تأثیر پتاسیم و تنش خشکی بر شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی برگ گیاه گلرنگ

الهه عزیزآبادی[1*]، احمد گلچین[1] و محمدامیر دلاور[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۱۹)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر پتاسیم و تنش خشکی بر شاخص‌های رشد و غلظت عناصر برگ در گیاه گلرنگ، آزمایشی گلخانه‌ای با ۱۲ تیمار و سه تکرار، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه گروه خاک‌شناسی دانشگاه زنجان به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل ترکیب چهار سطح پتاسیم (۸۰، ۱۳۰، ۱۸۰ و ۲۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و سه سطح تنش خشکی (۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه) بودند که به خاک گلدان‌های پنج کیلوگرمی اعمال گردیدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش ارتفاع گیاه و سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و رطوبت نسبی برگ شد، ولی افزایش شاخص کلروفیل برگ را به‌همراه داشت. تنش خشکی هم‌چنین موجب کاهش غلظت روی، منگنز، مس، فسفر، نیتروژن و کلسیم، و افزایش غلظت آهن و پتاسیم برگ گردید. کاربرد پتاسیم موجب افزایش همه شاخص‌های مورد بررسی رشد در گیاه شد. پتاسیم هم‌چنین منجر به افزایش غلظت پتاسیم، آهن و مس و کاهش غلظت نیتروژن، فسفر، کلسیم، منگنز و روی گردید. به‌طورکلی، تنش خشکی منجر به کاهش تولید ماده خشک و به‌هم زدن تعادل یونی در گیاه گلرنگ شد. اما نتایج نشان داد که کاربرد پتاسیم در کاهش اثر سوء تنش خشکی در گیاه گلرنگ مؤثر بود.

واژه‌های کلیدی: کمبود آب قابل استفاده، صفات رشد، ترکیب شیمیایی برگ

مقدمه

گلرنگ (*Sufflower*) یا کافشه، با نام علمی کارتاموس تینکتوریوس (*Carthamus tinctorius* L.)، از گیاهان دنیای قدیم است که در منطقه وسیعی از ژاپن تا شرق آفریقا کشت می‌شده است. گلبرگ گلرنگ دارای مواد رنگی کارتامین (Cartamin) است که از آنها برای رنگ‌آمیزی پارچه، ابریشم و گل‌های مصنوعی و در طباخی و شیرینی‌پزی استفاده می‌شود (۶). امروزه، با تولید آنیلین مصنوعی، از اهمیت رنگ‌های گلرنگ در صنایع رنگرزی کاسته شده و بر اهمیت آن به‌عنوان دانه روغنی، به‌خصوص به‌علت دارا بودن اسید چرب غیراشباع و ضروری لینولئیک، افزوده شده است (۵).

مقدار تولید دانه گلرنگ در جهان طی سال‌های اخیر حدود یک میلیون تن در سال برآورد شده است و درصد روغن دانه گلرنگ در شرایط مساعد تا ۴۵٪ نیز می‌رسد (۵). از سطح زیر کشت گلرنگ در ایران آمار دقیقی در دسترس نیست. ظاهراً سطح زیر کشت آن در سال‌های گذشته کمتر از ۱۰۰۰ هکتار با میانگین عملکرد دانه حداکثر ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (۵).

سطح زیر کشت گیاه گلرنگ در استان زنجان در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده که عمدتاً به صورت دیم کشت و کار می‌گردد. گلرنگ نیازمند خاک عمیق و زهکشی شده است. این گیاه در خاک‌های لوم شنی و شن لومی با اسیدیته ۷ بیشترین محصول را به بار می‌آورد؛ ولی می‌تواند اسیدیته ۵-۸/۵ را تحمل کند (۱). گلرنگ با داشتن ریشه عمیق و توسعه‌یافته، به خشکی مقاوم است. پس از استقرار گیاه، تحمل گلرنگ به تنش رطوبتی افزایش می‌یابد.

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: azizabadielahe@yahoo.com

بروز تنش رطوبتی، به‌ویژه پس از ورود گیاه به مرحله زایشی، به رشد و عملکرد آن آسیب می‌رساند. به‌طور کلی، مقاومت گلرنگ به خشکی مشابه گندم و جو است و مقاوم‌ترین گیاه دانه روغنی به خشکی به شمار می‌رود (۵).

تنش خشکی و کم‌آبی مهم‌ترین عامل غیرزنده است که محدودکننده رشد و تولید گیاهان در جهان به شمار می‌رود (۲۲ و ۳۵). امروزه، یکی از مهم‌ترین شیوه‌های مدیریت مزرعه برای دستیابی به عملکرد مطلوب، رشد جامعه گیاهی و عملکرد مناسب، تأمین آب کافی می‌باشد. به‌طوری‌که گیاه در مراحل حساس رشد، دچار تنش رطوبتی نگردد. آب نقش بسیار مهمی در زندگی گیاه دارد و در بسیاری از نقاط دنیا، به‌عنوان یک عامل محدودکننده برای محصولات کشاورزی و افزایش عملکرد به شمار می‌رود. بنابراین، برای استفاده بهینه از آب باید سعی شود تا با تأمین حداقل آب، بیشترین عملکرد را تولید کرد. در شرایط تنش، انرژی آب قابل دسترس برای گیاه کاهش یافته و انرژی کمتری از آب آزاد می‌گردد. تعادل اسمتیک به‌صورت تجمع نمک‌ها درون سلول به حفظ فشار اسمزی و کاهش پتانسیل آب کمک می‌کند (۳۲).

بنابراین، درک واکنش گیاهان گوناگون به تنش آبی بسیار مهم است. اما پی بردن به راه‌های مؤثر افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی، چندان آسان به نظر نمی‌رسد. بررسی‌ها نشان داده که پتاسیم با کاهش اتلاف آب از گیاه به‌صورت تبخیر و تعرق، باعث مقاومت به خشکی شده و موجبات افزایش عملکرد را در شرایط تنش رطوبتی فراهم می‌آورد. تنظیم فشار اسمزی، تنظیم pH سلول، ساخت پروتئین‌ها و شرکت در فعال کردن بسیاری از آنزیم‌ها، از جمله نقش‌های پتاسیم در گیاه می‌باشد. بنابراین، گیاهان مبتلا به کمبود این عنصر، به خشکی بسیار حساسند (۱۷). به همین دلیل، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف پتاسیم بر شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی برگ گیاه گلرنگ، تحت شرایط تنش خشکی، انجام گردیده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر پتاسیم و تنش خشکی بر شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی برگ گیاه گلرنگ، رقم محلی اصفهان، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار و ۳ تکرار به‌صورت گلدانی از اواسط تابستان تا اواسط پاییز سال ۱۳۸۸ در گلخانه دانشگاه زنجان به اجرا در آمد. مساحت گلخانه ۲۰۰ مترمربع بود که نور آن توسط نور خورشید و تهویه با باز کردن پنجره‌های جانبی تأمین می‌شد. میانگین دمای گلخانه ۲۴-۳۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی آن ۷۰-۸۰ درصد بود. قبل از انجام آزمایش، یک نمونه مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک گلخانه تهیه و در آزمایشگاه خاک‌شناسی مورد تجزیه قرار گرفت و بر مبنای نتایج تجزیه خاک (جداول ۱ و ۲)، غلظت سایر عناصر غذایی، به‌جز عنصر مورد مطالعه، به حد بهینه رسانده شد.

