تخمین زده شد. علاوه بر این در اواسط گلدهی محتوی نسبی آب برگ (RWC[1]) با استفاده از جداسازی یک برگ جوان کاملاً توسعه یافته از بالای بوته و اندازه-گیری وزن تر آن و قرار دادن آن در آب به مدت ۲۴ ساعت (شرایط تاریکی و دمای چهار درجه سانتیگراد) و تعیین وزن اشباع و سپس وزن خشک آن (در دمای ۷۵ درجهٔ سانتیگراد آون به مدت ۲۴ ساعت) و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Ritchie and Neguyen, 1990):

رابطه ۲: $$RWC = (FW - DW) \div (TW - DW) \times 100$$

در همان زمان، جهت اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها یک برگ جوان کاملاً توسعه یافته از هر کرت بطور تصادفی انتخاب شد و در داخل ظروف شیشه‌ای که با ۲۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده پر شده بود، قرار گرفت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. سپس نشت اولیه آن با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری گردید (EC_1). به منظـور اندازه‌گیری میزان نشت کل الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو (با فشار ۱/۲ بار و دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد) قرار داده شدند. پس از آن، نمونه‌ها مجدداً به محیط آزمایشگاه منتقل شده و بعد از ۲۴

1- Relative Water Content

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

ساعت، نشت نهایی آن‌ها (EC_2) اندازه‌گیری گردید. در نهایت درصد نشت الکترولیت‌ها با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (Blum *et al*., 2001):

رابطه ۳:
$$EL\% = \frac{EC1}{EC2} \times 100$$

برداشت محصول بصورت دستی و در تاریخ دوم تیرماه ۱۳۹۸ در مرحله رسیدگی کامل صورت گرفت. در انتهای دوره رشد، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت برداشت شد و پس از انتقال آنها به آزمایشگاه تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه اندازه-گیری گردید. در نیمه پایینی هر کرت که به ارزیابی عملکرد اختصاص یافته بود، بوته‌ها پس از حذف حاشیه برداشت شده و پس از کوبیدن و جداسازی دانه‌ها، ماده خشک بوته و عملکرد دانه به تفکیک اندازه‌گیری شدند (ارشدی، ۱۳۹۵؛ صمدزاده و همکاران، ۱۳۹۹). از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیوماس و حاصلضرب عدد حاصل در ۱۰۰، شاخص برداشت محاسبه شد. برای محاسبه کارایی‌های مصرف آب دانه و بیوماس از رابطه‌های ۴ و ۵ استفاده گردید (Cook *et al*., 2006):

رابطه ۴: آب مصرف شده (متر مکعب) ÷ عملکرد دانه (کیلوگرم) = کارایی مصرف آب دانه

رابطه ۵: آب مصرف شده (متر مکعب) ÷ عملکرد بیوماس (کیلوگرم) = کارایی مصرف آب بیوماس

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسات میانگین در سطح احتمال پنج درصد، به روش LSD انجام شد. همبستگی بین صفات نیز به روش پیرسون محاسبه گردید.

نتایج و بحث

نشت الکترولیت‌ها

برهم‌کنش آبیاری و محلول‌پاشی بر میزان نشت الکترولیت‌ها معنی‌دار شد (جدول ۱). بدین ترتیب که بیشترین میزان نشت الکترولیت‌ها در تیمار ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت و عدم محلول‌پاشی ملاحظه شد و تنها در این تیمار بود که نشت الکترولیت‌های بیش از ۲۸ درصد مشاهده شد. در سطوح مختلف آبیاری، انجام محلول‌پاشی سبب کاهش میزان نشت الکترولیت‌ها گردید. خصوصاً در شرایط آبیاری ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت، انجام محلول‌پاشی نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی روی و منگنز، به ترتیب باعث کاهش ۹/۵ و ۶/۰ درصدی میزان نشت الکترولیت‌ها شد. با این وجود، کاربرد عناصر روی و منگنز در شرایط آبیاری ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت، نتوانست درصد نشت را به میزان سطوح مشابه در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

شرایط آبیاری‌های ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت برساند (جدول ۲). این موضوع اهمیت انجام آبیاری در ممانعت از نشت الکترولیت‌ها را نشان می‌دهد. هرچند که بر اساس نتایج پژوهش حاضر، محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز بطور معنی‌داری در کاهش میزان نشت الکترولیت‌ها موثر بود. غشاء سلول، از اولین بخش‌های گیاهی است که در شرایط تنش آسیب می‌بیند و با افزایش شدت تنش، از خاصیت نفوذپذیریِ انتخابی آن کاسته می‌شود (Garg and Singla, 2009). بر اساس نتایج پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد که کاربرد عناصر روی و منگنز به دلیل تاثیر بر افزایش فعالیت ترکیبات آنتی-اکسیدانی، سبب درک کمتر شرایط کمبود آب توسط گیاه شده و نهایتاً کاهش میزان نشت الکترولیت‌ها را به دنبال داشته است. حفظ انسجام غشاءهای سلولی، انجام تنظیم اسمزی، کاهش نشت الکترولیت‌ها، پاکسازی ROSها، توسعه ریشه‌ها جهت افزایش قابل دسترس و جلوگیری از ریزش برگ‌ها از جمله مکانیسم‌های مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی هستند (El Sabagh *et al*., 2019). بکارگیری این مکانیسم‌ها نیازمند تجمع اسمولیت‌های ضروری در مناطق حساس سلولی جهت ممانعت از بروز اثرات مخرب تنش خشکی می‌باشد (Kapoor *et al*., 2020). شکل‌گیری و حضور این اسمولیت‌ها و ترکیبات بیوشیمیایی نیز مستلزم فراهمی عناصر لازم جهت بیوسنتز آنها می‌باشد. به نظر می‌رسد که کاربرد عناصر روی و منگنز می‌تواند در سنتز این ترکیبات موثر بوده و در کاهش اثرات مخرب تنش خشکی، همچون نشت الکترولیت‌ها تاثیرگذار باشد. Rashtbari و همکاران (۲۰۱۲) نیز در تحقیقات خود عنوان کردند که وقوع تنش رطوبتی (عدم آبیاری از مرحله گلدهی) در ارقام کلزا باعث افزایش معنی‌دار نشت الکترولیت‌ها در مقایسه با تیمار شاهد گردید.

