به زراعی کشاورزی
دوره ۲۰ ■ شماره ٤ ■ زمستان ۱۳۹۷
صفحه‌های ۸٦۸-۸٤۹

پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه ریحان به کاربرد برگی کلات و نانوکلات پتاسیم تحت تنش کم‌آبیاری

فاطمه زارعی[۱]، ملک حسین شهریاری[۲*]، رحیم نیکخواه[۳]، پرویز بیات[۴]، علی دیندارلو[۵]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران
۲. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.
۳. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.
۴. استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر، ایران.
۵. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۴/۱۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۶/۲۴

چکیده

این پژوهش با هدف مطالعه اثر محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت شرایط کم‌آبیاری به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌صورت گلدانی در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦ انجام شد. تنش کم‌آبیاری در چهار سطح ۱۰۰، ۸۰، ٦۰ و ٤۰ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی و محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم با غلظت‌های ۰، ۱، ۳ و ۵ گرم در لیتر اعمال گردید. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام‌هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه، شاخص سبزینگی و محتوای نسبی آب برگ ریحان شد و بیشترین کاهش در بالاترین سطح تنش کم‌آبیاری (٤۰ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی) مشاهده گردید. علاوه براین با افزایش سطح تنش کم‌آبیاری، طول ریشه، میزان پرولین، فعالیت آنزیم پراکسیداز و نشت یونی برگ افزایش یافت. محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم باعث بهبود رشد و عمل‌کرد ریحان در تمامی سطوح تنش کم‌آبیاری گردید، اگرچه استفاده از نانوکلات پتاسیم نسبت به کلات پتاسیم تأثیر بیشتری بر عمده صفات بررسی شده داشت، به‌طوری‌که بیشترین وزن تر اندام هوایی(**۲۹/۲٦ گرم**)، ارتفاع (۳۷/۹٤ سانتی-متر)، طول ریشه(۱۸/۵۲ سانتی‌متر)، شاخص سبزینگی (۳٤/۸۵) و محتوای نسبی آب برگ (۲٤/٤٤ درصد) در تیمار محلول‌پاشی پنج گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم حاصل شد. بنابراین، می‌توان بیان نمود که محلول‌پاشی ریحان با غلظت‌های مناسب نانوکلات پتاسیم در کاهش اثرهای منفی تنش کم‌آبی مؤثر می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: آنزیم پراکسیداز، پرولین، رطوبت ظرفیت گلدانی، شاخص سبزینگی، محتوای نسبی آب، وزن تر اندام‌هوایی.

* نویسنده مسئول
Email: Mh.shahriari@pgu.ac.ir

مقدمه

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به‌عنوان گیاهی دارویی، ادویه‌ای و هم‌چنین به‌صورت سبزی تازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. برگ‌های معطر این گیاه به‌صورت تازه یا خشک شده به‌عنوان چاشنی یا طعم‌دهنده غذا، نوشابه و شیرینی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ریحان دارای خواص دارویی مهم شامل کاهش‌دهنده قند خون، تب، عوامل استرس‌زا و ضد التهاب است (Omidbaigi, 2005). این گیاه موجب درمان بیماری‌های کبدی، زخم معده، اختلالات دستگاه گوارش، ورم مفاصل، شب‌کوری، چربی خون و تنگی نفس می‌شود (Kumar *et al*., 2012).

تولید غذا و استفاده از آب دو فرایند وابسته به هم هستند. افزایش جهانی تقاضا برای آب، محدودیت این منبع حیاتی، نیاز به تولید بیش‌تر برای رفع فقر و گرسنگی، پژوهش‌گران را بر آن داشته است تا به فکر تولید بیشتر با مصرف آب کمتر باشند. در چنین شرایطی ضروری است تا اولویت تخصیص منابع آبی بر مبنای حصول به حداکثر کارایی مصرف آب برنامه‌ریزی شود و از رسیدن به حداکثر تولید با مصرف کامل آب مورد نیاز اجتناب گردد (Hamdy, 2005).

تغذیه مناسب گیاه تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی به گیاه در تحمل تنش‌های محیطی کمک کند. پتاسیم از جمله عناصر ضروری است که با کاهش اتلاف آب از گیاه به‌صورت تبخیر و تعرق باعث مقاومت به تنش خشکی شده و موجب افزایش عملکرد در شرایط تنش رطوبتی می‌گردد. پتاسیم با اثر بر باز و بسته شدن روزنه‌ها، حفظ آماس سلولی، کاهش از دست‌رفتن آب و توازن آب در بافت‌های گیاهی موجب بالا بردن کارایی مصرف آب و کاهش اثر تنش خشکی می‌شود (Wyn Jones *et al*., 1979).

یکی از مهم‌ترین کاربردهای فن‌آوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی به‌خصوص در بخش آب و خاک، استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان می‌باشد. امروزه استفاده از نانوذرات به‌صورت اصلاح‌کننده‌های کودی جهت افزایش کارایی مصرف کود و کاهش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی رو به افزایش است. نانوکودها به‌دلیل رهاسازی آرام و کنترل‌شده مواد غذایی به‌منظور تأمین عناصر موردنیاز گیاه در هر دو روش یعنی جذب برگی یا ریشه‌ای نسبت به کودهای مرسوم برتری دارند. به‌کارگیری نانوکودها با هدف فراهم‌نمودن سریع عناصرغذایی برای گیاه به‌دلیل بر خورداری از راندمان بالاتر در جذب عناصر نسبت به کودهای مرسوم مؤثرتر می‌باشد (Nowack *et al*., 2013).

اثر تنش خشکی بر ریحان نشان داد که افزایش تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی و وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه گردید (Moghaddam *et al*., 2015; Pazoki, 2016; Mohamadnia *et al*., 2018). در بررسی کاربرد نانوتکنولوژی در کودها، نتایج نشان داد که استفاده از نانولایه‌های کنشی در طراحی و ساخت کودهای شیمیایی جدید، منجر به افزایش قابل‌ملاحظه کارایی مصرف عناصرغذایی و عملکرد محصول خواهد شد (DeRosa *et al*., 2010). در آزمایشی اثر نانوکود پتاسیم روی برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کدو تنبل در شرایط تنش خشکی بررسی شد، نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش قطر ساقه، هدایت روزنه‌ای، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ریشه، تعداد برگ و تعداد شاخه‌های جانبی گردید که با محلول‌پاشی نانوکود پتاسیم با بیش‌ترین غلظت (۲/۵ گرم در لیتر)، صفات اندازه‌گیری‌شده افزایش یافتند (Safavigerdini, 2012).

ازآن‌جاکه تولید نانوکلات پتاسیم فن‌آوری نوینی بوده که با کوچک کردن اندازه ذرات کلات پتاسیم در مقیاس

نانو، امکان فعالیت‌های آن را افزایش می‌دهد و باتوجه به این‌که می‌توان انتظار داشت که فن‌آوری نانو با کاربرد کم‌ترین مقدار مواد ضمن به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست موجب افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی تحت شرایط نامناسب از جمله تنش خشکی گردد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی محلول‌پاشی کود نانوکلات پتاسیم و کلات پتاسیم بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه ریحان تحت شرایط تنش کم‌آبیاری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦ در گلخانه و آزمایشگاه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه خلیج فارس بوشهر واقع در برازجان اجرا گردید. بستر کشت اصلی شامل ٦۵ درصد خاک مزرعه‌ای با بافت متوسط، ۳۰ درصد ماسه، پنج درصد کود دامی به‌همراه کود اوره (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و سوپرفسفات تریپل (۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) تهیه گردید. دو هفته پس از کشت بذور ریحان، تعداد بوته در هر گلدان به چهار بوته کاهش یافت. کلات و نانوکلات پتاسیم (۲۸٪ پتاسیم) مورد نیاز از شرکت فناور نانو پژوهش مرکزی (بیوزر) تهیه و در غلظت‌های ۰، ۱، ۳ و ۵ گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی در سه مرحله به فاصله هر دو هفته یک‌بار از هفته هفتم پس از کشت بذور انجام گردید. سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری نیز در هفته هفتم بعد از کشت بذور به‌مدت ۵۰ روز در چهار سطح رطوبتی خاک شامل، ٤۰، ٦۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی اعمال شد. به این صورت که در هر تیمار تعدادی گلدان جهت توزین تعیین گردید. پس از تأمین رطوبت هر گلدان و رسیدن به سطح رطوبتی ظرفیت گلدانی، وزن آن اندازه‌گیری و به‌عنوان وزن مرجع درنظر گرفته شد. این گلدان‌ها روزانه توزین شده و پس از رسیدن به سطح رطوبتی موردنظر، میزان کمبود وزن گلدان نسبت به وزن مرجع با آب تأمین گردید. گلدان‌های مربوط به هر تیمار، متناسب با گلدان مرجع تا حد ظرفیت گلدانی آبیاری شدند. با توجه به این‌که وزن گیاه در گلدان روی وزن مرجع تأثیر دارد، جهت تفریق وزن گیاه کاشته شده در گلدان، تعدادی گلدان به‌صورت کمکی در کنار گلدان مرجع در هر تیمار درنظر گرفته شد و در هر هفته گیاه کاشته‌شده در یکی از گلدان‌های مذکور به‌طور کامل (برگ، ساقه و ریشه) بیرون آورده و وزن گردید. این وزن در محاسبات مربوط به تعیین نیاز آبی لحاظ شد.