تیمارهای آزمایشی شامل ترکیب فاکتوریل چهار سطح پتاسیم (۸۰، ۱۳۰، ۱۸۰ و ۲۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سه سطح تنش خشکی (۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) بودند که سطوح مختلف پتاسیم با افزودن مقادیر متفاوت سولفات پتاسیم به‌صورت محلول به خاک، تهیه شدند و سطوح مختلف تنش خشکی نیز در هر مرحله آبیاری، بر هر گلدان اعمال گردیدند. تعداد گلدان‌ها در هر تکرار ۱۲ عدد بود.

برای اعمال تنش خشکی، رطوبت ظرفیت مزرعه (گنجایش زراعی، FC) با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (Pressure plates) تعیین گردید که برابر با ۱۵٪ شد و در نتیجه برای رساندن رطوبت خاک گلدان‌های پنج کیلوگرمی به رطوبت ظرفیت مزرعه، ۷۵۰ میلی‌لیتر آب به‌کار برده شد. این مقدار آب برای آبیاری سطح شاهد یا رطوبت ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه مصرف شد. به‌منظور اعمال تنش در سطح ۶۰٪ رطوبت ظرفیت مزرعه، ۴۵۰ میلی‌لیتر آب و در سطح ۳۰٪، ۲۲۵ میلی‌لیتر آب مصرف شد. گلدان‌ها در هر مرحله آبیاری روی ترازو قرار داده شده و با مصرف آب به وزن مورد نظر رسانده شدند. به‌منظور آبیاری، از آب مقطر استفاده شد. پس از انجام

جدول ۱. مشخصات فیزیکی خاک مورد آزمایش

عمق خاک (cm)	هدایت الکتریکی (dS/m)	واکنش خاک	بافت خاک	گنجایش مزرعه (٪)	گچ (٪)
۴۰-۲۰	۰/۷۱۸	۷/۲۳	لوم شنی	۱۵	۳۰

جدول ۲. غلظت عناصر خاک مورد آزمایش

عنصر	فسفر	پتاسیم	روی	آهن	منگنز	مس
مقدار (mg/L)	۲۰/۹	۸۰	۱/۲۸	۵/۴۴	۰/۵۶	۰/۴۸

عملیات کاشت (در ابتدا ۵ بوته در هر گلدان و پس از جوانه‌زدن و قبل از اعمال تنش خشکی، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به ۲ عدد رسانده شد) و داشت و عملیات برداشت در آبان ماه سال ۱۳۸۸ انجام شد. در هنگام برداشت، تمام برگ‌های هر گلدان برای تجزیه مورد نمونه‌برداری قرار گرفتند و در پایان کار، بوته‌ها از انتهای ساقه و از سطح خاک قطع شده و توزین شدند. در آخر دوره رشد، و قبل از برداشت، شاخص کلروفیل برگ به کمک کلروفیل‌سنج دستی مدل Minolta SPAD- 52، سطح برگ با استفاده از دستگاه Leaf area meter و برحسب سانتی‌مترمربع در گلدان، ارتفاع گیاه برحسب سانتی‌متر در گلدان، میزان رطوبت نسبی برگ (RWC) برحسب درصد، وزن خشک اندام هوایی گیاه برحسب گرم در گلدان و در نهایت غلظت عناصر پرمصرف (N، P، K، Ca و Mg) و کم‌مصرف (Fe، Mn، Zn و Cu) در ماده خشک برگ، با استفاده از روش‌های رایج آزمایشگاهی توصیه شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب، اندازه‌گیری شد (۳، ٤ و ۹). برای محاسبات آماری و تجزیه واریانس داده‌ها، از نرم‌افزار MSTATC استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های رشد گلرنگ

ارتفاع گیاه و سطح برگ

داده‌های به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که سطوح مختلف پتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر ارتفاع و سطح برگ گیاه گلرنگ دارد (جدول ۳). بیشترین مقدار ارتفاع گیاه (۵۹/٤۰ سانتی‌متر) و سطح برگ (٦/۷۸ سانتی‌مترمربع در گلدان) از تیمار ۲۳۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ٤). با افزایش مصرف پتاسیم از ۸۰ تا ۲۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، ارتفاع گیاه گلرنگ از ٤۸/۰۹ به ۵۹/٤۰ سانتی‌متر و سطح برگ از ٤/۵۰ به ٦/۷۸ سانتی‌مترمربع در گلدان افزایش یافت (جدول ٤). نتایج پژوهش فوازی و همکاران (۲۱) نشان داد که کاربرد پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه بادمجان دارد. نتایج پژوهش بهبودیان و آندرسون (۱۹) در گیاه گوجه‌فرنگی و سایر پژوهشگران (۳۹ و ٤۱) نشان داد که کمبود پتاسیم منجر به کاهش سطح برگ می‌شود که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. اگر چه پتاسیم در ساختمان هیچ‌کدام از ترکیبات مهم گیاهی مانند پروتئین‌ها، چربی‌ها و قندها شرکت ندارد، اما به‌عنوان مهم‌ترین فعال‌کننده آنزیم‌های گیاهی نقش مهمی در ساخته شدن این ترکیبات دارد. پتاسیم در فعال کردن آنزیم‌های احیا کننده گاز کربنیک نقش مهمی ایفا می‌کند. به همین دلیل کمبود آن باعث کاهش سوخت و ساز گیاه شده، در نتیجه رشد و سطح برگ کاهش می‌یابد.

اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر ارتفاع و سطح برگ گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). افزایش سطح تنش خشکی موجب کاهش این ویژگی‌ها گردید (جدول ۵). افکاری و همکاران (۱۵) نیز مشاهده کردند که

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف پتاسیم و تنش خشکی بر شاخص‌های رشد گیاه گلرنگ

منابع تغییرات	ارتفاع گیاه	سطح برگ	شاخص کلروفیل برگ	وزن خشک اندام‌های هوایی	میزان رطوبت نسبی برگ
سطوح پتاسیم	۴۰۱/۳۴**	۱۶/۴۸**	۴۶/۴۰**	۶/۴۸**	۶۲۴/۴۱**
سطوح تنش خشکی	۱۳۸۸/۵۰**	۲۴/۰۲**	۶۹/۸۳**	۶/۸۶**	۱۲۲۴/۸۸**
سطوح پتاسیم × تنش خشکی	۹۰/۲۱**	۰/۸۳*	۶/۸۵**	۰/۸۲**	۳۶/۲۰^{ns}
اشتباه	۷/۱۳	۰/۲۶۴	۱/۰۴۵	۱۰/۲۵	۲۱/۹۳
CV (٪)	۴/۹۹	۸/۹۸	۱/۵۳	۸/۲۰	۶/۴۹

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۴. تأثیر سطوح مختلف پتاسیم بر شاخص‌های رشد گیاه گلرنگ

سطح پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌مترمربع)	شاخص کلروفیل برگ	وزن خشک اندام‌های هوایی (گرم در گلدان)	رطوبت نسبی برگ (٪)
$K_{۸۰}$	۴۸/۰۹ ^{d}	۴/۵ ^{d}	۶۵/۱۸ ^{d}	۳/۹۸ ^{c}	۶۵/۱۲ ^{c}
$K_{۱۳۰}$	۵۲/۰۶ ^{c}	۵/۵۶ ^{c}	۶۶/۰۲ ^{c}	۴/۴۹ ^{b}	۶۹/۸۱ ^{b}
$K_{۱۸۰}$	۵۴/۳۷ ^{b}	۶/۰۵ ^{b}	۶۷/۶۲ ^{b}	۴/۶۶ ^{b}	۷۵/۴۶ ^{a}
$K_{۲۳۰}$	۵۹/۴۰ ^{a}	۶/۷۸ ^{a}	۶۸/۷۷ ^{a}	۵/۴۳ ^{a}	۷۸/۳۳ ^{a}