RWC

برهم‌کنش آبیاری و محلول‌پاشی بر میزان RWC معنی‌دار شد (جدول ۱)، بطوری که بیشترین میزان RWC در تیمار آبیاری ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت، تحت محلول‌پاشی با عناصر روی و منگنز مشاهده شد و تنها در این دو تیمار بود که RWC بیش از ۸۵ درصد ملاحظه گردید. در شرایط آبیاری ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر نیز دو تیمار محلول‌پاشی با عناصر روی و منگنز در یک کلاس آماری قرار گرفتند. در هر یک از سطوح تیمار آبیاری، محلول‌پاشی با عناصر روی و منگنز نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی در همان شرایط آبیاری، سبب افزایش معنی‌دار RWC گردید. با این وجود با افزایش میزان تبخیر از تشت، از ۵۰ به ۱۱۰ میلی‌متر، میزان RWC بطور معنی‌دار و قابل توجهی کاهش یافت، بطوری که در شرایط آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت و عدم محلول‌پاشی، میزان RWC به کمتر از ۶۷ درصد رسید (جدول ۲). این نتایج با گزارشات شهیم‌گرمی و همکاران (۱۴۰۰) مبنی بر تاثیر تنش خشکی بر کاهش میزان RWC مطابقت دارد. تحقیقات نشان داده‌اند که تجمع برخی از املاح و عناصر در سیتوسول سلول‌های برگ می‌تواند باعث منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سلول‌ها شده و از خروج آب از سلول‌ها جلوگیری کند (Chimenti *et al*., 2006). پژوهشگران

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

گزارش کردند که در طول مراحل اولیه تنش، علی‌رغم کاهش RWC، حجم استرومای کلروپلاست ثابت می‌ماند و در نتیجه ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست، در طول کاهش اولیه پتانسیل آب و محتوی آب نسبی برگ تا حدی حفظ می‌شود، اما تداوم شرایط تنش خشکی می‌تواند به کاهش ظرفیت فتوسنتزی منجر شود (Flexas *et al*., 2008; Bastam *et al*., 2015). لذا چناچه بتوان با کاربرد عناصری مانند روی و منگنز، در منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سیتوسول و انجام تنظیم اسمزی در سلول‌های برگ تاثیرگذار بود، می‌توان تا حدی از کاهش RWC جلوگیری کرد. Kashif Naeem و همکاران (۲۰۱۵) با ارزیابی پاسخ‌های فیزیولوژیکی گندم تحت شرایط تنش خشکی، وجود همبستگی بالا بین عملکرد دانه و محتوی نسبی آب برگ را گزارش کرده و اظهار داشتند که هرچه گیاه بتواند در شرایط تنش، محتوی نسبی آب برگ را در حد بالاتری نگه دارد، در مقابله با تنش موفق‌تر خواهد بود.

SPAD

برهم‌کنش آبیاری و محلول‌پاشی بر میزان SPAD معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین میزان SPAD در تیمار آبیاری ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت و محلول‌پاشی با سولفات روی ملاحظه گردید. پس از این تیمار، تیمار آبیاری ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت و محلول‌پاشی با سولفات منگنز در رتبه بعدی قرار گرفت. بطور کلی روند تغییرات عدد SPAD در تمام تیمارهای محلول پاشی از ۵۰ به ۸۰ میلی‌متر تبخیر، افزایش و سپس در تیمار ۱۱۰ میلی متر تبخیر از تشت کاهش یافت (جدول ۲). ظاهراً دلیل این امر افزایش تجمع کلروفیل در برگ‌های گیاهان تحت تیمار میانی تنش (۸۰ میلی‌متر تبخیر) و از طرفی تخریب ساختار کلروفیل برگ در شرایط تنش شدید (۱۱۰ میلی‌متر تبخیر) می‌باشد. علاوه بر این، در سطوح مختلف تیمارهای آبیاری، گیاهان محلول‌پاشی شده با سولفات روی نسبت به گیاهان محلول‌پاشی شده با سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی از شاخص کلروفیل بالاتری برخوردار بودند که احتمالاً ناشی از اثربخشی بیشتر روی در تنظیم فعالیت-های ضد تنش گیاه و ساختار کلروفیل است. مرادی تلاوت و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر محتوی عناصر معدنی، عملکرد دانه و روغن دو رقم گلرنگ، افزایش عدد کلروفیل‌متر را تحت تاثیر محلول‌پاشی سولفات روی عنوان کردند. البته افزایش، کاهش و یا عدم تغییر میزان کلروفیل برگ تحت شرایط خشکی با توجه به نوع محصول، مرحله رشد، طول دوره تنش و شدت تنش خشکی متفاوت بوده و به همین دلیل گزارش‌های موجود در مورد تأثیر خشکی بر میزان کلروفیل برگ (و به دنبال آن، عدد کلروفیل‌متر) بسیار متفاوت است (ارشدی، ۱۳۹۵). نتایج آزمایشات و مطالعات انجام شده بر روی گیاه گندم و ذرت نشان داده است که با افزایش شدت تنش خشکی عدد SPAD افزایش می‌یابد که این امر احتمالاً می‌تواند به دلیل جذب بیشتر عنصر نیتروژن در گیاه نسبت به تجمع زیست‌توده می‌باشد (Bredemeier, 2005).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