قبل از خارج کردن گیاهان از گلدان، از هر بوته در گلدان سه برگ میانی که به‌طور کامل نمو یافته انتخاب و با دستگاه SPAD متر مدل 502، شاخص سبزینگی آن‌ها قرائت گردید. ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. ریشه‌ها توسط آب به‌طور کامل شست‌وشو و طول ریشه اصلی ثبت شد. سپس قسمت ریشه از شاخساره جدا و وزن تر اندام‌هوایی اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، گیاهان به‌مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

برای محاسبه درصد نشت یونی برگ‌های تازه به‌طور دقیق با مواد شوینده و آب مقطر شسته شد و سپس با آب دوباره تقطیر آب‌کشی گردید. از هر برگ، دو دیسک به قطر یک سانتی‌متر تهیه گردید و به درون ارلن‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دوباره تقطیر منتقل شد. سپس در دمای اتاق روی شیکر قرار گرفت و پس از ۲٤ ساعت هدایت الکتریکی آب داخل ارلن به‌وسیله ای‌سی‌متر اندازه‌گیری شد (EC_1). ظرف‌های حاوی نمونه به‌مدت یک ساعت درون اتوکلاو قرار گرفت و مجددا هدایت الکتریکی نمونه‌ها ثبت شد (EC_2). در نهایت نشت یونی با رابطه (۱) محاسبه گردید (Lutts *et al.*, 1996).

(۱) نشت یونی (٪) = $\frac{EC_1}{EC_2}$ ×۱۰۰

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ در هر تکرار چهار دیسک برگ تازه به قطر یک سانتی‌متر تهیه و به‌وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن تر آن‌ها مشخص گردید. دیسک‌های برگی به‌مدت چهار ساعت در داخل آب مقطر قرار گرفت و سپس وزن برگ آماس‌شده اندازه‌گیری شد. دیسک‌ها در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲٤ ساعت خشک و سپس توزین گردید و محتوای نسبی آب با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (Ghoulam *et al*., 2002).

(۲) محتوای نسبی آب برگ (٪) =

۱۰۰× [(وزن خشک- وزن آماس) / (وزن خشک- وزن تر)]

اندازه‌گیری آنزیم پراکسیداز براساس میزان اکسید شدن گایاکول توسط این آنزیم انجام گردید. در این روش نیم گرم نمونه برگی در ازت مایع کاملاً خرد و با دو میلی‌لیتر بافر استخراج مخلوط شد و مخلوط حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰ سانتریفیوژ (Hermle مدل Z36HK) گردید. سپس فاز بالایی آن جدا شد.۳۳ میکرولیتر از عصاره استخراج‌شده را با یک میلی‌لیتر از محلول پراکسیداز مخلوط و به‌مدت یک دقیقه به فواصل ۱۰ ثانیه در طول موج ٤۷۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر میزان جذب آن خوانده شد (Chance & Maehly, 1995).

برای اندازه‌گیری غلظت پرولین نیم گرم برگ تازه از هر نمونه در ۱۰ میلی‌لیتر محلول آبی اسید سولفوسالیسیلیک سه‌درصد قرار داده و در هاون چینی به‌طور کامل مخلوط و له گردید. مخلوط حاصل از کاغذ صافی واتمن شماره ٤۲ عبور داده شد. سپس دو میلی‌لیتر از محلول حاضر را با دو میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین مخلوط نموده و دو میلی‌لیتر اسید استیک به هر لوله افزوده شد. نمونه‌ها به‌مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرارگرفتند. پس از خارج کردن از حمام بلافاصله به‌مدت چند دقیقه در حمام یخ قرار داده شد. به هر لوله آزمایش چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و نمونه‌ها با ورتکس به‌مدت یک دقیقه به‌هم‌زده شدند. پس از تشکیل دو فاز قابل‌تشخیص، از فاز رویی برای تعیین غلظت پرولین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Spectronic 20D) در طول موج ۵۲۰ نانومتر با کمک منحنی استاندارد پرولین استفاده شد (Bates *et al*., 1973).

این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. آنالیز داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.1 و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

ارزیابی نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای مستقل تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم بر تمامی صفات اندازه‌گیری‌شده در سطح یک درصد احتمال معنی‌دار بود. اثرهای دوگانه تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی پتاسیم تنها بر شاخص سبزینگی، محتوای پرولین و آنزیم پراکسیداز در سطح یک درصد و بر وزن تر اندام هوایی و ارتفاع گیاه ریحان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱).

وزن تر اندام هوایی

بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن تر اندام هوایی ریحان در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم بر وزن تر شاخساره نشان داد که بیش‌ترین وزن تر اندام‌هوایی در تیمار نانوکلات پتاسیم با غلظت پنج گرم در لیتر در

شرایط آبیاری ۱۰۰درصد ظرفیت گلدانی به‌دست آمد، اگرچه با تیمار نانوکلات پتاسیم با غلظت سه گرم در لیتر در شرایط آبیاری ۱۰۰درصد تفاوت معنی‌داری نداشت، اما با سایر تیمارها در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). هم‌چنین مشاهده شد که اعمال تنش کم‌آبیاری و افزایش سطح آن موجب کاهش وزن تر اندام هوایی در تمام غلظت‌های به‌کاررفته کلات پتاسیم و نانوکلات پتاسیم گردید به‌گونه‌ای که کم‌ترین میزان وزن تر اندام‌هوایی در تیمار ٤٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی در محلول‌پاشی غلظت صفر به‌دست آمد (جدول۲). به‌طورکلی این نتایج نشان داد که افزایش غلظت پتاسیم محلول‌پاشی‌شده موجب افزایش وزن تر اندام‌هوایی ریحان گردیده است، هم‌چنین محلول‌پاشی پتاسیم به صورت نانوکلات تأثیر بیشتری بر افزایش وزن تر شاخساره ریحان داشته است (جدول۲).

تنش آبی به‌طور مستقیم می‌تواند بر فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به‌طور غیرمستقیم ورود دی‌اکسیدکربن به داخل روزنه‌ها که به‌علت شرایط کم‌آبی بسته‌اند را کاهش دهد. از این رو انتقال مواد فتوسنتزی تحت تنش آب قرار گرفته و موجب اشباع برگ‌ها از این مواد می‌گردد که ممکن است فتوسنتز را محدود نماید. بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و نهایتاً عملکرد آن دچار نقصان می‌شود.

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم بر صفات اندازه‌گیری‌شده ریحان تحت تنش کم‌آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	وزن خشک اندام‌هوایی	وزن تر اندام‌هوایی	وزن خشک ریشه	طول ریشه	شاخص سبزینگی	نشت یونی	محتوای نسبی آب برگ	پرولین	آنزیم پراکسیداز
بلوک	۲	٤/٥٤^{ns}	٤/٥١ ^{ns}	۱۲/۰٤^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۳۳/٥۲ ^{ns}	۸/۲۸ ^{ns}	۱۱/۷۹^{ns}	۲۱/۹۱^{ns}	۲۳/۱۱^{ns}	۲۷۸٥۹۰^{ns}
تنش	۳	۷۹/۷۲**	۳/٤۲**	۳۳۸/۰۲**	۰/٥۳**	٤٤/۱۷**	۱۹۸/۷**	۱۹٦/٥۳**	٤۱۰/۸۲**	۳۳۳۹٥/۹۱**	۲۰۷٦۲٤۸۲٦**
محلول‌پاشی	٦	٥٦/۲۸**	٤/۷۷**	۷۳/۲٦**	۰/۳۰**	۲۸/۹۷**	٦۸/۷۳**	۳۰۰/۸٥**	۹٤/۰۰**	۲۷۱۲/٦۰**	۹۸٤٤۲٤۰**
تنش× محلول‌پاشی	۱۸	۲/۷۱*	۰/۱۰ ^{ns}	۳/۳۸*	۰/۰۰^{ns}	۰/۷٦^{ns}	۲/٤۹**	٥۱/۱٦^{ns}	۹/۷٤^{ns}	٥٦٥/۹۹**	۸۹۸۲۲٤**
خطا	٥٤	/۱/۲٤	۰/۱۸	۱/٦۷	۰/۰۱	۱/۳٦	۰/۲٥	۳۰/۷۸	۷/۲۱	۱٤۰/۲۷	۲۷۸۷۰۳
ضریب تغییرات(درصد)		۳/۱٦	۱۰/۷۸	٥/۷٦	۹/۰۰	۷/۱۷	۱/٥٥	۸/۹۲	۱۲/۷۸	۱۰/۸۳	۷/۷٦

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشند.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم بر وزن تر اندام‌هوایی (گرم) ریحان

رطوبت ظرفیت گلدانی (٪)	کلات پتاسیم (g/L)				نانوکلات پتاسیم (g/L)			میانگین
	صفر	۱	۳	٥	۱	۳	٥	
۱۰۰	۲۰/۹۸g-k	۲٦/۸۱bc	۲۷/۰۸bc	۲۷/۸۰b	۲۸/۰۳b	۳۰/٤۹a	۳۲/۰۰a	۲۷/٥۹A
۸۰	۱۹/۷۷i-l	۲۱/٤۲f-j	۲۲/۲٥e-h	۲۲/۸٤e-g	۲٤/٥۲de	۲٥/۳۸cd	۲۸/۱۷b	۲۳/٤۸B
٦۰	۱۸/۱۱lm	۱۸/۷۱k-m	۱۸/٥۷k-m	۱۹/٥۰j-l	۲۰/۹۹g-k	۲۲/۰۰f-i	۲۳/۷۰d-f	۲۰/۲۲C
٤۰	۱٦/۳۳m	۱٦/۲۹m	۱۷/٦۷lm	۱۸/٦٥k-m	۱۹/۰۷j-l	۱۹/۹٤h-l	۲۱/۲۹g-j	۱۸/٤٦D
میانگین	۱۸/۷۷F	۲۰/۸۱E	۲۱/۳۹DE	۲۲/۲۰CD	۲۳/۱٥C	۲٤/٤٥B	۲٦/۲۹A	

اعداد دارای حروف کوچک لاتین مشترک میانگین‌های مربوط به اثرهای متقابل هستند که از لحاظ آماری در سطح احتمال ٥ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. اعداد دارای حروف لاتین بزرگ در ردیف آخر (میانگین) اثرهای ساده سطوح مختلف کلات و نانوکلات پتاسیم و اعداد ستون انتهایی اثرهای ساده سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری را نشان می‌دهند.

در بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری (شاهد، تنش متوسط ۷۵ و تنش شدید ۵۰ درصد ظرفیت گلدانی) بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سه رقم اصلاح‌شده ریحان نتایج نشان داد که سطوح مختلف تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر در ارقام مختلف داشت (Moghaddam *et al*., 2015). اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیکی ریحان (Mohamadnia *et al*., 2018) و آویشن (Babaee *et al*., 2010) نشان داد که افزایش تنش خشکی موجب کاهش وزن تر گیاهان گردید.

وجود پتاسیم کافی باتوجه به نقشی که در حفظ پتانسیل آبی گیاه و جلوگیری از هدررفتن آب دارد در شرایط تنش آبی سبب حفظ فعالیت فتوسنتزی و جلوگیری از کاهش شدید فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد. با افزایش میزان پتاسیم تثبیت دی‌اکسیدکربن به‌دلیل کارکرد مطلوب روزنه‌ها افزایش یافته و درنتیجه میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد. افزایش پتاسیم با افزایش تولید ATP موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی می‌شود و کمبود پتاسیم موجب ریزش برگ‌ها و کاهش وزن اندام‌هوایی گیاه می‌گردد. هم‌چنین اثر پتاسیم بر رشد به این دلیل است که این عنصر در ساخت مواد هیدروکربنی در گیاه نقش داشته و کمبود پتاسیم در گیاه با کاهش فتوسنتز و افزایش تنفس گیاه همراه است. کم‌شدن مواد هیدروکربنی گیاه در اثر تغییرات فتوسنتز و تنفس سبب کاهش تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود (Tabatabaei, 2009). یکی دیگر از تأثیرات عمده پتاسیم افزایش بازجذب مواد غذایی ذخیره‌شده و افزایش انتقال در آوند آبکش به سمت مخازن می‌باشد و در نتیجه باعث افزایش عملکرد می‌گردد.

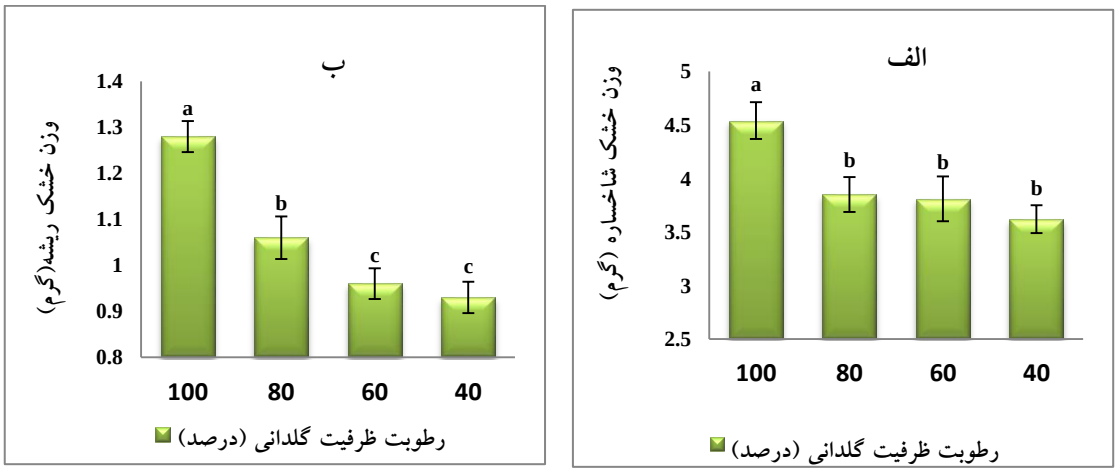
نانوکودها به‌سرعت و به‌صورت کامل جذب گیاه شده و به‌خوبی نیازها و کمبودهای غذایی را مرتفع می‌سازد. نانوکودها به‌دلیل رهاسازی کنترل‌شده عناصر غذایی در تمام فصل رشد، سبب افزایش ظرفیت نگه‌داری آب و فراهمی جذب بیشتر عناصر غذایی، افزایش میزان فتوسنتز و ماد خشک گیاهی گردیده که این مسأله درنهایت منجر به افزایش عمل‌کرد شده است. افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی گندم در حضور نانوپتاسیم تأیید گردیده است (Tavan *et al*., 2014). پژوهش‌گران بیان نمودند که محلول‌پاشی برگ‌های کدو تنبل با کود نانوپتاسیم سبب افزایش وزن تر آن گردید (Safavigerdini, 2012).

وزن خشک اندام هوایی و ریشه

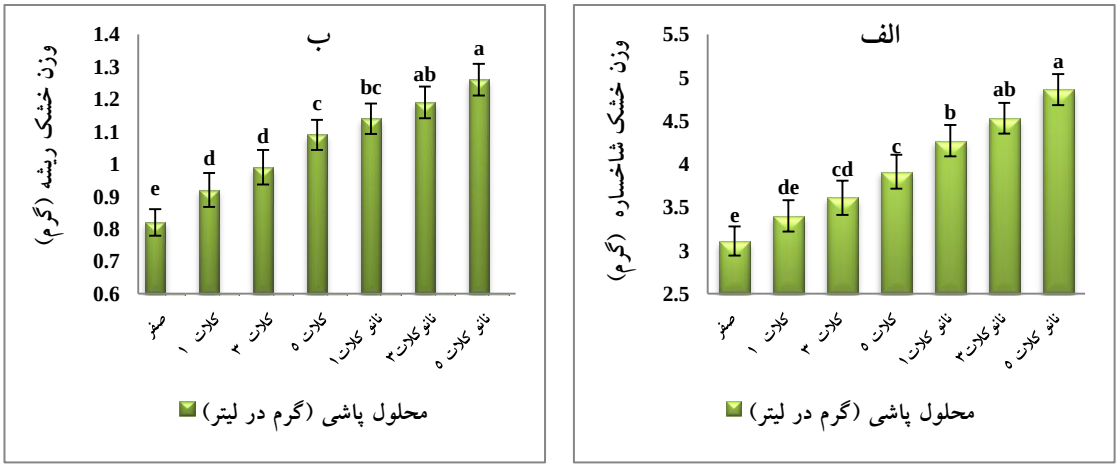
نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثرهای مستقل تنش و محلول‌پاشی بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما اثرهای متقابل آن‌ها معنی‌دار نگردید (جدول ۱). نتایج مستقل تنش کم‌آبیاری نشان داد که با افزایش سطح تنش کم‌آبیاری وزن خشک شاخساره و وزن خشک ریشه کاهش یافت، به‌طوری‌که کم‌ترین میزان وزن خشک شاخساره در سطح ٤٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی مشاهده شد و باعث کاهش ۲۰/۲٦ درصدی نسبت به شرایط آبیاری ۱۰۰درصد گردید، اگرچه تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف ٤٠، ٦٠ و ٨٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی در سطح احتمال پنج درصد مشاهده نشد (شکل ۱- الف). بیش‌ترین وزن خشک ریشه در شرایط آبیاری ۱۰۰درصد و کم‌ترین وزن خشک ریشه در سطح ٤٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی مشاهده شد و باعث کاهش ۳٤/٥٥ درصدی نسبت به تیمار۱۰۰درصد رطوبت ظرفیت گلدانی گردید که با میزان به‌دست‌آمده در سطح تنش٦٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱- ب). محلول‌پاشی کلات پتاسیم و نانوکلات پتاسیم باعث افزایش وزن خشک شاخساره و ریشه ریحان گردید به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار وزن

خشک شاخساره و ریشه در غلظت پنج گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم حاصل گردید اگرچه با تیمار سه گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲- الف و ب). البته مقایسه محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم نشان داد که تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم نسبت به کلات پتاسیم بر وزن خشک ریحان بیشتر بوده است.

بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با رشد، فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی و تقسیم و توسعه سلولی تحت تأثیر کاهش آب قرار گرفته و از طرفی معمولاً تنش آبی فتوسنتز را سریع‌تر و با شدت بیشتری نسبت به تنفس کاهش می‌دهد. به‌همین دلیل تنش خشکی باعث کاهش تجمع ماده خشک گیاهی می‌گردد. وزن خشک بالاتر نشان‌دهنده کارایی گیاه در تولید مواد فتوسنتزی و ارسال آن به اندام‌های در حال رشد است. هر گونه تنش در رشد گیاه به‌طور مستقیم وزن خشک را متأثر می‌سازد و موجب کاهش آن می‌گردد (Vannozzi *et al.*, 1998).



شکل ۱. مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری بر وزن خشک شاخساره (الف) وزن خشک ریشه (ب). حروف غیریکسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.



شکل ۲. تأثیر محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم بر وزن خشک شاخساره (الف) و وزن خشک ریشه ریحان (ب). حروف غیریکسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

هنگام تنش خشکی گیاه روزنه‌های خود را بسته و این امر باعث کاهش میزان کربن‌گیری و فتوسنتز می‌شود و نبودن تورژسانس سلولی مانع از تقسیم سلول‌ها شده که این عوامل باعث کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود (Malekoti *et al*., 1999). علاوه‌براین کمبود رطوبت خاک کاهش انتقال موادغذایی به سطح ریشه گیاه را به‌همراه دارد که مانع از جذب موادغذایی کافی توسط گیاه می‌شود به‌طوری‌که گیاه علاوه‌بر کمبود آب از کمبود مواد غذایی نیز رنج می‌برد (Malekoti *et al*., 1999).