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۵. اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر شاخص‌های رشد گیاه گلرنگ

سطح پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	شاخص کلروفیل برگ	وزن خشک اندام‌های هوایی (گرم در گلدان)	رطوبت نسبی برگ (٪)
$T_{۱۰۰}$	۶۰/۳۵^{a}	۶/۷۰ ^{a}	۶۵/۲۶ ^{c}	۵/۲۲ ^{a}	۷۸/۲۶ ^{a}
$T_{۶۰}$	۵۴/۸۰ ^{b}	۵/۷۵ ^{b}	۶۶/۷۷ ^{b}	۴/۵۵ ^{b}	۷۳/۹۷ ^{b}
$T_{۳۰}$	۴۵/۳۰ ^{c}	۴/۷۰ ^{c}	۶۸/۶۶ ^{a}	۴/۱۶ ^{c}	۶۴/۳۱ ^{c}

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

اعمال تنش آبی به‌طور معنی‌داری ارتفاع گیاه و سطح برگ را کاهش داد.

اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر ارتفاع گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ و بر سطح برگ در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین مقدار ارتفاع گیاه (۶۳/۲۲ سانتی‌متر) و سطح برگ (۷/۸۳ سانتی‌مترمربع در گلدان)، مربوط به تیمار $K_{230}T_{100}$ و کمترین مقدار ارتفاع گیاه (۳۵/۹۵ سانتی‌متر) و سطح برگ (۳/۱۷ سانتی‌مترمربع در گلدان)، مربوط به تیمار $K_{80}T_{30}$ بود (جداول ٦ و ۷). برخی از پژوهشگران به نقش پتاسیم به‌عنوان یک عامل ایجادکننده فشار اسمزی و سهیم در

جدول ۶. اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر ارتفاع گیاه گلرنگ

T / K	$T_{۱۰۰}$	$T_{۶۰}$	$T_{۳۰}$
$K_{۸۰}$	۵۷/۵۵ ^{b}	۵۰/۷۸ ^{c}	۳۵/۹۵ ^{e}
$K_{۱۳۰}$	۵۸/۵۵ ^{b}	۵۳/۳۲ ^{c}	۴۴/۳۱ ^{d}
$K_{۱۸۰}$	۶۲/۰۷ ^{a}	۵۷/۴۰ ^{b}	۴۳/۶۵ ^{d}
$K_{۲۳۰}$	۶۳/۲۲ ^{a}	۵۷/۶۸ ^{b}	۵۷/۳۱ ^{b}

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۷. اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر سطح برگ گیاه گلرنگ

T / K	$T_{۱۰۰}$	$T_{۶۰}$	$T_{۳۰}$
$K_{۸۰}$	۵/۳۳^{de}	۵/۰۰^{def}	۳/۱۶۷^{g}
$K_{۱۳۰}$	۶/۵۰^{c}	۵/۵۰^{d}	۴/۶۷^{f}
$K_{۱۸۰}$	۷/۱۷^{b}	۶/۱۷^{c}	۴/۸۳^{ef}
$K_{۲۳۰}$	۷/۸۳^{a}	۶/۳۳^{c}	۶/۱۷^{c}

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

تورم سلولی و مؤثر برای توسعه سلول اشاره کرده و تأکید کرده‌اند که حضور این عنصر برای توسعه سطح برگ در گیاه ضروری است (۲۶ و ۳۸). تأثیر پتاسیم در رشد به این دلیل قطعیت دارد که این عنصر در ساخت مواد هیدروکربن و پروتئین نقش مؤثری دارد و در بیشتر فعالیت‌های سلولی نقش دارد (۷). اثر فیزیولوژیک پتاسیم در گیاه شامل متعادل نمودن رشد، فشار اسمزی برگ‌ها، تنظیم آب مصرفی و آسیمیلات در اندام‌های مختلف گیاهی است (۱).

شاخص کلروفیل برگ

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد که سطوح مختلف پتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر شاخص کلروفیل برگ گیاه گلرنگ دارد. افزایش مصرف پتاسیم باعث افزایش شاخص کلروفیل شد و بیشترین شاخص کلروفیل (۶۸/۷۷) در تیمار ۲۳۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ٤). یانگ و همکاران (٤٠)، در بررسی اثر سطوح مختلف پتاسیم روی رشد، ویژگی‌های فتوسنتزی و کیفیت کاهو مشاهده کردند که افزایش سطح پتاسیم تا ۱۵٦ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش معنی‌دار میزان بیومس ساقه و فتوسنتز گردید. در حالی‌که سطوح بالاتر پتاسیم (۲۹۵ میلی‌گرم در لیتر) باعث کاهش این پارامترها گردید که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. وقتی غلظت مواد غذایی در گیاه خیلی کم باشد، شدت رشد نیز کند است. با افزایش قابلیت جذب ماده غذایی، شدت رشد و مقدار ماده غذایی در گیاه نیز زیاد می‌گردد و به میزانی که سطح بحرانی نامیده می‌شود می‌رسد. بعد از آن، افزایش مقدار ماده غذایی در گیاه باعث افزایش عملکرد نمی‌شود (۸).

اثر تنش خشکی بر شاخص کلروفیل برگ گیاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). افزایش سطح تنش خشکی، شاخص کلروفیل برگ را افزایش داد و بیشترین شاخص کلروفیل برگ گلرنگ (٦٨/٦٦) از تیمار آبیاری در رطوبت ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه و کمترین شاخص کلروفیل برگ گلرنگ (٦٥/٢٦) از تیمار شاهد (آبیاری در رطوبت ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) اندازه‌گیری شد (جدول ۵). احمدی و

جدول ۸. اثر متقابل سطوح مختلف پتاسیم و تنش خشکی بر شاخص کلروفیل برگ

$T_{۳۰}$	$T_{۶۰}$	$T_{۱۰۰}$	T / K
۶۶/۰۳^{d}	۶۵/۱۰^{de}	۶۴/۴۰^{e}	$K_{۸۰}$
۶۷/۵۳^{c}	۶۵/۹۲^{d}	۶۴/۶۲^{e}	$K_{۱۳۰}$
۶۸/۸۳^{b}	۶۷/۹۳^{bc}	۶۶/۰۸^{d}	$K_{۱۸۰}$
۷۲/۲۵^{a}	۶۸/۱۲ ^{bc}	۶۵/۹۳^{d}	$K_{۲۳۰}$

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

بیکر (۲) و هم‌چنین آنتولین و همکاران (۱۸) افزایش شاخص کلروفیل برگ را طی افزایش تنش خشکی گزارش داده‌اند. افزایش عدد SPAD در شرایط تنش خشکی، شاید به‌علت کاهش سطح برگ و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ می‌باشد.

اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر شاخص کلروفیل برگ گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین شاخص کلروفیل برگ گلرنگ (۷۲/۲۵) در تیمار $K_{230}T_{30}$ و کمترین مقدار آن (٦٤/٤٠) در تیمار $K_{80}T_{100}$ اندازه‌گیری شد (جدول ۸).