تعداد دانه در گیاه

برهم‌کنش آبیاری و محلول‌پاشی بر تعداد دانه در بوته کینوا معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین تعداد دانه در بوته به میزان ۷۱۰ عدد در تیمار ۵۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی با سولفات روی مشاهده گردید و پس از این تیمار، تیمار آبیاری ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت و محلول‌پاشی با سولفات منگنز در رتبه بعدی قرار گرفت. با افزایش شدت تنش از ۵۰ به ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، تعداد دانه در بوته بطور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین در هر یک از سطوح آبیاری، تعداد دانه در بوته تحت شرایط محلول‌پاشی با سولفات روی و منگنز نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی بطور معنی‌داری بیشتر بود. بر همین اساس، کمترین تعداد دانه در بوته در تیمار ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر و عدم محلول‌پاشی مشاهده شد، بطوری که در این تیمار، تعداد دانه در بوته حتی به ۱۸۰ عدد هم نرسید (جدول ۲). به نظر می رسد که افزایش تعداد دانه در اثر مصرف روی و منگنز به دلیل افزایش مواد ذخیره شده و کاهش محدودیت منبع می‌باشد که موجب سرازیر شدن مواد پرورده به سمت پریموردیای دانه‌ها و شکل‌گیری تعداد بیشتر دانه می‌گردد. سایر محققین نیز اثر مثبت کاربرد عنصر روی را بر افزایش تعداد دانه در گیاه گزارش کرده‌اند.. به نظر می‌رسد که این افزایش در تعداد دانه به مربوط به تأثیر عنصر روی بر سنتز هورمون ایندول استیک اسید باشد (Yilmaz *et al*., 1997). ضمن آنکه تولید بیشتر کلروفیل و IAA می‌تواند باعث تأخیر در پیری و فرسودگی گیاه شده و طول دوره فتوسنتز را افزایش دهد (Rajaie and Ziaeyan, 2009).

وزن هزار دانه

اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه کینوا معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین وزن هزار دانه در تیمارهای آبیاری در ۵۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی با سولفات روی و منگنز مشاهده شد که نسبت به تیمار ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر و عدم محلول‌پاشی ۲۸ درصد بیشتر بود. در شرایط تنش ملایم (۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت) نیز اختلاف معنی‌داری بین سطوح سولفات روی و منگنز در وزن هزار دانه مشاهده نشد، با این حال این دو تیمار نسبت به عدم محلول‌پاشی حدود ۱۸ درصد از وزن هزار دانه بیشتری برخوردار بودند، اما در شرایط تنش شدید، کاربرد سولفات روی نسبت به سولفات منگنز برتری داشت و هر دوی آن‌ها نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی برتری معنی‌داری داشتند (جدول ۲). به نظر می رسد که افزایش وزن هزار دانه در اثر مصرف روی به دلیل افزایش مواد ذخیره شده و کاهش محدودیت منبع بوده که موجب سرازیر شدن مواد پرورده به سمت دانه شده است. در تحقیقی نیز اثر مثبت کاربرد عنصر روی بر افزایش وزن هزار دانه گزارش شد که این افزایش احتمالا مربوط به تأثیر عنصر روی بر هورمون ایندول استیک اسید می‌باشد (Yilmaz *et al*., 1997)، زیرا تولید بیشتر کلروفیل و IAA می‌تواند باعث تأخیر در پیری و فرسودگی گیاه شده و طول دوره فتوسنتز را افزایش دهد که سبب افزایش تولید کربوهیدرات و انتقال آن به دانه‌ها و افزایش عملکرد می‌گردد (Rajaie and Ziaeyan, 2009).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

عملکرد بیوماس

اثر دور آبیاری بر عملکرد بیوماس کینوا معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین عملکرد بیوماس در تیمار ۵۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد. این تیمار نسبت به تیمار آبیاری بر اساس ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، ۶۰ درصد از عملکرد بیوماس بالاتر برخوردار بود. همچنین در شرایط تنش خفیف نسبت به تنش ملایم، عملکرد بیوماس حدود ۱۸ درصد بالاتر بود (جدول ۳). چنین به‌نظر می‌رسد که تنش خشکی بواسطه اثراتی همچون کاهش محتوی آب سلول‌ها، افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها و کاهش میزان کلروفیل برگ‌ها سبب کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و به دنبال آن، کاهش تولید ماده خشک شده و نهایتاً ماده خشک گیاه را کاهش داده است (فریزنی و همکاران، ۱۴۰۰). ارشدی (۱۳۹۵) نیز کاهش عملکرد بیوماس نخود را تحت شرایط تنش‌های ملایم و شدید، نسبت به شرایط عدم تنش گزارش کرد. در تحقیقی دیگر، صالح بغدادی و همکاران (۱۴۰۰) کاهش بیوماس دو گیاه سورگوم و آمارانت را طی کاهش حجم آب مصرفی از روش آبیاری جویچه‌ای معمول به روش آبیاری جویچه‌ای یک درمیان گزارش کردند. علاوه بر این، در تحقیق حاضر، اثر محلول‌پاشی بر عملکرد بیوماس کینوا معنی‌دار گردید (جدول ۱)، بطوری که بیشترین عملکرد بیوماس در تیمار سولفات روی مشاهده شد که نسبت به سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی به ترتیب ۸ و ۲۲ درصد بیشتر بود (جدول ۴). اعمال عناصر ریز مغذی مانند روی و منگنز از طریق محلول‌پاشی، بواسطه جذب سریع آن‌ها توسط گیاه و افزایش توان فتوسنتزی برگ‌ها می‌تواند سبب افزایش عملکرد بیوماس گردد (ملکوتی و تهرانی، ۱۳۷۹؛ AL-Jobori and AL-Hadithy, 2008).