کاهش وزن خشک ریشه در اثر افزایش تنش خشکی دلالت بر تحت تأثیر قرار گرفتن ریشه به‌عنوان یکی از اجزای گیاه در اثر این پدیده محیطی دارد. در واقع با پیشرفت تنش خشکی هم‌چنان‌که فتوسنتز برگ کاهش پیدا می‌کند احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاه زیاد شده و به دنبال آن رشد ریشه به‌طور اجتناب‌ناپذیری متوقف می‌شود. کاهش وزن خشک اندام‌هوایی ریحان با افزایش دور آبیاری (Mohamadnia *et al*., 2018) و کاهش وزن خشک ریشه سویا در شرایط تنش آبی گزارش شده است (Niknam *et al*., 2006). مطالعات دیگر نیز نشان داد که کم‌آبیاری بر وزن خشک ریشه گوجه‌فرنگی اثر کاهشی داشت (Molavi *et al*., 2011). در پژوهشی که به‌ترتیب روی بادمجان (Fawzy *et al*., 2007) و گوجه‌فرنگی (Nanadal *et al*., 1998) انجام گرفت، نتایج نشان داد که پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر افزایش وزن خشک شاخساره داشت.

ارتفاع گیاه

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی بر ارتفاع ریحان در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم در تنش کم‌آبیاری نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه مربوط به‌شرایط آبیاری ۱۰۰درصد به‌همراه محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم با غلظت پنج گرم در لیتر بوده که با تیمار نانوکلات پتاسیم با غلظت سه گرم در لیتر در همین سطح تنش کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری نداشت اما با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). افزایش تنش کم‌آبیاری ارتفاع گیاه را کاهش داد و کم‌ترین ارتفاع در تیمار ٤٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی در محیط فاقد محلول‌پاشی مشاهده شد. اما محلول‌پاشی تیمارهای کودی موجب افزایش ارتفاع گیاه گردید (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم بر ارتفاع (سانتی‌متر) گیاه ریحان

رطوبت ظرفیت	کلات پتاسیم (g/L)				نانو کلات پتاسیم (g/L)			میانگین
گلدانی (٪)	صفر	۱	۳	۵	۱	۳	۵	
۱۰۰	۳۲/۵۵i-m	۳٤/۲۲d-g	۳٦/۲۲c-e	۳۸/۲۲bc	۳۸/۲۲bc	۳۹/۵۵ab	٤۰/۵۵a	۳۷/۰۸A
۸۰	۳۱/۱۱i-m	۳٤/۷۷d-h	۳٦/۳۳cd	۳٦/۲۲c-e	۳۸/۳۳b	۳۸/۹۹Ab	۳۹/۸۹ab	۳٦/۵۲A
٦۰	۳۲/۱۱j-l	۳۲/٤٤j-l	۳۳/۵۵g-l	۳٤/۱۱e	۳٤/٦٦d-h	۳۵/۱۱d-g	۳٦/۲۲c-f	۳٤/۰۳B
٤۰	۳۰/٦٦m	۳۱/۸۹k-m	۳۲/۷۷h-m	۳۳/۱۱ab	۳۳/۵۵g-k	۳٤/۰٤g-j	۳۵/۱۱d-g	۳۳/۰۲C
میانگین	۳۱/٦۱F	۳۳/۳۳E	۳٤/۷۲D	۳۵/٤۱C	۳٦/۱۹BC	۳٦/۹۲B	۳۷/۹٤A	

اعداد دارای حروف کوچک لاتین مشترک میانگین‌های مربوط به اثرهای متقابل هستند که از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. اعداد دارای حروف لاتین بزرگ در ردیف آخر (میانگین) اثرهای ساده سطوح مختلف کلات و نانوکلات پتاسیم و اعداد ستون انتهایی اثرهای ساده سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری را نشان می‌دهند.

ارتفاع بوته نشانه‌ای از میزان رشد رویشی است که به‌طور قابل‌توجهی در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد. تغییرات ارتفاع گیاه معمولاً بارزترین تغییر ناشی از شرایط رشد در اغلب گیاهان می‌باشد. تنش خشکی سبب کاهش رشد و تقسیم سلولی و درنتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود. با افزایش آب قابل‌دسترس رشد بوته نسبت به شرایط کمبود آب افزایش یافته و درنتیجه ارتفاع بوته افزایش می‌یابد. رشد گیاه نه تنها به تجمع مواد خام از طریق فتوسنتز و جذب عناصر بستگی دارد بلکه به حفظ پتانسیل فشاری آب در گیاه جهت طویل شدن سلول‌ها نیز وابسته است. پتاسیم در گیاهان با اثر در حفظ پتانسیل آب سلول و کمک به جذب آب توسط گیاه بر رشد سلول‌ها اثر می‌گذارد و باعث طویل شدن سلول‌ها و درنتیجه افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Header & Beringer, 1981). نتایج پژوهش حاضر با نتایج دیگر محققین که کاهش ارتفاع گیاه ریحان در اثر تنش خشکی را گزارش کرده‌اند مطابقت دارد (Moghaddam *et al.*, 2015; Pazoki, 2016; Mohamadnia *et al.*, 2018).

گزارش شده است که اثر تیمارهای آبیاری ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی بر گیاه بومادران، مریم‌گلی، همیشه‌بهار و بابونه مؤثر بوده است. آن‌ها بیان کردند که با تشدید تنش خشکی وزن اندام هوایی و ارتفاع بوته در تمام گیاهان مطالعه شده کاهش یافت (Sharifi Ashoorabadi *et al.*, 2005).

عنوان شده است که رابطه تنگاتنگی بین پتاسیم، رشد بافت‌های مریستمی و نیز تقویت اثر این عنصر بر هورمون‌های رشد نظیر جیبرلین و اکسین وجود دارد که این امر رشد طولی سلول‌ها و درنتیجه رشد طولی اندام‌های گیاهان را به‌دنبال دارد (Shabala, 2003). در بررسی اثر تنش خشکی و کود پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مرزه نتایج نشان دادند که با اعمال تنش خشکی ارتفاع کاهش یافت اما کاربرد پتاسیم باعث افزایش ارتفاع گردید (Pourjavadian *et al.*, 2015).

طول ریشه

بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی بر طول ریشه معنی‌دار نبود و تنها اثر ساده تنش و محلول‌پاشی در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). با افزایش سطح تنش کم‌آبیاری طول ریشه افزایش یافت و بیش‌ترین طول ریشه در سطح ٤٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی مشاهده گردید اگرچه با سطح تنش ٦٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین طول ریشه در شرایط آبیاری ۱۰۰درصد حاصل شد که با طول ریشه در تیمار ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی از لحاظ آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳- الف). نتایج مربوط به تأثیر محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم بر طول ریشه نشان داد که با افزایش غلظت پتاسیم طول ریشه افزایش پیدا کرد به‌طوری‌که بیش‌ترین طول ریشه در غلظت پنج گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم حاصل گردید و باعث افزایش٣٢/٤١ درصدی طول ریشه نسبت به تیمار صفر محلول‌پاشی شد و با سایر سطوح پتاسیم دارای تفاوت معنی‌داری بود. مقایسه تأثیر کلات و نانوکلات پتاسیم بر طول ریشه نیز بیانگر تأثیر بیشتر نانوکلات بر افزایش طول ریشه می‌باشد (شکل ۳- ب).

طول ریشه به‌عنوان شاخصی برای توانایی گیاهان جهت جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک و نفوذپذیری بهتر ریشه‌ها در خاک محسوب می‌شود. افزایش نسبت ریشه به ساقه عمدتاً مربوط به کاهش بیشتر زیست توده اندام‌هوایی نسبت به ریشه در شرایط تنش خشکی است. سیستم ریشه‌ای در جذب آب اهمیت زیادی دارد به‌طوری‌که سیستم‌های ریشه‌ای عمیق و گسترده قادرند

رطوبت را از بخش‌های زیرین خاک با کارایی جذب بالاتر جذب نمایند. بنابراین توسعه سیستم ریشه‌ای، سبب افزایش کارایی جذب آب از خاک می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که رفتار ریشه گیاه متأثر از تنش رطوبتی خاک بوده و با افزایش تنش رطوبتی، ریشه‌ها به‌دنبال رطوبت بوده و در اعماق که رطوبت بیشتری در دسترس بوده است توسعه بیشتری یافته‌اند (Kulkarni & Phalke, 2009). محققین گزارش کردند که در اثر تنش آبی طول ریشه افزایش یافت (Kargar *et al.*, 2004; Mohamadnia *et al.*, 2018). محلول‌پاشی نانوپتاسیم در گندم باعث افزایش طول ریشه شد (Tavan *et al.*, 2014). در پژوهشی دیگر نشان داده شد که اسپری کردن برگ‌های گیاه کدو تنبل با کود نانوپتاسیم سبب افزایش طول ریشه گردید (Safavigerdini, 2012).

شاخص سبزینگی

نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی‌دار بودن اثرهای متقابل تنش و محلول‌پاشی بر شاخص سبزینگی در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم در شرایط تنش کم‌آبیاری نشان داد که بیش‌ترین میزان شاخص سبزینگی برگ مربوط به شرایط آبیاری ۱۰۰درصد به همراه محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم با غلظت پنج گرم در لیتر بوده که با تیمار نانوکلات پتاسیم با غلظت‌های یک و سه گرم در لیتر در همین سطح تنش کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری نداشت اما با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ٤). افزایش تنش کم‌آبیاری، شاخص سبزینگی برگ را کاهش داد و کم‌ترین میزان شاخص سبزینگی در تیمار ٤٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی در محیط فاقد محلول‌پاشی مشاهده شد اما محلول‌پاشی تیمارهای کودی موجب افزایش شاخص سبزینگی گیاه گردید. اگر چه تأثیر کاربرد پتاسیم به صورت نانوکلات تأثیر بیشتری بر افزایش شاخص سبزینگی برگ گیاه ریحان داشته است (جدول٤).

شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر تنش کم‌آبیاری. (الف) محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم، (ب) بر طول ریشه ریحان. حروف غیریکسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

جدول ٤. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم بر شاخص سبزینگی ریحان

رطوبت ظرفیت گلدانی (٪)	کلات پتاسیم (g/L)				نانو کلات پتاسیم (g/L)			میانگین
	صفر	١	٣	٥	١	٣	٥	
١٠٠	٣٠/٣٣kl	٣٣/٦٧ef	٣٤/١٣de	٣٥/٣٣c	٣٨/٤٣a	٣٨/٨٣a	٣٩/٢٧a	٣٥/٧١A
٨٠	٢٩/٩٧k-m	٣٠/١٣kl	٣٠/٤٠kl	٣٣/٢٧fg	٣٤/٩٣cd	٣٥/٦٣c	٣٦/٨٣b	٣٣/٠٢B
٦٠	٢٧/٦٠q	٢٩/٠٧No	٢٩/٢٠m-o	٣٠/٠٧k-m	٣١/٣٧ij	٣١/٩٣hi	٣٢/٥٧gh	٣٠/٢٦C
٤٠	٢٥/٩٠r	٢٧/٥٠q	٢٨/١٠pq	٢٨/٨٠op	٢٩/٧٧l-n	٣٠/٥٣j-l	٣٠/٧٣Jk	٢٨/٧٦D
میانگین	٢٨/٤٥F	٣٠/٠٩E	٣٠/٤٦E	٣١/٨٧D	٣٣/٦٣C	٣٤/٢٣B	٣٤/٨٥A	

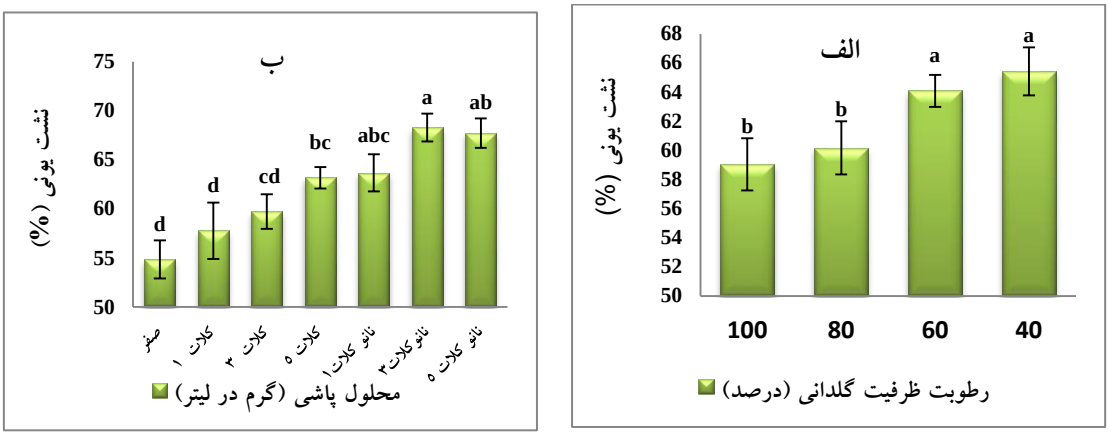
اعداد دارای حروف کوچک لاتین مشترک میانگین‌های مربوط به اثرهای متقابل هستند که از لحاظ آماری در سطح احتمال ٥ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. اعداد دارای حروف لاتین بزرگ در ردیف آخر (میانگین) اثرهای ساده سطوح مختلف کلات و نانوکلات پتاسیم و اعداد ستون انتهایی اثرهای ساده سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری را نشان می‌دهند.

کاهش شاخص سبزینگی در شرایط تنش آبی احتمالاً به‌دلیل افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و هم‌چنین اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی است. به‌نظر می‌رسد افزایش شاخص سبزینگی به‌دلیل بالا رفتن فعالیت‌های فتوسنتزی ناشی از افزایش محتوای نسبی کلروفیل برگ‌ها به‌واسطه نقش پتاسیم در سنتز پیش‌ماده رنگدانه‌های کلروفیل باشد و افزایش نسبی کلروفیل در برگ‌ها تبدیل انرژی تابشی به شکل انرژی شیمیایی در کلروپلاست‌ها بهبود می‌بخشد.

افزایش نیاز به پتاسیم در گیاهان تحت تأثیر تنش خشکی وابسته به این حقیقت است که پتاسیم در حفظ تثبیت دی‌اکسیدکربن فتوسنتزی مؤثر است. تعیین غلظت کلروفیل می‌تواند به‌عنوان روشی برای بررسی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان استفاده شود (Chen & Barak, 1982). محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم موجب افزایش شاخص سبزینگی گیاه نسبت به کلات پتاسیم گردید. به‌نظر می‌رسد جذب بیش‌تر پتاسیم در شکل نانوکلات باعث این افزایش شده است.

نشت یونی

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی بر صفت نشت یونی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نگردید اما اثرهای ساده آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ١). نتایج نشان داد که با افزایش سطح تنش کم‌آبیاری، نشت یونی افزایش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین نشت یونی در سطح ٤٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی با میانگین ٣٢/٦٥ درصد مشاهده گردید اگرچه با سطح تنش ٦٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین میزان نشت یونی در شرایط ١٠٠درصد رطوبت ظرفیت گلدانی با میانگین ٠٣/٥٩ درصد حاصل شد که با میزان نشت یونی در سطح ٨٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ٤- الف). با افزایش غلظت کودی نشت یونی افزایش پیدا کرد به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان نشت یونی در غلظت پنج گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم حاصل گردید و باعث افزایش ٩٧/٣٢ درصدی نشت یونی نسبت به تیمار صفر محلول‌پاشی شد که تنها با سطوح کودی کلات پتاسیم دارای تفاوت معنی‌دار بود. مقایسه تأثیر کلات و نانوکلات پتاسیم بر نشت یونی نیز بیانگر تأثیر بیشتر نانوکلات پتاسیم بر افزایش نشت یونی می‌باشد (شکل ٤- ب).



شکل ٤. مقایسه میانگین تأثیر تنش کم‌آبیاری. (الف) و محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم، (ب) بر نشت یونی ریحان. حروف غیریکسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

میزان هدایت الکتریکی در محیط آبی خسارت تنش خشکی را به غشای سلولی نشان می‌دهد و میزان پایداری غشای سلولی به خوبی با تحمل سایر فرآیندهای گیاهی به تنش از جمله فتوسنتز مرتبط است و به‌عنوان شاخصی از تحمل به تنش ارائه شده است. به‌نظر می‌رسد که پایداری غشای سلولی در تنش‌ها با سنتز پروتئین‌های شوک گرمایی و ویژگی‌های سیستم فتوسنتزی، از جمله آنزیم‌های کلیدی و غشاهای تیلاکوئیدی مرتبط است و غشای سلولی که پایداری خود را در طی تنش حفظ می‌کند نقش محوری در تحمل به خشکی دارد. تحت تنش خشکی و گرما غشای سلولی پایداری خود را از دست داده و در صورت قرار گرفتن برگ در یک محیط آبی مواد محلول از سلول‌های آن تراوش می‌یابد، لذا پایداری غشا به‌وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن تعیین می‌شود.

استفاده از کلات و نانوکلات پتاسیم نیز باعث افزایش نشت یونی گردید چون احتمالاً افزایش نشت یونی با مصرف پتاسیم، بیشتر به‌علت افزایش فشار اسمزی ناشی از وجود این عنصر در سلول می‌باشد. در بررسی اثر تنش خشکی روی گیاه سویا نشان داده شد که در شرایط تنش شدید میزان نشت یونی در مقایسه با تنش ملایم و عدم تنش خشکی بیشتر بود (Pourmusavi *et al.*, 2006). در بررسی اثر تنش خشکی بر گیاه لوبیا نتایج نشان داد که در تنش سه و نه روز با افزایش شدت تنش میزان نشت الکترولیتی افزایش یافت اما تنش نه روز نسبت به سه روز آسیب بیشتری به غشای سلولی وارد نمود (Boroujerdnia *et al.*, 2016).