میزان رطوبت نسبی برگ

داده‌های به‌دست آمده در جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که سطوح مختلف پتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن بر میزان رطوبت نسبی برگ گیاه گلرنگ دارد (جدول ۳). افزایش مصرف پتاسیم باعث افزایش میزان رطوبت نسبی برگ شد و بیشترین میزان رطوبت نسبی برگ (۷۸/۳۳ درصد) با مصرف ۲۳۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ٤). این نتایج با نتایج خسروی‌فر و همکاران (۲۸) و افکاری و همکاران (۱۵) در گیاه آفتابگردان هم‌خوانی داشت. پتاسیم نقش کلیدی در تنظیم روابط آبی گیاهان دارد و باز و بسته شدن سلول‌های روزنه برگ با ورود و خروج پتاسیم به این سلول‌ها کنترل می‌شود. هنگامی‌که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، روزنه‌ها بسته شده و از تعرق جلوگیری می‌شود که این امر به باقی ماندن آب بیشتر در بافت‌ها کمک می‌کند؛ به‌علاوه، غلیظ شدن آب درون سلولی به‌وسیله پتاسیم، تبخیر را کاهش می‌دهد (۱۱، ۱۲ و ۱۳).

تأثیر تنش خشکی بر میزان رطوبت نسبی برگ گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش سطح تنش خشکی، میزان رطوبت نسبی برگ کاهش یافت (جدول ۵). بیشترین میزان رطوبت نسبی برگ (۷۸/۲٦ درصد) در تیمار شاهد (آبیاری در سطح ۱۰۰٪ رطوبت ظرفیت مزرعه) و کمترین میزان رطوبت نسبی برگ (٦٤/۳۱ درصد) در تیمار آبیاری در رطوبت ۳۰٪ ظرفیت مزرعه اندازه‌گیری گردید (جدول ۵). افکاری و همکاران (۱۵) در پژوهش خود روی گیاه آفتابگردان به این نتیجه رسیدند که میانگین رطوبت نسبی به‌دست آمده از سطوح مختلف تنش خشکی دارای اختلاف معنی‌داری بود. آنها علت این امر را وزن مرطوب و وزن خشک و هم‌چنین رطوبت بیشتر برگ‌های گیاه در تیمار شاهد نسبت به تیمارهای دارای تنش خشکی دانستند. هم‌چنین، آنها معتقد بودند که همراه با کاهش پتانسیل آب سلول‌های برگ، رطوبت نسبی برگ کاهش می‌یابد. با کاهش میزان آب خاک، پتانسیل آن منفی‌تر شده و جذب آب برای گیاه مشکل‌تر می‌شود. در این حالت، میزان آب جذب شده توسط گیاه کاهش یافته و در نتیجه میزان آن در بافت‌ها تقلیل می‌یابد (۱۱، ۱۲ و ۱۳). این نتایج با نتایج سایر پژوهشگران (۲۷، ۳٤ و ۳۷) هم‌خوانی داشت. اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر میزان رطوبت نسبی برگ گلرنگ معنی‌دار نشد (جدول ۳).

وزن خشک اندام‌های هوایی

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که سطوح مختلف پتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه گلرنگ دارد (جدول ۳). افزایش مصرف پتاسیم باعث افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی شد و بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی (۵/٤۳ گرم در گلدان) با کاربرد ۲۳۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ٤). وزن خشک اندام‌های هوایی در سطوح ۱۳۰ و ۱۸۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک، در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ٤). فوازی و همکاران (۲۱) و نانادل و همکاران (۳۳) در پژوهشی که به ترتیب روی فلفل شیرین و گوجه‌فرنگی انجام دادند، نشان دادند که پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه دارد. زمانی‌که کمبود یک عنصر غذایی وجود دارد، رشد و نمو گیاه توسط آن عنصر غذایی کنترل می‌شود. زیرا گیاه نمی‌تواند فعالیت‌های حیاتی خود را به خوبی انجام بدهد (قانون حداقل لیبیگ). با افزایش سطح آن عنصر در بافت‌ها، گیاه به‌سرعت ترکیبات مورد نیاز خود را ساخته و رشد آن و میزان ماده خشک تولیدی افزایش می‌یابد (۱۱، ۱۲ و ۱۳).

تأثیر تنش خشکی بر وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی گردید و بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی (۵/۲۲ گرم در گلدان) در تیمار آبیاری در رطوبت ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و کمترین وزن خشک اندام‌های هوایی (٤/۱٦ گرم در گلدان) در تیمار آبیاری در رطوبت ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد (جدول ۵). کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی با افزایش تنش خشکی، توسط افکاری و همکاران (۲۰۰۹) گزارش شده است. هنگام تنش خشکی، گیاه روزنه‌های خود را بسته و این امر باعث کاهش میزان کربن‌گیری و فتوسنتز می‌شود. به‌علاوه، نبودن تورژسانس سلولی مانع از تقسیم سلول‌ها شده که این عوامل باعث کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود (۱۱ و ۱۲). کمبود رطوبت خاک هم‌چنین کاهش انتقال مواد غذایی به سطح ریشه گیاه را به‌همراه دارد که مانع از جذب مواد غذایی کافی توسط گیاه می‌شود. به‌طوری‌که گیاه علاوه بر کمبود آب از کمبود مواد غذایی نیز رنج می‌برد (۱۲ و ۱۳). اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه مورد بررسی، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی (٦/۵۹ گرم در گلدان)، از تیمار $K_{230}T_{100}$ و کمترین وزن خشک اندام‌های هوایی (۳/۵۷ گرم در گلدان) از تیمار $K_{80}T_{30}$ حاصل شد (جدول ۹). همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، مقدار وزن خشک اندام هوایی در تیمار آبیاری رطوبت ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه، ۴/۱۶ گرم در گلدان است که کاربرد پتاسیم به میزان‌های ۱۸۰ و ۲۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در این سطح تنش، مقدار این شاخص را به‌ترتیب به ۴/۲۹ و ۴/۸۳ گرم در گلدان افزایش داده است. بنابراین، می‌توان گفت که کاربرد پتاسیم به میزان کافی در شرایط تنش خشکی در افزایش این شاخص مؤثر بوده است.

غلظت عناصر برگ گیاه گلرنگ

نیتروژن

داده‌های به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر سطوح پتاسیم بر غلظت نیتروژن برگ گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۱۰). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۱۱ نشان می‌دهد که با افزایش سطح پتاسیم مصرفی از ۸۰ به ۱۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، غلظت نیتروژن در برگ از ۳/۵٤ درصد به ۳/۷۱ درصد افزایش یافت. ولی با افزایش بیشتر مصرف پتاسیم (از ۱۳۰ به ۲۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، غلظت نیتروژن برگ از ۳/۷۱ به ۳/٤۹ درصد کاهش یافت.