عملکرد دانه

اثر دور آبیاری بر عملکرد دانه کینوا معنی‌دار شد (جدول ۱). بطوری که بیشترین عملکرد دانه در تیمار ۵۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده گردید (جدول ۳). با افزایش شدت تنش از ۵۰ به ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، عملکرد دانه بطور معنی‌داری کاهش یافت. به گونه‌ای که عملکرد دانه در تیمار تنش خفیف نسبت به تنش ملایم حدود ۲۴ درصد و نسبت به تنش شدید حدود ۶۶ درصد بیشتر بود. این نتایج نشان می‌دهند که عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیوماس ، بیشتر تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفته که این موضوع با نتایج محققین دیگر مطابقت دارد (Shinde and Laware, 2010). با توجه به برتری معنی‌دار تیمار تنش خفیف نسبت به دو تیمار دیگر در صفت تعداد دانه در گیاه، برتری این تیمار در عملکرد دانه منطقی بوده و به نظر می‌رسد که تعداد دانه در گیاه، یکی از اجزای تعیین کنندهٔ عملکرد دانه در کینوا بوده و افزایش آن می‌تواند افزایش عملکرد دانه را به دنبال داشته باشد. از طرف دیگر، با توجه به اینکه رشد سلول‌ها وابستگی زیادی به فراهمی آب و حفظ آماس سلولی داشته و کاهش فشار تورژسانس سبب کاهش سرعت رشد و نمو سلول‌ها می‌شود (Khalid *et al*., 2019)، برتری عملکرد دانه در تیمار تنش خفیف نسبت به سطوح تنش ملایم و شدید و همچنین برتری

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

عملکرد دانه در تیمار تنش ملایم نسبت به تنش شدید قابل توجیح می‌باشد. بابازاده و همکاران (۱۳۹۶) نیز در بررسی اثر مقادیر مختلف آب و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد بادام‌زمینی، کاهش معنی‌دار عملکرد دانه را طی کاهش مقادیر فراهمی آب گزارش کردند. آن‌ها این موضوع را به کاهش توان فتوسنتزی برگ‌ها و کاهش حرکت مواد ذخیره‌ای به سمت دانه‌ها نسبت دادند. همچنین اثر محلول‌پاشی بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی مشاهده شد که نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی ۲۶ درصد از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بود. علاوه بر این، محلول‌پاشی با سولفات روی نسبت به سولفات منگنز عملکرد دانه را حدود ۱۳ درصد افزایش داد. محلول‌پاشی با سولفات منگنز نیز نسبت به عدم محلول‌پاشی سبب بهبود ۱۶ درصدی عملکرد دانه گردید (جدول ۴). گزارشات علمی حاکی از آن است که عنصر روی بواسطه تاثیر بر سنتز هورمون اسید ایندول استیک، باعث افزایش شکل-گیری اندام‌های جنسی نر و ماده در گیاه شده و بواسطه افزایش فعالیت آنزیمی، سبب افزایش فتوسنتز گیاه می‌شود (Brown *et al*., 1993). عنصر منگنز نیز بواسطه تاثیر بر شکستن مولکول آب و تامین الکترون جایگزین در فرایند فتوسنتز، روی فتوسنتز گیاهان تاثیر مثبت گذاشته و فراهمی آن می‌تواند ظرفیت فتوسنتزی گیاه را افزایش دهد (Romheld and Marschner, 1991). از این رو، افزایش عملکرد دانه به دلیل نقش‌های این دو عنصر در افزایش توان فتوسنتز گیاه نسبت به تیمار شاهد منطقی به نظر می‌رسد.

شاخص برداشت

اثر دور آبیاری بر شاخص برداشت کینوا معنی‌دار بود (جدول۱). بیشترین شاخص برداشت در تیمار ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A حاصل شد (جدول ۳). با افزایش شدت خشکی از شاخص برداشت بطور معنی‌داری کاسته شد. بطوری که در تیمار تنش خفیف نسبت به تنش ملایم و شدید شاخص برداشت به ترتیب ۹/۴ و ۱۵/۵ درصد کاهش یافت. در همین راستا، پاینده و درودگر (۱۳۹۸) گزارش کردند که در گیاه ذرت با افزایش فواصل آبیاری، از میزان عملکرد بیوماس، عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری کاسته شد که این نتیجه با یافته‌های این آزمایش همخوانی دارد. در تحقیقی دیگر، ساجدی و همکاران (۱۳۸۸) کاهش شاخص برداشت ذرت دانه‌ای را طی افزایش شدت تنش گزارش کرده و عنوان کردند که کاهش شاخص برداشت تحت شرایط افزایش شدت تنش، کاملاً با اُفت عملکرد دانه مرتبط است. اثر محلول‌پاشی بر شاخص برداشت نیز معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین شاخص برداشت در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی مشاهده شد. به عبارت دیگر، تیمار سولفات روی نسبت به سولفات منگنز و عدم محلول پاشی به ترتیب شش و چهار درصد سبب افزایش شاخص برداشت گردید. اما بین محلول‌پاشی با سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی در شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و این دو تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

کارایی مصرف آب بیوماس

اثر دور آبیاری بر کارایی مصرف آب بیوماس کینوا معنی‌دار شد (جدول ۱). بالاترین کارایی مصرف آب بیوماس در تیمار ۵۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد. این تیمار نسبت به تیمار آبیاری بر اساس ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، ۶۰ درصد از کارایی مصرف آب بیوماس بالاتری برخوردار بود. همچنین در شرایط تنش خفیف نسبت به تنش ملایم، کارایی مصرف آب بیوماس حدود ۱۷ درصد بالاتر بود (جدول ۳). چنین به نظر می‌رسد که تنش خشکی بواسطه کاهش محتوی آب سلول‌ها، ظرفیت فتوسنتزی گیاه را به شدت کاهش داده و این امر، کاهش کارایی مصرف آب بیوماس را به همراه داشته است. تحت مدیریت آبیاری و انجام آبیاری تکمیلی (۳۳ درصد آبیاری کامل) نسبت به انجام آبیاری کامل در زراعت گندم، کارایی مصرف آب، حدود سه برابر بیشتر بود (Oweis, 1997). در تحقیق حاضر، اثر محلول‌پاشی بر کارایی مصرف آب بیوماس کینوا معنی‌دار گردید (جدول ۱). بطوری که بالاترین کارایی مصرف آب بیوماس در تیمار سولفات روی مشاهده شد که نسبت به سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی به ترتیب ۸ و ۲۲ درصد بیشتر بود (جدول ۴).