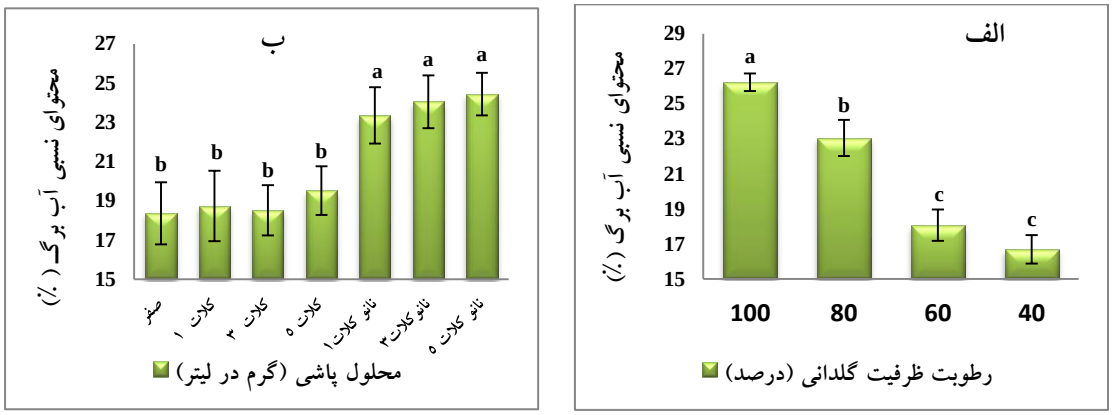
محتوای نسبی آب برگ

بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای متقابل تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار نگردید و تنها اثرهای ساده آن‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج اثر تنش کم‌آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ در شرایط آبیاری ۱۰۰درصد با میانگین ۲۲/۲٦ و کم‌ترین درصد محتوای نسبی آب برگ در سطح ٤۰ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی مشاهده گردید و باعث کاهش ۳۸/۳٦ درصدی نسبت به شرایط ۱۰۰درصد رطوبت ظرفیت گلدانی شده است که با

میزان به‌دست‌آمده در سطح تنش ٦٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ٥- الف). نتایج مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی کلات پتاسیم و نانوکلات پتاسیم بر محتوای نسبی آب برگ ریحان نشان داد که افزایش غلظت پتاسیم در محلول‌پاشی باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ ریحان گردید به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد محتوای نسبی آب برگ در تیمار محلول‌پاشی پنج گرم در لیتر نانو کلات پتاسیم حاصل گردید و باعث افزایش ٩٧/٣٢ درصدی نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) شد هرچند با میزان محتوای نسبی آب برگ به‌دست‌آمده در غلظت یک و سه گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشت. البته مقایسه تیمارهای محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم نشان داد که تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم نسبت به کلات پتاسیم بر محتوای نسبی آب برگ بیشتر بوده است (شکل ٥- ب).

بسیاری از پژوهش‌گران معتقد هستند که کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش کم آبی مربوط به انسداد روزنه‌ها می‌باشد و علت انسداد روزنه‌ها را تجمع هورمون آبسیزیک اسید می‌دانند، به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی این هورمون در ریشه‌ها ساخته شده و در سلول‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد (Link *et al.*, 2007). به‌نظر می‌رسد که بین محتوای نسبی آب برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد که با کاهش رطوبت خاک و ایجاد تنش، درصد محتوای نسبی آب برگ کاهش پیدا می‌کند.

پژوهش‌های مختلف نشان داد که محتوای نسبی آب برگ با افزایش سطح تنش خشکی کاهش یافت (Link *et al.*, 2007)، که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در بررسی بر روی گیاه بیان کردند که محتوای نسبی آب برگ ممکن است تعادل بین آب تأمین شده برای برگ و سرعت تعرق را بهتر از سایر اجزای روابط آبی منعکس نماید، بنابراین آن را شاخص مناسبی برای نشان دادن وضعیت آبی برگ دانستند (Chance & Maehly, 1955). مقایسه میزان محتوای نسبی آب در سطوح مختلف آبیاری بر گیاه لوبیا نشان داد که با افزایش شدت تنش از میزان محتوای نسبی آب کاسته شد به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار محتوای نسبی آب مربوط به شرایط شاهد یا صد در صد ظرفیت زراعی به میزان ٨٤/٦٦ درصد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به سطح تنش ٣٠ درصد به میزان ٥٢/٩٥ درصد گزارش شد (Boroujerdnia *et al.*, 2016). در آزمایشی که بر روی لوبیا چیتی انجام شد نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ در ارقام مورد بررسی کاهش یافت (Soheili Movahhed *et al.*, 2017).



شکل ٥. مقایسه میانگین تنش کم‌آبیاری. (الف) و محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم، (ب) بر محتوای نسبی آب برگ در گیاه ریحان. حروف غیریکسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

کاربرد کلات و نانوکلات پتاسیم باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ شد. با توجه به نقش پتاسیم در هدایت روزنه‌ای، حفظ و نگهداری آب با کاربرد پتاسیم تحت شرایط تنش می‌تواند دلیل افزایش کارایی مصرف آب و نسبت تعرق کمتر توصیف شود. کاربرد سولفات پتاسیم میزان رشد گیاه آفتابگردان را افزایش داد، که آن را نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتز و محتوای نسبی آب برگ‌ها دانستند (Akram *et al*., 2009).

پرولین

نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی‌دار بودن اثرهای متقابل تنش و محلول‌پاشی بر میزان پرولین در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم در تنش کم‌آبیاری نشان داد که بیش‌ترین میزان پرولین در تیمار تنش خشکی ٤٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی به همراه محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم با غلظت پنج گرم در لیتر بوده که با تیمار نانوکلات پتاسیم با غلظت یک گرم در لیتر و تیمار محلول‌پاشی غلظت صفر در همین سطح تنش خشکی اختلاف معنی‌داری نداشت اما با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). افزایش تنش خشکی میزان پرولین گیاه را افزایش داد و کم‌ترین میزان پرولین در شرایط ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی در تیمار یک گرم در لیتر محلول‌پاشی مشاهده شد. محلول‌پاشی تیمارهای کودی موجب افزایش پرولین گیاه گردید (جدول ۵).

تجمع پرولین یکی از روش‌های قابل‌توجه متابولیکی است که به‌عنوان ماده تنظیم‌کننده اسمزی در گیاهان تحت تنش‌های خشکی، شوری، دماهای پایین و سایر عواملی که باعث کاهش پتانسیل آب در سلول می‌شوند تولید می‌گردد. به‌نظر می‌رسد که تجمع پرولین آزاد یک پاسخ متداول به تنش در گیاهان عالی باشد. البته اسیدهای آمینه دیگر نیز تحت تنش‌های خشکی و شوری انباشته می‌شوند اما درجه تغییرات آن‌ها با تجمع پرولین که ظرف مدت کوتاهی پس از اعمال تنش به سطوح خیلی بالا می‌رسد قابل مقایسه نیست.

پرولین در سیتوپلاسم استقرار یافته و ممکن است به‌علت حجم کوچک سیتوپلاسم، حتی در مقادیر پایین سلولی نیز یک ترکیب اسمزی مهم باشد. پرولین از طریق مکانیسم-های مختلف شامل تنظیم وضعیت اسمزی، سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن و ثبات آنزیم‌ها یا پروتئین‌ها، گیاهان را در مقابل تنش‌های محیطی محافظت می‌کند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم بر محتوای پرولین (میکروگرم برگرم وزن تر)

رطوبت ظرفیت گلدانی (٪)	کلات پتاسیم (g/L)				نانو کلات پتاسیم (g/L)			میانگین
	صفر	۱	۳	۵	۱	۳	۵	
۱۰۰	٤١/٦٦l	٤٠/٣٣l	٧٣/٧٥i-k	٦٠/٥٨kl	٤٢/٢٤l	٦٩/٨٠jk	٨٣/١٣h-j	٥٨/٧٨D
۸۰	٩٠/٢٠h-j	٨٨/٩٠h-j	٨٦/٦١h-j	٩٤/٧٣hi	٨٣/٢٤h-j	١١٥/٨٤fg	١٢٨/٦١d-f	٩٨/٣١C
٦٠	١٤/٢٠ b-d	١١٧/٢٤e-g	١١٨/٧٠e-g	٩٨/٥٢Gh	١٤١/٨٠cd	١٢٨/٤٠d-f	١٦٠/٨٩a-c	١٣٠/١١B
٤٠	١٦٥/٢٠ab	١٣٧/٢٤d-f	١٣٨/٧٠de	١١٨/٥e-g	١٦١/٨٠a-c	١٤٨/٤b-d	١٨٠/٨٩a	١٥٠/١١A
میانگین	١١٠/٥٦BC	٩٥/٩٣DE	١٠٤/٤٤CD	٩٣/٠٩E	١٠٧/٢٧BC	١١٥/٦١B	١٣٨/٣٨A	

اعداد دارای حروف کوچک لاتین مشترک میانگین‌های مربوط به اثرهای متقابل هستند که از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. اعداد دارای حروف لاتین بزرگ در ردیف آخر (میانگین) اثرهای ساده سطوح مختلف کلات و نانوکلات پتاسیم و اعداد ستون انتهایی اثرهای ساده سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری را نشان می‌دهند.

در برخی از گیاهان ثابت شده است که تغییرات میزان پرولین و توانایی آن‌ها برای تحمل یا سازش به شرایط تنش مرتبط می‌باشد و می‌تواند به‌عنوان پارامتری برای انتخاب گیاهان مقاوم به تنش استفاده شود (Niknam *et al.*, 2006). شکستن سریع پرولین بعد از پایان یافتن تنش ممکن است خود تأمین‌کننده عوامل ضروری برای فسفوریلاسیون اکسیداتیو ATP و ترمیم صدمات ناشی از تنش باشد. پرولین هم‌چنین به‌وسیله عمل متقابل میان فسفولیپیدها موجب پایداری غشای سلول‌ها می‌شود. افزون براین به منزله‌ی جاروب‌کننده رادیکال‌های هیدروکسیل و نیز منبع نیتروژن و ذخیره انرژی نیز محسوب می‌شود (Vendruscolo *et al.*, 2007).