معمولاً آنیون نیترات به‌عنوان یون همراه پتاسیم جذب گیاه شده و با افزایش پتاسیم مصرفی در خاک، غلظت نیتروژن در گیاه افزایش می‌یابد. پژوهش می و همکاران (۳۱)، کاهش غلظت نیتروژن برگ گوجه‌فرنگی را در سطوح بالای پتاسیم

جدول ۹. تأثیر سطوح متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه گلرنگ

T / K	$T_{1..}$	$T_{6.}$	$T_{3.}$
$K_{8.}$	۴/۲۲ de	۴/۱۶ de	۳/۵۷ f
$K_{13.}$	۴/۹۹ bc	۴/۵۴ cd	۳/۹۵ ef
$K_{18.}$	۵/۰۷ b	۴/۶۲ bcd	۴/۲۹ de
$K_{23.}$	۶/۵۹ a	۴/۸۹ bc	۴/۸۳ bc

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۱۰. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت عناصر برگ گیاه گلرنگ

	میانگین مربعات							
منابع تغییرات	روی	منگنز	مس	آهن	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم
	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)				(٪)			
سطوح پتاسیم	۱۵۴۹/۸۱۶**	۷۹۹/۱۳۲**	۲/۲۳**	۱۴۱۱/۳۳**	۰/۱۷**	۰/۰۰۲**	۱/۹۶**	۱/۶۲**
سطوح تنش	۱۲۹۰۴/۸۳۲**	۱۴۷۹/۰۲۸**	۶۸/۱۳**	۱۴۹۸/۶۱**	۰/۴۲**	۰/۰۱۷**	۲/۵۳**	۳/۸۰**
سطوح پتاسیم×تنش	۵۹۴/۷۹۵**	۴۲/۱۴**	۱/۲۳**	۱۳۹//۳۹**	۰/۰۲ns	۰/۰۰۱*	۰/۱۱ ns	۰/۱۹**
اشتباه	۷/۶۸۰	۲/۱۰۱	۰/۰۶	۵/۲۹۴	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱	۰/۰۸۶	۰/۰۰۷
CV(٪)	۱/۸۷	۲/۱۷	۳/۱۴	۲/۸۳	۵/۰۳	۴/۲۲	۷/۸۱	۵/۳۲

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۱۱. تأثیر سطوح مختلف پتاسیم بر غلظت عناصر غذایی برگ گیاه گلرنگ

سطح پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی	منگنز	مس	آهن	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم
	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)				(٪)			
$K_{8.}$	۱۳۸/۳ d	۶۵/۰۸ c	۷/۳۷ c	۷۱/۵۴ d	۳/۵۴ b	۰/۲۷ a	۳/۳۷ d	۲/۰۱ a
$K_{13.}$	۱۴۸/۱ b	۶۹/۸۷ b	۷/۶۸ b	۷۶/۱۵ c	۳/۷۱ a	۰/۲۷ a	۳/۶۰ c	۱/۷۰ b
$K_{18.}$	۱۶۰/۷ a	۷۳/۷۵ a	۸/۰۵ a	۸۷/۷۲ b	۳/۵۷ b	۰/۲۶ a	۳/۹۱ b	۱/۴۶ c
$K_{23.}$	۱۴۶/۰ c	۵۸/۲۸ d	۸/۱۳ a	۸۹/۸۰ a	۰/۲۶ a	۰/۲۵ b	۴/۱۲ a	۳/۴۹ b

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

نشان داد، که با نتایج این پژوهش هماهنگی دارد. همان‌طور که نتایج نشان داد (جدول ٤)، با افزایش مصرف پتاسیم، وزن خشک گیاه افزایش یافت. بنابراین، فاکتور رقت می‌تواند دلیلی بر کاهش غلظت نیتروژن برگ با افزایش سطح پتاسیم خاک باشد.

اثر تنش خشکی بر غلظت نیتروژن برگ در گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰). با افزایش تنش خشکی، غلظت نیتروژن برگ کاهش یافت و بیشترین غلظت نیتروژن برگ (۳/٦۹ درصد) در تیمار شاهد (آبیاری در رطوبت ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) و کمترین غلظت نیتروژن برگ در تیمار آبیاری در رطوبت ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه اندازه‌گیری

جدول ۱۲. تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر غلظت عناصر غذایی برگ گیاه گلرنگ

سطح تنش خشکی	روی	منگنز	مس	آهن	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم
	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)				(٪)			
T_{100}	۱۷۰/۲ a	۷۴/۱۳ a	۹/۵۷ a	۷۲/۸۲ c	۳/۶۹ a	۰/۲۹ a	۳/۴۲ c	۲/۰۳ a
T_{60}	۱۵۰/۶b	۶۷/۶۲ b	۷/۶۴ b	۸۲/۶۵ b	۳/۵۹ a	۰/۲۷ b	۳/۷۵ b	۱/۶۰ b
T_{30}	۱۲۴/۰c	۵۸/۵۰ c	۶/۲۱ c	۸۸/۴۵ a	۳/۴۴ b	۰/۲۴ c	۴/۰۷ a	۱/۲۳ c

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

گردید (جدول ۱۲). کمبود رطوبت، سرعت انتشار و هم‌چنین جریان توده‌ای را کاهش داده و باعث می‌شود که میزان انتقال یون آمونیوم و نیترات به سطح ریشه کاهش یابد و گیاه نتواند نیتروژن کافی دریافت کند. این امر به کاهش غلظت نیتروژن در بافت‌های گیاه کمک می‌کند (۱۱ و ۱۲). گونش و همکاران (۲٤) نشان دادند که تنش خشکی منجر به کاهش غلظت نیتروژن برگ در گیاه آفتابگردان شد. اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت نیتروژن برگ گیاه گلرنگ معنی‌دار نبود (جدول ۱۰).

فسفر

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر سطوح پتاسیم بر غلظت فسفر برگ در گیاه گلرنگ، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۱۰). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطح پتاسیم، غلظت فسفر برگ از ۰/۲۷ به ۰/۲۵ درصد کاهش یافت (جدول ۱۱). آلدانا (۱٦)، گزارش کرد که افزایش غلظت پتاسیم در محلول غذایی موجب کاهش غلظت فسفر در برگ فلفل گردید. کاهش غلظت فسفر برگ با افزایش مصرف پتاسیم، ممکن است به دلیل فاکتور رقت و افزایش رشد و نمو گیاه باشد.

اثر تنش خشکی بر غلظت فسفر برگ گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰) و تنش خشکی سبب کاهش غلظت فسفر برگ شد (جدول ۱۲). فسفر عنصری است که عمدتاً از طریق فرآیند انتشار به سطح ریشه گیاه منتقل و جذب می‌شود. کاهش آب خاک باعث تخلیه خلل و فرج از آب شده و سطح لازم برای انتشار کاهش می‌یابد که این امر باعث پایین آمدن سرعت انتشار می‌شود. در نتیجه، فسفر کمتری به سطح ریشه منتقل و جذب می‌شود که این امر کاهش غلظت فسفر بافت‌های گیاه را به‌همراه دارد (۱۲ و ۱۳). اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت فسفر برگ در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰). بیشترین غلظت فسفر برگ (۰/۳ درصد) در تیمار $K_{130}T_{100}$ و کمترین آن (۰/۲۳ درصد) در تیمار $K_{230}T_{30}$ اندازه‌گیری شد (جدول ۱۳).

پتاسیم

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر سطوح پتاسیم بر غلظت پتاسیم برگ گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۱۰). افزایش پتاسیم مصرفی سبب افزایش غلظت پتاسیم برگ گلرنگ از ۳/۳۷ درصد به ٤/۱۲ درصد شد (جدول ۱۱). این یافته با پژوهش، فرزانه (۱۰)، آلدانا (۱٦)، مارتین و لیب‌هارت (۳۰) و گونش و همکاران (۲۳) هماهنگی دارد. افزایش مصرف پتاسیم سبب افزایش غلظت پتاسیم در محلول خاک می‌شود، که این امر باعث افزایش شیب غلظت و در نتیجه سرعت انتشار پتاسیم به سطح ریشه گیاه می‌گردد. در نتیجه، پتاسیم بیشتری توسط گیاه جذب و غلظت آن در بافت‌ها افزایش می‌یابد (۱۱، ۱۲ و ۱۳).