کارایی مصرف آب دانه

اثر دور آبیاری بر کارایی مصرف آب دانه کینوا معنی‌دار شد (جدول ۱). بدین ترتیب که بالاترین کارایی مصرف آب دانه در تیمار ۵۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد؛ با این وجود، این تیمار با تیمار آبیاری بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر، در یک گروه آماری قرار گرفت. به عبارت دیگر، در شرایط تنش خفیف و ملایم، نسبت به تنش شدید کارایی مصرف آب دانه، بطور معنی‌داری و به ترتیب به میزان ۱۹/۵ و ۱۸/۶ درصد بالاتر بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که تنش خشکی ظرفیت فتوسنتزی گیاه را به شدت کاهش داده و این امر، سبب کاهش کارایی مصرف آب دانه شده است. محققین دیگر نیز اظهار داشته‌اند که بیشترین کارایی مصرف آب، در شرایط آبیاری مطلوب بدست می‌آید (Amiri *et al*., 2015). در تحقیقی دیگر، پژوهشگران طی بررسی اثرات دورهای آبیاری ۶، ۱۲ و ۱۸ روزه بر کارایی مصرف گیاه بادام‌زمینی گزارش کردند که بالاترین کارایی مصرف آب، در شرایط آبیاری با مدار ۶ روز مشاهده شد (عبدزاد گوهری و امیری، ۱۳۹۷). علاوه بر این، در تحقیق حاضر، اثر محلول‌پاشی بر کارایی مصرف آب دانه کینوا معنی‌دار گردید (جدول ۱). بطوری که بالاترین کارایی مصرف آب دانه در تیمار سولفات روی مشاهده شد که نسبت به سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی بطور معنی‌داری و به ترتیب ۱۱/۹ و ۲۶/۷ درصد بیشتر بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که کاربرد عنصر روی (در درجه اول) و منگنز (در درجه دوم) بواسطهٔ داشتن اثرات مثبت بر افزایش توان فتوسنتزی گیاه، در افزایش کارایی مصرف آب دانه برای کینوا موثر بوده و کاربرد آن‌ها می‌تواند سبب افزایش قابل توجه کارایی مصرف آب دانه کینوا گردد. البته عدم تاثیرگذاری عناصر کم مصرف مانند روی، آهن، منگنز و مولیبدن بر روی کارایی مصرف آب دانه گیاه گزارش شده است (ساجدی و همکاران، ۱۳۸۸).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

همبستگی بین صفات

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه همبستگی بین صفات مورد مطالعه، صفت عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار بالایی با صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه نشان داد؛ اما همبستگی آن با صفت نشت الکترولیت‌ها منفی و معنی‌دار بود (جدول ۵). این نتیجه در مورد عملکرد بیولوژیک نیز به همین صورت بود. همبستگی نشت الکترولیت‌ها با عملکردهای دانه و بیوماس، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، RWC و SPAD، منفی و معنی‌دار شد (جدول ۵). وجود همبستگی منفی بین نشت الکترولیت‌ها با این صفات، نشان‌دهندهٔ آن است که با افزایش نشت الکترولیت‌ها، مقدار این صفات کاهش می‌یابد. علاوه بر این، وجود همبستگی بالا میان عملکردهای دانه و بیولوژیک با شاخص برداشت، نشان‌دهندهٔ تأثیر معنی‌دار آن‌ها بر روی این شاخص مهم می‌باشد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه کینوا، می‌تواند به‌واسطهٔ ارتقای سطح اجزای عملکرد (مانند تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه) بوده و سبب افزایش عملکرد دانه گردد. بررسی نتایج تجزیه همبستگی انجام‌شده توسط سایر پژوهشگران برای گیاه نخود نشان می‌دهد که صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و تعداد دانه در غلاف رابطه مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشته و دارای بیشترین تأثیرگذاری مثبت بر روی عملکرد دانه هستند (سی و سه مرده، ۱۳۹۳). همچنین وجود همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات عملکرد دانه، وزن صد دانه، شاخص برداشت و ارتفاع بوته در گیاه عدس توسط محققین دیگر گزارش شده است (Karadavut and Kavurmac, 2013).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال تنش‌های ملایم و شدید، نسبت به تنش خفیف سبب افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها، کاهش RWC و کاهش عملکردهای دانه و بیوماس و کارایی‌های مصرف آب شد. این شرایط در مقایسه تنش ملایم با تنش شدید نیز صادق بود. لذا چنین تفسیر می‌گردد که اعمال آبیاری مطلوب برای گیاه کینوا در شرایط آب و هوایی سراوان ضروری است. همچنین در تحقیق حاضر، تحت شرایط فواصل مختلف آبیاری، محلول‌پاشی با سولفات روی و منگنز توانست در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی در گیاه کینوا نسبت به عدم محلول‌پاشی موثر باشد. البته محلول‌پاشی با سولفات روی نسبت به سولفات منگنز، اثربخشی بهتری داشت. از این رو، با توجه به قلیایی بودن خاک اکثر مناطق کشور (از جمله سراوان) و غیر قابل جذب بودن عنصر روی توسط گیاه و اثرات مثبت این عنصر در رابطه با ساز و کارهای دفاعی و فتوسنتزی گیاه، محلول‌پاشی سولفات روی برای گیاه کینوا در شرایط آب و هوایی سراوان توصیه می‌گردد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

جدول ۱: تجزیه واریانس ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در گیاه کینوا

منابع تغییر	درجه آزادی	نشت الکترولیت‌ها	RWC	SPAD	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیوماس	شاخص برداشت	کارایی مصرف آب دانه	کارایی مصرف آب بیوماس
تکرار	۲	۲۴/۱	۱۹/۷	۸/۰۳	۲۷۲	۰/۰۲	۲۴۷۴	۲۸۱۰۳	۰/۴۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱
آبیاری	۲	۳۴۸**	۵۹۶**	۱۳۳۳**	۳۹۱۵۶۲**	۰/۵۱**	۳۷۵۳۸۸۳**	۱۵۶۷۵۰۹۲**	۱۱۰**	۰/۰۲۰**	۰/۷۶۰**
خطای کرت اصلی	۴	۰/۲۲۲	۰/۸۱۵	۷/۲۰	۲۶۰	۰/۰۱	۲۴۷۴	۲۸۱۰۳	۰/۴۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱
محلول‌پاشی	۲	۱۴/۳۳**	۵۵/۲۶**	۲۸۲^{ns}	۳۶۴۳۶**	۰/۴۲**	۳۶۱۳۹۷**	۱۲۶۸۱۹۲**	۱۷/۶**	۰/۰۳۳**	۰/۰۶۱**
آبیاری× محلول‌پاشی	۴	۱/۱۱*	۲/۸۷**	۲۸/۴**	۲۳۱۴**	۰/۰۴**	۱۸۹۹۷^{ns}	۳۸۸۵۹^{ns}	۰/۶۵^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}
خطای کرت فرعی	۱۲	۰/۲۴۱	۰/۴۴۴	۱/۹۸	۳۵۳	۰/۰۸	۳۱۳۳	۱۲۹۵۳	۰/۶۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶
ضریب تغییرات (٪)	–	۲/۳۸	۰/۹۰	۳/۴۷	۴/۲۸	۱۱/۹۱	۴/۱۶	۳/۶۰	۱/۸۸	۲/۵۳	۳/۵۱