در پژوهش حاضر مقدار پرولین تحت تنش خشکی افزایش یافت. مولکول‌های پرولین شامل قسمت‌های آب‌دوست و آب‌گریز می‌باشد. پرولین محلول می‌تواند حلالیت پروتئین‌های مختلف را تحت تأثیر قرار داده و جلوی غیرطبیعی شدن پروتئین را بگیرد. این خصوصیت پرولین بدان جهت است که رابطه متقابل بین پرولین و سطح پروتئین‌های آب‌گریز برقرار شده و به‌علت افزایش سطح کل مولکول‌های پروتئین آب‌دوست پایداری آن‌ها افزایش یافته و از تغییر ماهیت آن‌ها جلوگیری می‌کند (Ghobadi *et al.*, 2013). در پژوهشی مشخص شد هم تنش خشکی و هم محلول‌پاشی روی و پتاسیم سبب افزایش پرولین برگ در همه مراحل رشد گلرنگ شدند (Abedi *et al.*, 2011). بنابراین محلول‌پاشی این دو عنصر با افزایش غلظت اسمولیت‌های از جمله پرولین و در نتیجه کمک به حفظ فشار اسمزی در سلول‌ها، در تحمل تنش خشکی به گیاه کمک کرد (Abedi *et al.*, 2011).

آنزیم پراکسیداز

بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر دوگانه تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی بر آنزیم پراکسیداز در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم در تنش کم‌آبیاری نشان داد که بیش‌ترین میزان آنزیم پراکسیداز در تیمار تنش خشکی ٤٠ درصد رطوبت ظرفیت گلدانی به‌همراه محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم با غلظت سه گرم در لیتر بوده که با تیمار نانوکلات پتاسیم با غلظت یک گرم در لیتر در همین سطح تنش خشکی اختلاف معنی‌داری نداشت اما با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ٦). افزایش تنش خشکی میزان آنزیم پراکسیداز گیاه را افزایش داد و کم‌ترین آنزیم پراکسیداز در شرایط ۱۰۰درصد رطوبت ظرفیت گلدانی در محیط محلول‌پاشی با غلظت صفر مشاهده شد. محلول‌پاشی تیمارهای کودی موجب افزایش آنزیم پراکسیداز گیاه گردید و کاربرد پتاسیم به‌صورت نانوکلات تأثیر بیشتری بر افزایش میزان آنزیم پراکسیداز ریحان داشته است (جدول ٦).

آنزیم پراکسیداز تولیدشده به‌وسیله سلول‌های گیاهی باعث خنثی‌سازی و کاهش گونه‌های اکسیژن فعال و حفاظت سلول و تحمل در برابر شرایط تنش در گیاه می‌شود. این آنزیم قادر است بدون نیاز به عامل احیاکننده پراکسید هیدروژن موجود در سلول را به آب و اکسیژن تبدیل کند (Turkan *et al.*, 2005). به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی، غلظت رادیکال‌های آزاد مخرب و گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه افزایش می‌یابد و سبب اکسیداسیون غشاهای زیستی می‌گردد. در مقابل، برخی عناصر غذایی، با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث غیرفعال شدن این رادیکال‌ها و کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود.

برای کاهش سمیت رادیکال‌ها در گیاهان، سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی به‌عنوان مکانسیم تحمل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

جدول ٦. مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری و محلول‌پاشی کلات و نانوکلات پتاسیم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (واحد آنزیمی برگرم)

رطوبت ظرفیت گلدانی (٪)	کلات پتاسیم (g/L)				نانو کلات پتاسیم (g/L)			میانگین
	صفر	١	٣	٥	١	٣	٥	
١٠٠	٢١٢٤n	٢١٥٧n	٣٢٤٦lm	٢٦٤١mnc	٣٧٣٠kl	٣٤٩٨lm	٣٧٧٠kl	٣٠٢٣D
٨٠	٤٦١٧jk	٥١٤١ij	٥٨٣٤hi	٥٩٤٢g-i	٦٧٩٥fg	٥١٠٠ij	٥٤٦٤ij	٥٥٥٦C
٦٠	٧٠٣٧f	٦٧١٤f-h	٨٣٦٨e	٨٤٥٥e	٩٨٠٩cd	٩٩٨١c	٩٠٠٠de	٨٤٨١B
٤٠	٨٦٧٧e	٨٣٥٤e	١٠٠٠٨c	١٠٠٩٥c	١١٤٤٩ab	١١٦٢١a	١٠٦٤٠bc	١٠١٢١A
میانگین	٥٦١٤D	٥٥٩٢D	٦٨٦٤C	٦٧٨٣C	٧٩٤٦A	٧٥٥٠AB	٧٢١٩BC	

اعداد دارای حروف کوچک لاتین مشترک میانگین‌های مربوط به اثرهای متقابل هستند که از لحاظ آماری در سطح احتمال ٥ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. اعداد دارای حروف لاتین بزرگ در ردیف آخر (میانگین) اثرهای ساده سطوح مختلف کلات و نانوکلات پتاسیم و اعداد ستون انتهایی اثرهای ساده سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری را نشان می‌دهند.

یکی از این سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی همان آنزیم پراکسیداز است. این احتمال وجود دارد که با بهره‌گیری از کلات و نانوکلات پتاسیم، عنصر غذایی به آرامی و با سرعتی مناسب در تمام فصل رشد گیاه آزاد شده و به‌دلیل کاهش هدرروی عنصر، گیاه از طریق اندام هوایی قادر به جذب بیش‌ترین مقدار این عنصر خواهد بود که می‌تواند در افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌هایی همان آنزیم پراکسیداز مؤثر باشند. نتایج این پژوهش دلالت بر افزایش میزان آنزیم پراکسیداز در اثر تنش خشکی داشت که با نتایج تحقیقات سایر پژوهش‌گران مبنی بر افزایش میزان آنزیم پراکسیداز تحت تنش خشکی مطابقت داشت.

کاربرد پتاسیم باعث افزایش آنزیم پراکسیداز شد زیرا کاربرد عناصر پرمصرف مانند نیتروژن، پتاسیم و کلسیم سمیت گونه‌های فعال اکسیژن را از راه افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز کاهش می‌دهد. این آنتی‌اکسیدان‌ها گونه‌های فعال اکسیژن را بازیابی می‌کنند و واکنش‌های اکسیداسیون نوری را کاهش می‌دهند و در نتیجه موجب حفظ تکامل غشای کلروپلاست می‌شوند (Amiri *et al.*, 2014).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش آبی باعث کاهش رشد و عمده صفات مورفوروژیک گیاه ریحان شده و هم‌چنین باعث افزایش محتوای پرولین، فعالیت آنزیم پراکسیداز و نشت یونی گردیده است. تنش خشکی از طریق افزایش فشار اسمزی و کاهش جذب مواد غذایی بر صفات مورفولوژی و فیزیولوژی گیاهان اثرهای منفی می‌گذارد. بنابراین این‌طور می‌توان بیان کرد که گیاه ریحان در مواجهه با تنش خشکی سعی در حفظ فشار اسمزی خود دارد که این کار را با افزایش اسمولیت‌هایی از جمله پرولین و تجمع پتاسیم انجام می‌دهد. تأثیر مثبت پتاسیم در کاهش تنش خشکی به این دلیل است که پتاسیم نقش کاتالیز کردن فرایندهای سلولی را به‌عهده دارد و موجب می‌شود تا گیاه عناصر ضروری خود را برای افزایش اسمولیت‌ها بهتر و راحت‌تر به‌دست آورد. علاوه بر این پتاسیم در تنظیم روابط آبی گیاه نیز نقش مهمی ایفا می‌کند، به این ترتیب سلول‌ها بهتر می‌توانند در وضعیت تنش به فعالیت‌های خود ادامه دهند و در نهایت عمل‌کرد پذیرفته‌تری در هنگام تنش خواهند داشت. محلول‌پاشی پتاسیم به‌صورت نانوکلات تأثیر بیشتری در کاهش اثرهای سوء تنش خشکی بر گیاه ریحان نشان داد که احتمالاً به‌دلیل داشتن سطح ویژه و سطح واکنش‌پذیری بالای نانوکلات پتاسیم می‌باشد و با به‌کارگیری نانوکلات پتاسیم زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شود و درنتیجه می‌تواند

باعث افزایش عمل‌کرد گیاه گردد. لذا یکی از راهکارهای مواجه با تنش خشکی و کم‌آبی، توجه جدی به مدیریت تغذیه گیاهان به‌خصوص استفاده از ظرفیت محلول‌پاشی نانوکودها جهت رسیدن به عمل‌کرد مطلوب می‌باشد.