تنش خشکی اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر غلظت پتاسیم برگ گیاه گلرنگ داشت (جدول ۱۰) و با افزایش تنش

جدول ۱۳. اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت فسفر برگ گیاه گلرنگ

T / K	T_{100}	T_{60}	T_{30}
K_{80}	۰/۲۹ a	۰/۲۸ ab	۰/۲۵ bc
K_{130}	۰/۳۰ a	۰/۲۷ ab	۰/۲۳ bc
K_{180}	۰/۲۹ a	۰/۲۶ abc	۰/۲۳ c
K_{230}	۰/۲۶ abc	۰/۲۶ abc	۰/۲۳ c

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

خشکی، غلظت پتاسیم برگ از ۳/٤۲ درصد در تیمار آبیاری درسطح رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به ٤/۰۷ درصد در تیمار آبیاری در سطح رطوبتی ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه افزایش یافت (جدول ۱۲). افزایش غلظت پتاسیم برگ با افزایش تنش خشکی را می‌توان به فاکتور رقت و کاهش رشد و نمو گیاه نسبت داد. دستبندان‌نژاد و همکاران (۲۰) بیان کردند که در شرایط تنش خشکی، میزان پتاسیم جذب شده ۲ تا ۳ برابر شرایط طبیعی است. آنها هم‌چنین گزارش کردند که علت افزایش جذب پتاسیم تحت شرایط تنش خشکی را می‌توان به مکانیسم جذب فعال این یون به‌وسیله گیاه نسبت داد که بدین وسیله مقاومت خود را در برابر تنش بالا می‌برد. اثر متقابل سطوح پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت پتاسیم برگ معنی‌دار نبود (جدول ۱۰).

کلسیم

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که اثر سطوح پتاسیم بر غلظت کلسیم برگ گیاه گلرنگ، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. افزایش پتاسیم سبب کاهش غلظت کلسیم برگ در گیاه گلرنگ گردید (جدول ۱۱). سینگ و برار (۳٦) و جونز و همکاران (۲۵) گزارش کردند که کاربرد پتاسیم باعث کاهش غلظت کلسیم در برگ گیاه گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی گردید. رقابت یون‌های پتاسیم و کلسیم در جذب احتمالاً دلیل کاهش غلظ کلسیم برگ با افزایش میزان پتاسیم قابل جذب خاک باشد (۱۱ و ۱۲). اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر غلظت کلسیم برگ نیز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰) و افزایش تنش خشکی سبب کاهش غلظت کلسیم برگ گردید (جدول ۱۲). گونش و همکاران (۱۸) نتایج مشابهی را گزارش نمودند. کلسیم عمدتاً با جریان توده‌ای به سطح ریشه گیاه منتقل و جذب می‌شود. کمبود میزان رطوبت خاک باعث محدود شدن انتقال کلسیم به سطح ریشه شده و در نتیجه جذب آن کاهش می‌یابد. کاهش تبخیر و تعرق توسط گیاه در شرایط تنش خشکی نیز دلیل دیگری بر کاهش جذب و توزیع کلسیم در گیاه می‌باشد (۱۱، ۱۲ و ۱۳). اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت کلسیم برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد و بیشترین غلظت کلسیم برگ گیاه گلرنگ (۲/٦۸ درصد) در تیمار $K_{80}T_{100}$ و کمترین غلظت کلسیم برگ گیاه گلرنگ (۱/۰۳ درصد) در تیمار $K_{230}T_{30}$ اندازه‌گیری شد (جداول ۱۰ و ۱٤).

روی

با توجه به جدول ۱۱، افزایش پتاسیم مصرفی تا سطح ۱۸۰ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک، سبب افزایش غلظت روی و در سطوح بالاتر سبب کاهش غلظت روی در برگ گیاه گلرنگ گردید. نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که تأثیر پتاسیم بر غلظت روی در برگ، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. فاکتور رقت می‌تواند دلیلی بر کاهش غلظت روی در برگ با افزایش مصرف پتاسیم باشد. پتاسیم با افزایش رشد و تولید بیشتر ماده خشک گیاهی موجب کاهش غلظت روی می‌شود. آلدانا (۱٦)، در آزمایش خود به کاهش مقدار روی در برگ در اثر مصرف

جدول ۱۴. اثر متقابل سطوح مختلف پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت کلسیم برگ گیاه گلرنگ

T / K	$T_{۱۰۰}$	$T_{۶۰}$	$T_{۳۰}$
$K_{۸۰}$	۲/۶۸ a	۱/۹۲ bc	۱/۴۲ f
$K_{۱۳۰}$	۲/۰۱ b	۱/۷۰ d	۱/۳۹ f
$K_{۱۸۰}$	۱/۸۹ c	۱/۴۰ f	۱/۰۹ g
$K_{۲۳۰}$	۱/۵۴ e	۱/۳۹ f	۱/۰۳ g

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۱۵. اثر متقابل سطوح مختلف پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت روی در برگ گیاه گلرنگ

T / K	$T_{۱۰۰}$	$T_{۶۰}$	$T_{۳۰}$
$K_{۸۰}$	۱۶۸/۸ b	۱۴۱/۷ f	۱۰۴/۵ h
$K_{۱۳۰}$	۱۷۱/۰ ab	۱۵۴/۰ cd	۱۱۹/۲ g
$K_{۱۸۰}$	۱۷۲/۷ a	۱۵۷/۰ c	۱۵۲/۴ de
$K_{۲۳۰}$	۱۶۸/۳ b	۱۴۹/۷ e	۱۲۰/۰ g

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

پتاسیم اشاره کرد. کاهش روی در برگ همچنین می‌تواند در پاسخ به افزایش غلظت آهن برگ با افزایش مصرف پتاسیم باشد.

اثر تنش خشکی بر غلظت روی در برگ گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰) و افزایش تنش خشکی سبب کاهش غلظت روی در برگ گردید(جدول ۱۲). عناصر کم‌مصرف مثل روی و آهن در جذب و انتقال به بخش‌های گوناگون گیاه با یکدیگر رقابت می‌کنند. به‌طوری‌که غلظت‌های بالای آهن می‌تواند از جذب روی توسط گیاه جلوگیری کند. از آنجا که افزایش تنش خشکی باعث افزایش غلظت آهن برگ شده است، این امر موجبات کاهش غلظت روی را فراهم آورده است. اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت روی در برگ گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰) و حداکثر غلظت روی در برگ (۱۷۲/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) از تیمار $K_{180}T_{100}$ و حداقل غلظت روی در برگ (۱۰٤/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) از تیمار $K_{80}T_{30}$ حاصل شد (جدول ۱۵).