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۲: مقایسات میانگین برهمکنش آبیاری و محلول‌پاشی بر صفات نشت الکترولیت‌ها، RWC، SPAD و تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه کینوا

دور آبیاری	محلول‌پاشی	نشت الکترولیت‌ها (٪)	RWC (%)	SPAD	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه (گرم)
۵۰ میلی متر تبخیر از تشت کلاس A	سولفات روی	۱۳/۳ i	۸۵/۶ a	۴۷/۳ c	۷۱۰ a	۲/۷۷ a
	سولفات منگنز	۱۴/۳ h	۸۵/۳ a	۴۳/۰ d	۶۲۹ b	۲/۷۱ a
	عدم محلول‌پاشی	۱۵/۶ g	۸۰/۳ b	۳۸/۳ e	۵۴۰ c	۲/۲۲ c
۸۰ میلی متر تبخیر از تشت کلاس A	سولفات روی	۲۰/۳ e	۷۶/۶ c	۵۸/۶ a	۵۵۰ c	۲/۶۱ b
	سولفات منگنز	۱۹/۳ f	۷۶/۶ c	۵۴/۰ b	۴۷۲ d	۲/۶۱ b
	عدم محلول‌پاشی	۲۲/۳ d	۷۱/۰ d	۴۱/۳ de	۴۰۴ e	۲/۱۵ de
۱۱۰ میلی متر تبخیر از تشت کلاس A	سولفات روی	۲۵/۶ c	۶۹/۶ e	۳۱/۰ f	۲۴۴ f	۲/۲۰ cd
	سولفات منگنز	۲۶/۶ b	۶۷/۶ f	۲۷/۰ g	۲۲۰ f	۲/۱۱ e
	عدم محلول‌پاشی	۲۸/۳ a	۶۶/۰ g	۲۴/۰ g	۱۷۹ g	۲/۰۱ f

میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

جدول ۳: مقایسات میانگین اثر آبیاری بر صفات شاخص برداشت، عملکردهای بیوماس و دانه و کارایی‌های مصرف آب دانه و بیوماس کینوا

دور آبیاری	عملکرد بیوماس (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	کارایی مصرف آب بیوماس (کیلوگرم بر مترمکعب)	کارایی مصرف آب دانه (کیلوگرم بر مترمکعب)
۵۰ میلی متر تبخیر از تشت کلاس A	۴۲۶۱ a	۱۹۲۵ a	۴۵/۱ a	۰/۹۳۹ a	۰/۴۲۴ a
۸۰ میلی متر تبخیر از تشت کلاس A	۳۵۳۳ b	۱۴۶۳ b	۴۱/۳ b	۰/۷۷۸ b	۰/۴۱۹ a
۱۱۰ میلی متر تبخیر از تشت کلاس A	۱۷۰۰ c	۶۵۰ c	۳۸/۱ c	۰/۳۷۴ c	۰/۳۴۱ b

میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.

جدول ۴: مقایسات میانگین اثر محلول‌پاشی بر صفات شاخص برداشت، عملکردهای بیوماس و دانه و کارایی‌های مصرف آب دانه و بیوماس کینوا

محلول‌پاشی	عملکرد بیوماس (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	کارایی مصرف آب بیوماس (کیلوگرم بر مترمکعب)	کارایی مصرف آب دانه (کیلوگرم بر مترمکعب)
سولفات روی	۳۵۰۳ a	۱۵۴۲ a	۴۳/۱ a	۰/۷۷۱ a	۰/۴۵۳ a
سولفات منگنز	۳۲۳۰ b	۱۳۵۴ b	۴۱/۰ b	۰/۷۱۱ b	۰/۳۹۹ b
عدم محلول‌پاشی	۲۷۶۱ c	۱۱۴۲ c	۴۰/۴ b	۰/۶۰۸ c	۰/۳۳۲ c

میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.

جدول ۵: ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در گیاه کینوا

	عملکرد دانه	عملکرد بیوماس	کارایی مصرف آب دانه	کارایی مصرف آب بیوماس	RWC	نشت الکترولیت‌ها	تعداد دانه در گیاه	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	SPAD
عملکرد دانه	۱									
عملکرد بیوماس	۰/۹۹۴**	۱								
کارایی مصرف آب دانه	۰/۷۸۴**	۰/۷۸۳**	۱							
کارایی مصرف آب بیوماس	۰/۹۹۴**	۱/۰**	۰/۷۸۳**	۱						
RWC	۰/۹۴۶**	۰/۹۲۵**	۰/۶۸۷**	۰/۹۲۵**	۱					
نشت الکترولیت‌ها	-۰/۹۳۱**	-۰/۹۲۱**	-۰/۶۳۷**	-۰/۹۲۱**	-۰/۸۹۴**	۱				
تعداد دانه در گیاه	۱/۰**	۰/۹۹۳**	۰/۷۷۹**	۰/۹۹۳**	۰/۹۴۸**	-۰/۹۳۰**	۱			
وزن هزار دانه	۰/۸۶۴**	۰/۸۶۳**	۰/۸۸۱**	۰/۸۶۳**	۰/۸۳۴**	-۰/۷۵۸**	۰/۸۶۵**	۱		
شاخص برداشت	۰/۹۷۳**	۰/۹۷۲**	۰/۶۷۸**	۰/۹۷۲**	۰/۹۰۹**	-۰/۹۲۸**	۰/۹۷۲**	۰/۷۳۲**	۱	
SPAD	۰/۷۵۵**	۰/۷۹۷**	۰/۸۰۵**	۰/۷۹۷**	۰/۵۸۴**	-۰/۶۲۸**	۰/۷۵۲**	۰/۷۹۸**	۰/۷۰۴**	۱