منابع

1. Abedi, B. A. S., Movahhedi, D. M., Yadavi, A. R. & Adhami, E. (2011). Effects of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. *Electronic Journal of Crop Production, 4*(1), 75-95. DOI: 10.22069/EJCP.2017.8847.1689. (In Persian).
2. Akram, M. S., Ashraf, M. & Akram, N. A. (2009). Effectiveness of potassium sulfate in mitigating salt-induced adverse effects on different physio-biochemical attributes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, *204*(6), 471-483.
3. Amiri, A., Bagheri, A., Khajeh, M., Najafabadi, P. F. & Yadollahi, P. (2014). Eeffect of silicone foliar application on yield and antioxidant enzymes activity of safflower under limited irrigation conditions. *Journal of Crop Production Research (Environmental Stresses In Plant Sciences). 5*(4): 361-372. (In Persian).
4. Babaee, K., Dehaghi, M. A., Sanavi, S. M. & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, proline content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *26*(2), 239-251. 10.22092/IJMAPR.2010.6939. (In Persian).
5. Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, *39*(1), 205-207.
6. Boroujerdnia, M., Bihamta, M., AlamiSaid, K. & Abdossi, V. (2016). Effect of drought tension on proline content, soluble carbohydrates, electrolytes leakage and relative water content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Physiology Journal. 8*(29), 23-41. (In Persian).
7. Chance, B. & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*. *2*: 764-775. Doi:10.1016/S0076-6879(55)02300-8.
8. Chen, Y. & Barak, P. (1982). Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Advances in Agronomy*, *35*(31), 217-240.
9. DeRosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R. & Sultan, Y. (2010). Nanotechnology in fertilizers. *Nature nanotechnology*, *5*(2), 91-92
10. Fawzy, Z. F., El-Nemr, M. A. & Saleh, S. A. (2007). Influence of levels and methods of potassium fertilizer application on growth and yield of eggplant. *Journal of Applied Sciences Research*, *3*(1), 42-49.
11. Ghobadi, M., Taherabadi, S., Ghobadi, M. E., Mohammadi, G. R. & Jalali-Honarmand, S. (2013). Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. *Industrial Crops and Products*, *50*, 29-38.
12. Ghoulam, C., Foursy, A. & Fares, K. (2002). Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and experimental Botany*, *47*(1), 39-50.
13. Haeder, H. E. & Beringer, H. (1981). Analysis of yield of winter wheat grown at increasing levels of potassium. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *32*(6), 547-551.
14. Hamdy, A. (2005). Water use efficiency in irrigated agriculture: An analytical review. P 9-20, *In*: Lamadalena, N., Shatawi, N. M. R., Todorovic, M., Bogliotti, C. & Albrizio, R. (Eds), *Proceedings of 4th WASAMED (Water Saving in Mediterranean agriculture), Water Use Efficiency and Water Productivity*, Amman, Jordan.
15. Kargar, S. M. A., Ghannadha, M. R., Bozorgi-Pour, R., Khaje Ahmad Attari, A. A. & Babaei, H. R. (2004). An investigation of drought tolerance indices in some soybean genotypes under restricted irrigation conditions. *Iranian Journal Agricultural Sciences*, *35*, 129-142.
16. Kulkarni, M. & Phalke, S. (2009). Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annum* L.) under water stress. *Scientia Horticulturae*, *120*(2), 159-166.
17. Kumar, P. K., Kumar, M. R., Kavita, K., Singh, J. & Khan, R. (2012). Pharmacological actions of *ocimum sanctum*-a review article. *International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry*, *1*(3), 2277-4688.
18. Link, W., Hocking, T. J. & Stoddard, F. L. (2007). Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.). *Plant and Soil*, *292*(1-2), 205-217.

19. Lutts, S., Kinet, J. M. & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of botany*, *78*(3), 389-398.
20. Malekoti, M., Keshavarz, P. & Karimian, N. (1999). *A comprehensive methodology for the diagnosis and optimal recommendation of fertilizer for sustainable agriculture*. Tarbiat Modares University Press, Tehran. (In Persian).
21. Moghaddam, M., Alirezaei, N. M., Selahvarzi, Y. & Goldani, M. (2015). The effect of drought stress on some morphological and physicochemical characteristics of three cultivars of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *46*(3), 507-521. (In Persian).
22. Mohamadnia, R., Rezaei Nejad, A. & Bahraminejad, S. (2018). Effect of irrigation interval and silicon on some morpho-physiological and biochemical properties of basil (Ocimum basilicum L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *49*(1), 37-45. DOI: 10.22059/ijhs.2017.217636.1109. (In Persian).
23. Molavi, H., Mohammadi, M. & Liaghat, A. (2011). Effect of Full Irrigation and Alternative Furrow Irrigation on Yield, Yield Components and Water Use Efficiency of Tomato (Super Strain B). *Water and Soil Science (Agricultural Science), 21*(3), 115-126. (In Persian).
24. Nanadal, J., Ramesh-Vasist, K. & Pandey, U. C. (1998). Effect of phosphorus and potassium on growth, yield and quality of tomato. *Journal of Potassium Research, 14*(14): 44-49.
25. Niknam, V., Razavi, N., Ebrahimzadeh, H. & Sharifizadeh, B. (2006). Effect of NaCl on biomass, protein and proline contents, and antioxidant enzymes in seedlings and calli of two Trigonella species. *Biologia Plantarum*, *50*(4), 591-596.
26. Nowack, B., David, R. M., Fissan, H., Morris, H., Shatkin, J. A., Stintz, M. & Brouwer, D. (2013). Potential release scenarios for carbon nanotubes used in composites. *Environment international*, *59*, 1-11.
27. Omidbaigi, R. (2005). *Production and processing of medicinal plants*. Publications Astan Quds Razavi, Mashhad. (In Persian).
28. Pazoki, A. (2016). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and humic acid on yield and yield components of basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress in Qom region. *Journal of Agroecology*, *6*(1), 60-80. (In Persian).
29. Pourjavadian, A., Mehraban, A. & Ganjali, H. R. (2015). Influence of water stress and potassium fertilizer on some characteristics of *Satureja hortensis*. *Biological Forum-An International Journal*, 7(2), 619-627.
30. Pourmusavi, S. M., Golvi, M. & Daneshian, J. (2006) Evaluation of manure on membrane stability and chlorophyll contents of soybean leaf in drought stress conditions. *Summary of Articles of the 9th Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding*. Campus Abourihan University of Tehran. 4 (4): 134-125. (In Persian).
31. Safavigerdini, M. (2012). Effect of nano-potassium fertilizer on some parchment pumpkin (*Cucurbita pepo*) morphological and physiological characteristics under drought conditions. *International Journal of Farming and Allied sciences*, *5*(5), 367-371.
32. Shabala, S. (2003). Regulation of potassium transport in leaves: from molecular to tissue level. *Annals of Botany*, *92*(5), 627-634.
33. Sharifi Ashoorabadi, E., Matin, M., Lebaschi, H., Abbaszadeh, B. & Naderi, B. (2005). Effects of water stress on quantity yield in *Achillea millefolium*. In *Abstracts Book of the first international conference on the theory and practices in biological water saving* (p. 211). Beijing.
34. Soheili Movahhed, S., Esmaeili, M., Jabbari, F., Khorramdel, S. & Fouladi, A. (2017). Effects of water deficit on Relative Water Content, Chlorophyll Fluorescence indices and seed yield in four pinto bean genotypes. *Journal Of Crop Production, 10*(1), 169-190. doi: 10.22069/ejcp.2017.8847.1689. (In Persian)
35. Tabatabaei, S. H. (2009). *Principles of plant nutrition* (1st ed), Tabriz University Press. Tabriz. (In Persian).
36. Tavan, T., Niakan, M. & Norinia, A. (2014). Effect of nano-potassium fertilizer on growth factors, photosynthetic system and protein content in wheat (*Triticum aestivum* L. Cv. N8019). *Journal of Plant Environmental Physiology*, *9*(3), 61-71. (In Persian).
37. Türkan, I., Bor, M., Özdemir, F. & Koca, H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant P. *acutifolius* Gray and drought-sensitive P. *vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*, *168*(1), 223-231.
38. Vannozzi, G. P., Baldini, M., Tahmasebi

Enferadi, S., Vedove, G. D. & Gomez Sanchez, D. (1998). Effect of soil water availability in sunflower lines derived from interspecific crosses [Helianthus-Friuli Venezia Giulia]. *Italian Journal of Agronomy*. 62(1): 371-387.

39. Vendruscolo, E. C. G., Schuster, I., Pileggi, M., Scapim, C. A., Molinari, H. B. C., Marur, C. J. & Vieira, L. G. E. (2007). Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. *Journal of plant physiology*, *164*(10), 1367-1376.
40. Wyn Jones, R. G., Brady, C. J. & Speirs, J. (1979). Ionic and osmotic relations in plant cells. In D. H. Laidman & R. G. Wyn Jones (Eds.), *Recent Advances in the Biochemistry of Cereals* (pp. 63-103). Academic Press, London. UK.

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 4 ■ Winter 2019

Growth and Physiological Responses of Sweet Basil to Foliar Application of Chelate and Nano Chelate of Potassium under Deficit Irrigation Stress

Fatemeh Zarei[1], Malek Hossein Shahriari[2*], Rahim Nikkhah[3], Parviz Bayat[4], Ali Dindarlou[5]

1. M.Sc. Student, Horticulture Department, College of Agriculture and Natural Resources, Persian Gulf University, Bushehr, Iran .
2. Assistant Professor, Horticulture Department, College of Agriculture and Natural Resources, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.
3. Assistant Professor, Horticulture Department, College of Agriculture and Natural Resources, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.
4. Assistant Professor, Bushehr Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bushehr, Iran.
5. Assistant Professor, College of Agriculture and Natural Resources, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

Received: July 5, 2018 Accepted: September 15, 2018

Abstract

This research aims at studying the influence of chelate and nano chelate of potassium foliar application on some growth and physiological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) under deficit irrigation stress. Conducted as a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications, it has taken place in the greenhouse of Agriculture Faculty of Bushehr University between 2016 and 2017, exposing plants to four deficit irrigation stress levels (i.e., 100%, 80%, 60%, and 40% of pot capacity moisture). Four different rates of chelate and nano chelate of potassium (namely 0, 1, 3, and 5 g/L) have been applied through the foliar spray with the results indicating that deficit irrigation stress has significantly reduced shoot fresh weight, root and shoot dry weight, root length, plant height, chlorophyll index, and relative leaf water content in basil. The greatest decrease has belonged to the highest level of low water stress (i.e., 40% pot capacity moisture). In addition, proline content, peroxidase activity, and electrolyte leakage have ascended through increasing limited irrigation stress. Foliar application of potassium has improved the growth and yield of basil in all water stress levels, although potassium nano chelate has had a greater effect than potassium chelate on most of the studied traits. Hence, the highest shoot fresh weight (42.29g), height (37.94cm), root length (18.52cm), chlorophyll index (34.85), and relative leaf water content (24.44%) has been obtained in foliar application of 5 g/L Potassium nano chelate treatment. All told, it can be argued that foliar application of potassium nano chelate is effective in reducing the negative impact of deficit irrigation stress on basil.

Keywords: Chlorophyll index, peroxidase enzyme, pot capacity moisture, proline, relative water content, shoot fresh weight.

Corresponding author: Mh.shahriari@pgu.ac.ir