منگنز

داده‌های به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر سطوح مختلف پتاسیم بر غلظت منگنز برگ گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۱۰). افزایش سطح پتاسیم خاک از ۸۰ به ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سبب افزایش غلظت منگنز برگ از ٦۵/۰۸ به ۷۳/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم شد و پس از آن با افزایش بیشتر پتاسیم خاک از ۱۸۰ به ۲۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، غلظت منگنز برگ از ۷۳/۷۵ به ۵۸/۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش یافت (جدول ۱۱). افزایش غلظت پتاسیم خاک باعث افزایش جذب و غلظت آهن بافت‌ها گردید (جدول ۱۱). بنابراین، کاهش غلظت منگنز بافت‌ها می‌تواند به‌دلیل رقابت این عنصر با آهن در جذب باشد. آلدانا (۱٦) نیز نتایج مشابهی را گزارش نمود و نشان داد غلظت‌های بالای پتاسیم، غلظت منگنز برگ را کاهش می‌دهد.

اثر سطوح مختلف تنش خشکی نیز بر غلظت منگنز برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰) و افزایش سطح

جدول ۱۶. اثر متقابل سطوح مختلف پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت منگنز برگ گیاه گلرنگ

T / K	T_{100}	T_{60}	T_{30}
K_{80}	۷۱/۴۹ cd	۶۵/۹۶ f	۵۷/۸۰ h
K_{130}	۷۸/۵۷ b	۷۰/۰۳ d	۶۱/۰۰ g
K_{180}	۸۱/۱۸ a	۷۱/۸۱ c	۶۸/۲۶ e
K_{230}	۶۵/۲۶ f	۶۲/۶۶ g	۴۶/۹۳ i

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

تنش خشکی سبب کاهش غلظت منگنز برگ از ۷٤/۱۳ به ۵۸/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گردید (جدول ۱۲). کاهش رطوبت خاک باعث کاهش انتقال کلسیم به سطح ریشه و جذب آن توسط گیاه گردید. در نتیجه، جذب آهن به‌دلیل رقابت یونی با کلسیم افزایش یافت. افزایش جذب آهن نیز احتمالاً به‌دلیل رقابت یونی با منگنز، باعث کاهش جذب این عنصر توسط گیاه شده است (۱۲ و ۱۳). نمازی و همکاران (۱٤) و گونش و همکاران (۲٤)، نتایج مشابهی را گزارش نمودند. اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت منگنز برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰). بیشترین غلظت منگنز برگ گیاه گلرنگ (۸۱/۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار $K_{180}T_{100}$ و کمترین غلظت منگنز برگ (٤٦/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار $K_{230}T_{30}$ اندازه‌گیری شد (جدول ۱٦).

مس

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که اثر سطوح مختلف پتاسیم بر غلظت مس برگ گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. افزایش مصرف پتاسیم سبب افزایش غلظت مس برگ این گیاه گردید. غلظت مس برگ در سطوح ۱۸۰ و ۲۳۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک، در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۱۱).

اثر تنش خشکی بر غلظت مس برگ گیاه گلرنگ نیز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰) و افزایش تنش خشکی باعث کاهش غلظت مس برگ شد (جدول ۱۲). به نظر می‌رسد افزایش جذب آهن توسط گیاه، در اثر افزایش تنش خشکی، باعث کاهش جذب مس و کاهش غلظت آن در برگ و اندام‌های هوایی گیاه شده است. اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت مس برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰). حداکثر غلظت مس برگ (۱۰/۲٤میلی‌گرم در کیلوگرم)، در تیمار $K_{230}T_{100}$ و حداقل غلظت مس برگ (۵/۸۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار $K_{230}T_{30}$ اندازه‌گیری شد (جدول ۱۷).

آهن

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که اثر سطوح مختلف پتاسیم بر غلظت آهن برگ گیاه گلرنگ، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است و افزایش پتاسیم خاک، سبب افزایش غلظت آهن برگ از ۷۱/٥٤ به ۸۹/۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گردید (جدول ۱۱). با توجه به این‌که افزایش مصرف پتاسیم باعث افزایش رشد گیاه گردید، لذا با افزایش رشد تقاضا برای عناصر غذایی، از جمله آهن، افزایش می‌یابد. علاوه بر این، افزایش مصرف پتاسیم باعث کاهش غلظت کلسیم بافت‌های گیاه گردید. از آنجا که آهن و کلسیم در جذب با یکدیگر رقابت می‌کنند، احتمالاً کاهش جذب کلسیم منجر به افزایش جذب و غلظت آهن بافت‌ها گردیده است (۱۱، ۱۲ و ۱۳). آلدانا (۱٦)، نتایج مشابهی را در برگ فلفل گزارش نمود.

اثر تنش خشکی بر غلظت آهن برگ گیاه گلرنگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰). افزایش تنش خشکی سبب افزایش غلظت آهن برگ گردید و بیشترین غلظت آهن

جدول ۱۷. اثر متقابل سطوح مختلف پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت مس برگ گیاه گلرنگ

$T_{۳۰}$	$T_{۶۰}$	$T_{۱۰۰}$	T / K
۶/۱۹ f	۷/۱۴ e	۸/۷۸ c	$K_{۸۰}$
۶/۴۰ f	۷/۱۲ e	۹/۵۳ b	$K_{۱۳۰}$
۶/۳۹ f	۸/۰۲ d	۹/۷۴ b	$K_{۱۸۰}$
۵/۸۹ g	۸/۲۸ d	۱۰/۲۴ a	$K_{۲۳۰}$

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۱۸. اثر متقابل سطوح مختلف پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت آهن برگ گیاه گلرنگ

$T_{۳۰}$	$T_{۶۰}$	$T_{۱۰۰}$	T / K
۷۶/۷۱ cd	۷۴/۰۷ de	۶۳/۸۶ f	$K_{۸۰}$
۹۱/۰۸ a	۷۳/۲۱ e	۶۴/۱۵ f	$K_{۱۳۰}$
۹۲/۵۳ a	۹۲/۳۲ a	۷۸/۳۱ c	$K_{۱۸۰}$
۹۳/۴۸ a	۹۰/۹۹ a	۸۴/۹۵ b	$K_{۲۳۰}$

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

برگ در سطح رطوبتی ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه اندازه‌گیری شد (جدول ۱۲). چون تنش رطوبتی باعث کاهش وزن خشک گیاه گردید، احتمالاً افزایش غلظت آهن گیاه به‌دلیل فاکتور رقت از یک طرف و کاهش جذب کلسیم از طرف دیگر باشد (۱۲ و ۱۳). افزایش غلظت آهن برگ با افزایش تنش خشکی توسط نمازی و همکاران (۱٤) در ذرت نیز گزارش شده است. اثر متقابل پتاسیم و تنش خشکی بر غلظت آهن برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰). بیشترین غلظت آهن برگ (۹۳/٤۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار $K_{230}T_{30}$ و کمترین غلظت آهن برگ (٦۳/۸٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار $K_{80}T_{100}$ اندازه‌گیری شد (جدول ۱۸).

نتیجه‌گیری

با توجه به داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش خشکی، استفاده از راهکارهای تغذیه‌ای همانند استفاده از کودهای مناسب می‌تواند سبب بهبود عملکرد گیاه گردد و حتی در شرایط مطلوب نیز می‌توان با استفاده از چنین راهکارهایی از مصرف زیاد آب پیشگیری کرد و به نوعی سبب صرفه‌جویی در مصرف آب گردید.

منابع مورد استفاده

۱. آلیاری، ه. و ف. شکاری. ۱۳۷۹. دانه‌های روغنی زراعت و فیزیولوژی. انتشارات عمیدی، تبریز، ۱۸۲ صفحه.