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

منابع

ارشدی، م.ج. ۱۳۹۵. بررسی اثر تلقیح بذور نخود (*Cicer arietinium* L.) با میکوریزای آرباسکولار و شِبه میکوریزای داخلی در پاسخ به تنش خشکی. رسالۀ دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

بابازاده، ح.، عبدزاد گوهری، ع. و خنک، ا. ۱۳۹۶. اثر مقادیر مختلف آب و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد بادام‌زمینی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۱ (۴): ۵۸۴-۵۷۱.

پاینده خ. و دروگر، ن. ۱۳۹۸. بررسی عملکرد کمی و کیفی ذرت (Zea mayz L.) تحت فواصل مختلف آبیاری و اثر تلفیق قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز. ۱۱ (۴۴): ۱۴۴-۱۳۱.

خلیل‌وند، ا.، یارنیا، م. و قاسمی، ع. ۱۳۹۸. اثر محلول‌پاشی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر عملکرد بلال و برخی از آنزیم‌های آنتی اکسیدانی ذرت شیرین (*Zea mays* var saccharata) در شرایط تنش کمبود آب. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز. ۱۱ (۴۴): ۱۱۸-۱۰۵.

دهقانی، ع.، امیرتیموری، س.، و زارع مهرجردی، م.ر. ۱۳۹۸. آثار سیاست‌های افزایش قیمت آب آبیاری و کاهش آب در دسترس بر بهره‌وری آب محصولات کشاورزی (مطالعه موردی: بخش شهداد، شهرستان کرمان). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۶ (۱۳): ۱۶۷۱-۱۶۶۱.

زاهدی، ح. و علیپور، ا. ۱۳۹۷. تاثیر محلول‌پاشی نانوکلات آهن و منگنز روی عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت شرایط تنش کمآبی در مراحل مختلف رشد. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۱ (۴): ۸۶۱-۸۴۷.

ساجدی، ن.ع.، اردکانی، م.ر.، نادری، م.، مدنی، ح. و مشهدی، م. ۱۳۸۸. تأثیر تنش کمبود آب و کاربرد عناصر غذایی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۷ (۲): ۵۰۳-۴۹۳.

سلامتی، ن و دانایی، خ. ۱۳۹۹. ارزیابی شاخص‌های تنش خشکی در کم آبیاری سطحی ارقام جدید کنجد. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۶۷ (۲): ۸۷-۶۹.

سلیمانی، ر.، نورقلیپور، ف. و مشیری، ف. ۱۳۹۴. اثر محلول‌پاشی روی، آهن و منگنز بر عملکرد و محتوای عناصر غذایی دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). مجله علوم زراعی ایران. ۱۹(۱): ۱۲-۱.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

سی و سه مرده، ا. صادقی، ف. کنونی، ح. بهرام‌نژاد، ب. و غلامی، س. ۱۳۹۳. اثر تنش خشکی بر روی خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد دانه و اجزای آن در ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.). مجله علوم زراعی ایران. ۱۶(۲): ۱۰۸-۹۱.

شهیم‌گرمی، ص.، فرح وش، ف.، میرشکاری، ب.، خلیل‌وند، ا. و یارنیا، م. ۱۳۹۸. اثر محلول‌پاشی نانو دی‌اکسید تیتانیوم و اسید آسکوربیک بر وزن بلال و برخی از صفات بیوشیمیایی ذرت شیرین (*Zea mays* var saccharata) در شرایط تنش کمبود آب. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز. ۱۳ (۵۱): ۷۹-۵۹.

صالح بغدادی، ا.، پاک‌نژاد، ف.، گل‌زردی، ف.، هاشمی، م. و نبی ایلکایی، م. ۱۴۰۰. اثر روش های مختلف آبیاری بر تولید پروتئین و کارایی مصرف نیتروژن در نظام های کشت مخلوط سورگوم و آمارانت علوفه‌ای. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز. ۱۳ (۵۱): ۹۷-۱۱۵.

صمدزاده، ع.ر. زمانی، غ.ر. و فلاحی، ح.ر. ۱۳۹۹. امکان سنجی گیاه جدید کینوا در شرایط اقلیمی خراسان جنوبی تحت تاثیر تاریخ و تراکم کاشت. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۳۳ (۱): ۸۲-۱۰۴.

عبدزاد گوهری، ع. و امیری، ه. ۱۳۹۷. تابع تولید و بهره‌وری آب گیاه بادام‌زمینی (رقم گیل) در شرایط آبیاری و افزودن کود نیتروژن. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲ (۱): ۶۵-۵۵.

فتحی، م. ۱۳۹۴. تأثیر اقلیم و توپوگرافی بر پراکندگی جغرافیایی عناصر ریز مغذی در خاک‌های استان اصفهان. رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

فریزنی، م.س.، خزاعی، ح.ر. و گزانچیان، غ.ع. ۱۴۰۰. بهبود تحمل به کم‌آبی با استفاده از کمپوست پسماند شهری در چمن بومی تال فسکیو. نشریه علوم باغبانی. ۳۵ (۲): ۲۵۳-۲۶۶.

کافی، م.، باقری، ع.، نباتی، ج.، زارع مهرجردی، م. و معصومی، ع. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر تنش شوری بر برخی متغیرهای فیزیولوژیک ۱۱ ژنوتیپ نخود در محیط هیدروپونیک. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۴: ۵۵-۶۹.

مرادی تلاوت، م.ر.، روشن، ف. و سیادت، ع. ۱۳۹۴. اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر محتوای عناصر معدنی، عملکرد دانه و روغن دو رقم گلرنگ. مجله علوم زراعی ایران. ۱۷ (۲): ۱۵۳-۱۵۴.