۲. احمدی، ع. و د. آ. بیکر. ۱۳۷۹. عوامل روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای محدودکننده فتوسنتز در گندم در شرایط تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۱(۴): ۸۱۳-۸۲۵ .

۳. احیایی م. و ع. ا. بهبهانی زاده. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه فنی شماره ۸۹۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

۴. امامی، ع .۱۳۷۵. شرح روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول، نشریه فنی شماره ۹۸۲، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
۵. خواجه‌پور، م. ر. ۱۳۸۳. گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۶. زینلی، ا. ۱۳۷۸. گلرنگ (شناخت، تولید و مصرف). دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۷. سالاردینی، ع. ا. و م. مجتهدی. ۱۳۸۴. حاصل‌خیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران.
۸. سالاردینی، ع. ا. و م. مجتهدی، ۱۳۷۲. اصول تغذیه گیاه. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
۹. علیزاده، ا. ۱۳۸۹. رابطه آب و خاک و گیاه. مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا (ع).
۱۰. فرزانه، ن. ۱۳۸۷. تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن، پتاسیم و بور بر رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.
۱۱. ملکوتی، م. ج. و م. همایی. ۱۳۷۳. حاصل‌خیزی خاک‌های مناطق خشک: مشکلات و راه‌حل‌ها. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ٤٩٤ صفحه.
۱۲. ملکوتی، م. ج.، پ. کشاورز و ن. ع. کریمیان. ۱۳۷۸. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۷۴۴ صفحه.
۱۳. میرنیا، س. خ. و ف. حبیب‌زاده. ۱۳۸۵. راهنمای تغذیه گیاه. انتشارات تک رنگ، تهران، ۱۱۷ صفحه.
۱۴. نمازی، ل.، ح. نادیان، ا. علیزاده و ع. معزی. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر جذب عناصر غذایی توسط ذرت میکوریزایی و غیرمیکوریزایی در غلظت‌های مختلف فسفر خاک. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۲۱ الی ۲۴ تیر ماه ۱۳۸۸، دانشگاه گرگان، صفحات ۳۴۷-۳۴۹.
15. Afkari, A., N. Qasimov and M. Yarnia. 2009. Effects of drought stress and potassium on some of the physiological and morphological traits of sunflower (*Helianthus annus* L.) cultivars. J. Food Agric. Environ. 7: 448-451.
16. Aldana, M.E., I. Agronomo, E.A. Panamericana and E. Zamorano. 2008. Effect of phosphorus and potassium fertility on fruit quality and growth of Tabasco pepper in hydroponic culture. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Louisiana State University.
17. Anrist-Rangel, Y. 2008. Quantifying mineral source of potassium in agricultural soils. PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, 105 p.
18. Antolin, M.C., J. Yoller and M. Sanchez-Diaz. 1995. Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen–fixing alfalfa plants. J. Plant Sci. 107: 159-165.
19. Behboudian, M.H. and D.R. Anderson. 2006. Effects of potassium deficiency on water relation and photosynthesis of the tomato plant. J. Plant Soil 127: 137-139.
20. Dastbandan Nejad, S., T. Saki Nejad and S. Lack. 2010. Effect of drought stress and different levels of potassium fertilizer on K^+ accumulation in corn. Nat. Sci. 8(5): 23-27.
21. Fawazy, Z.F., M.A. El-Nemr and S.A. Saleh. 2007. Influence of levels and methods of potassium fertilizer application on growth and yield of eggplant. J. Appl. Sci. Res. 3(1): 42-49.
22. Flexas, J., J. Bota, F. Loreto, G. Cornic and T.D. Sharkey. 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. J. Plant Biol. 6: 269-279.
23. Gunes, A., M. Alpaslan and A. Inal. 1998. Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-grown young tomato plants. J. Plant Nutr. 21(10): 2035-2047.
24. Gunes, A., D.J. Pilbeam, A. Inal, S. Coban and A. Aksu. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress. II: Essential and nonessential element uptake determined by polarized energy dispersive x-ray fluorescence. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 39: 1904-1927.
25. Jones, J.B., C.D. Stanley, A.A. Csizinszky, S.P. Kovach and R.G. McGuire. 1988. K and N fertilization rated influence susceptibility of trickle-irrigated tomato plants to bacterial spot. Hort. Sci. 23(6): 1013-1015.
26. Jordan-Meille, L. and S. Pellerin. 2008. Shoot and root growth of hydroponic maize (*Zea Mays* L.) as influenced by K deficiency. Plant Soil 304: 157-168.

27. Khalilvand, B. and M. Yarnia. 2007. The effects of water deficit stress on some of the physiological characters of sunflower in different densities of planting. J. Agric. Sci., Islamic Azad Univ., Tabriz Branch, 1(2): 37-52.
28. Khosravifar, S., M. Yarnia, M.B. Khorshidi and A.H. Hossainzadeh Moghbeli. 2008. Effect of potassium drought tolerance in potato cv. Agria. J. Food. Agric. Environ. 6(3&4): 236-241.
29. Machado, S. and G.M. Paulsen. 2001. Combined effects of drought and high temperature on water relations of wheat and sorghum. Plant Soil 223: 179-187.
30. Martin, H.W. and W.C. Liebhardt. 1994. Tomato response to long-term potassium and lime application on a sandy Ultisol high in nonexchangable potassium. J. Plant Nutr. 17: 1751-1768.
31. Mei, S.H., L.T. Lai and X. Hui. 2001. Effects of potassium fertilizer on nutrient absorption and growth of tomato in the greenhouse. China Vegetables, Institute of Vegetables and Flowers, Beijing, China, 4: 14-16.
32. Nahar, K. and R. Gretzmacher. 2002. Effect of water stress on nutrient uptake, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under subtropical conditions. Die Bodenkultur 53(1): 45-51.
33. Nanadal, J., K. Ramesh-Vasist and U.C. Pandey. 1998. Effect of phosphorus and potassium on growth, yield and quality of tomato. J. Potassium Res. 14(1/4): 44-49.
34. Neiastani, A. 2003. The evaluation of drought tolerance in different species of lentil. Agric. J. 1: 61-69.
35. Reddy, A.R., K.V. Chaitanya and M. Vivekanandan. 2004**.** Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant. Physiol. 161: 1189-1202.
36. Singh, K., R. Singh, J.P. Singh, Y. Singh and K.K. Singh. 2006. Effect of level and time of silicon application on growth, yield and its uptake by rice (*Oryza sativa*). Indian J. Agric. Sci. 76(7): 410-413.
37. Unyayar, S., Y. Keles and E. Unal. 2004. Proline and ABA levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. Bulg. J. Plant. Physiol. 30(3-4): 34-47.
38. Walker, D.J., R.A. Leigh and A.J. Miller. 1996. Potassium homeostasis in vacuolate plant cells. Proc. of the National Academy of Sciences of the USA, 93:10510-10514.
39. Xi, S. and R. Lihua. 1989. Effect of potassium fertilizer application on physiological parameters and yield of cotton grown on a potassium deficient soil. J. Plant Nutr. Soil Sci. 152: 269-272.
40. Yang, X.F., Z.L. Bie and J.L. Xu. 2007. Effect of potassium supply on the growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce. Acta Hort. 761.
41. Zhao, D., D.M. Oosterhuis and C.W. Bednarz. 2001. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. Photosynthetica 39: 103-109.