ملکوتی، م. و تهرانی، م. ۱۳۷۹. نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی در عناصر خرد با تاثیر کلان. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

AL-Jobori, K.M.M. and AL-Hadithy, S.A. 2014. Response of Potato (*Solanum Tuberosum*) to Foliar Application of Iron, Manganese, Copper and Zinc. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 7: 358-363.

Alloway, B.J. 2004. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association. publications, Brucsels, Belgium, 135 p.

Alscher, R.G., Erturk, N. and Heath, L.S. 2002. Role of superoxide dismutases (SOD_s) in controlling oxidative stress in plant. Journal of Experimental Botany. 53: 1331-1341.

Amiri, E., Abdzad Gohari, A. and A. Mianabadi. 2015. Evaluation of water schemes for peanut, using CSM-CROPGRO-Peanut model. Archives of Agronomy and Soil Science. 61 (10): 1439–1453.

Bastam, N., Baninasab, B. and Ghobadi, C. 2013. Interactive effects of ascorbic acid and salinity stress on the growth and photosynthetic capacity of pistachio (*Pistaci avera* L.) seedlings. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 88(5): 610-616.

Bhargava. A., Shukla, S. and Ohri, D. 2006. Chenopodium quinoa. An Indian perspective. Industrial Crops and Products. 23: 73– 87.

Blum, A. 2005. Drought resistance, water use efficiency and yield potential, are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Australian Journal of Agricultural Research. 56: 1159-1168.

Bredemeier, C. 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site-specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize. PhD. Thesis. Technical University of Munich, Germany. pp 219.

Brown, P. H., Cakmak, I. and Zhang, Q. 1993. Form and function of zinc in plants. Page: 93-106. In: Robson, A. D. (Ed). Zinc in soil and plants. Kluwar Academic Publishers. Dordecht, the Netherlands.

Chimenti, C.A., Marcantonio, M. and Hall, A.J. 2006. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. Field Crops Research. 95: 305-315.

Cook, S., Gichuki, F. and Turral, H. 2006. Agricultural water productivity: Issues, concepts and approaches. Basin Focal Project Working Paper No.1 published by the challenge program on water and food, 19 pp.

El-Sabagh, A., Hossain, A., Barutcular, C., Gormus, O., Ahmad, Z., Hussain, S., Islam, M., Alharby, H., Bamagoos, A., Kumar, N., Akdeniz, H., Fahad, S., Meena, R.S., Abdelhamid, M., Wasaya, A., Hasanuzzaman, M., Sorour, S. and Saneoka, H. 2019. Effects of drought stress on the quality of major oilseed crops: Implications and possible mitigation strategies. A review. Applied Ecology and Environmental Research. 17: 4019-4043.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

Flexas, J., Bota, J., Galmes, J., Medrano, H. and Ribas-Carb, M. 2008. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. Physiologia Plantarum. 127(3): 343-352.

Garg, N. and Singla, R. 2009. Variability in the response of chickpea cultivars to short-term salinity, in terms of water retention capacity, membrane permeability, and osmo-protection. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 33: 57-63.

Hopkins, W.G. 2004. Introduction to Plant Physiology (3rd ed.). Published in the U.S. with John Wiely and Sons. New York. 557 pp.

Kapoor, D. Bhardwaj, S. Landi, M. Sharma, A. Ramakrishnan, M. and Sharma, A. 2020. The Impact of Drought in Plant Metabolism: How to Exploit Tolerance Mechanisms to Increase Crop Production. Applied Scieces. 10: 5692.

Karadavut, U. and Kavurmac, Z. 2013. Phenotypic and genotypic correlation for some characters in lentil (*Lens culinaris* Medik.). Research Journal of Agriculture and Environmental Management. 2 (1): 365–370.

Kashif Naeem, M., Ahmad, M., Kamran, M., Kausar Nawaz Shah, M. ad Shahid Iqbal, M. 2015. Physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to drought stress. International Journal of Plant and Soil Science. 6(1): 1-9.

Khalid, M.F., Hussain, S., Ahmad, S., Ejaz, S., Zakir, I., Ali, M.A., Ahmed, N. and Anjum, M.A. 2019. Impacts of Abiotic Stresses on Growth and Development of Plants. In Plant Tolerance to Environmental Stress. CRC Press: Boca Raton, FL, USA. P 1–8.

Mousavi, S. R., Shahsavari, M. and Rezaei. M. 2011. A general overview on Manganese (Mn) importance for crops production. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 5 (9): 1799–1803.

Oweis, T. 1997. Supplemental irrigation: A highly efficient water use practice. ICARDA, Aleppo, Syria, 16 p.

Rajaie, M. and Ziaeyan, A. H. 2009. Combined effect of zinc and boron on yield and nutrients accumulation in corn. International Journal of Plant Production. 3 (3): 435-440.

Rashtbari, M., Alikhani, H.A. and Ghorchiani, M. 2012. Effect of vermi-compost and municipal solid waste compost on growth and yield of canola under drought stress conditions. International Journal of Agriculture. 2 (4): 395-402.

Romheld, V. and Marschner, H. 1991. Function of micronutrients in plants. In: Mortvedt, J.J. Cox, F.R. Shuman, L.M. Welch, R.M. (Eds.), Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America, Book Series No. 4: Madison, USA, pp. 297-328.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

Repo-Carrasco, R., Espinoza, C. and Jacobsen, S.E. 2003. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food Reviews International. 19: 179–189.

Ritchie, S.W. and Nguyen, H.T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science. 30: 105-111.

Sebastian, A. and Prasad, M.N.V. 2015. Iron-and manganese-assisted cadmium tolerance in *Oryza sativa* L.: Lowering of rhizo-toxicity next to functional photosynthesis. Planta. 241 (6):1519–28.

Shinde, B.M. and Laware, L. 2010. Effect of drought stress on agronomic contributing characters in Groundnut *(Arachis Hypogae L.).* Asian Journal of Experimental Biological Sciences. 1: 968-971.

Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlik, S., Bagci, S. A. and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc deficient calcareous soils. Journal of Plant Nutrition. 20 (4 and 5): 461-471.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]