نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۴، بهمن - اسفند ۱۳۹۹، ص. ۲۱۴۷-۲۱۳۶

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 14, Feb.-Mar. 2021, p. 2136-2147

مقاله پژوهشی

تأثیر سطوح مختلف کود پتاسیم و آب آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه دارویی چای ترش

پریا راشکی[۱]، حلیمه پیری[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۳۰

چکیده

امروزه تغییر الگوی کاشت به‌سمت گیاهان مقاوم به کم‌آبی برای مقابله با خشکی مطرح است. یکی از گیاهان مقاوم به خشکی چای ترش می‌باشد. در این تحقیق اثر سطوح مختلف آب آبیاری و کود پتاسیم بر چای ترش مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت کرت یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار با چهار سطح آب آبیاری (I1 ، I2 ، I3 و I4 به ترتیب معادل ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیازآبی‌گیاه) سه سطح کود پتاسیم (K1، K2 و K3 به‌ترتیب معادل ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیازکودی پتاسیم) به‌عنوان کرت فرعی انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد، اثرات ساده آب آبیاری و کود پتاسیم در سطح احتمال یک و پنج درصد بر تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی‌دار گردید. بیشترین عملکرد از تیمارهای ۱۰۰ درصد مصرف کود پتاسیم و ۸۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. بیشترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی و۱۰۰ درصد مصرف کود پتاسیم حاصل شد به‌طوری که بین تیمارهای ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار حاصل نشد. از نظر کیفی با کاهش عمق آب آبیاری تا ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و کاهش مصرف کود پتاسیم مقدار آنتوسیانین، کربوهیدرات و پرولین افزایش یافت و مقادیر کلروفیل a و b و کارتنوئیدها کاهش یافتند. ولی بین تیمار ۵۰ و ۷۵ درصد مصرف کود پتاسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. بنابراین با توجه به وضعیت آب منطقه و کاهش منابع آبی به‌کار بردن ۸۰ درصد نیاز آبی باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌گردد بدون آن‌که تأثیر معنی‌دار در کاهش عملکرد داشته باشد. همچنین با توجه به شرایط آب و هوایی خشک منطقه سیستان استفاده از کود پتاسیم می‌تواند باعث تعدیل خسارات ناشی از تنش خشکی در چای ترش شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب آبیاری، پرولین، کارتنوئید، کلروفیل

مقدمه

محدودیت شدید آب و هزینه بالای تأمین و انتقال آن سبب می‌شود که در برخی مواقع یا مناطق از دیدگاه اقتصادی سطح بهینه آبیاری کمتر از اندازه مورد نیاز برای تولید حداکثر عملکرد باشد. اعمال مدیریت صحیح آبیاری و کاشت گیاهان مقاوم به خشکی، به‌منظور حفظ ذخیره رطوبتی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک ازجمله اقدامات مؤثر برای افزایش بازدهی مصرف آبیاری و در نتیجه بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب کشور می‌باشد. امروزه کشت گیاهان مقاوم به خشکی به‌عنوان راهکاری برای مقابله با خشکی مطرح شده است. چای ترش یکی از گیاهان کم‌نیاز و مقاوم به خشکی است (Akbari nia et al., 2003). چای ترش با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* متعلق به خانواده Malvaceae و بومی افریقا بوده، در تمام مناطق استوایی و گرم کشت می‌شود و به‌عنوان گیاهی دارویی مورد توجه است (Aziz et al., 2007). این گیاه دو منظوره است که به‌منظور استفاده خوراکی (کاسبرگ) و با استفاده از الیاف یا چوب، یا هر دو نوع مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Abid-Askari and Solang, 1995). از برگ آن به‌عنوان سبزی خوراکی، از دانه‌های آن به‌عنوان یک منبع غنی از پروتئین و از کاسبرگ‌های آن برای تهیه نوشیدنی‌های مختلف، بستنی، شکلات و کیک استفاده می‌شود (Delgado-vargas et al., 2000). تنش خشکی و شوری دو عامل اصلی جهت کاهش عملکرد ۵۰ درصد از محصولات زراعی می‌باشند (Valliy and Nguyen, 2006). باباتند و موفرکی در آزمایشی بر روی چای ترش با ۵ دور آبیاری به فاصله ، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ روز یک بار گزارش کردند با افزایش عمق آب آبیاری عملکرد افزایش پیدا کرد و بالاترین عملکرد از آبیاری هر هفته یک بار به‌دست آمد (Babatunde and Mofoke, 2006). ال بورای و همکاران در

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل
(*- نویسنده مسئول: Email: H_piri2880@uoz.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.2.3

تحقیقی به این نتیجه رسیدند که بالاترین عملکرد چای ترش در شرایط آبیاری با عمق‌های مختلف، در آبیاری با ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه می‌باشد (EL-Boraie et al., 2009). از آنجایی که در کشور ما نزولات جوی کم و منابع آبی محدود می‌باشد، استفاده بهینه از آب موجود کاملا ضروری است و باید از حداقل آب حداکثر بهره‌برداری صورت پذیرد. تحقیقات نشان داده است که ضمن اعمال کم آبیاری، با مصرف صحیح کودهای شیمیایی، می‌توان مقاومت گیاهان به خشکی و نیز راندمان تولید محصولات کشاورزی را افزایش داد (Faraji et al., 2000). گنجعلی و همکاران عملکرد چای ترش را در سطوح مختلف کود پتاسیم به‌عنوان فاکتور اصلی و کود فسفر و نیتروژن به‌عنوان فاکتور فرعی در منطقه سراوان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کود فسفر و پتاسیم می‌تواند نقش موثری در کاهش عملکرد چای ترش در شرایط آب و هوایی سراوان داشته باشد (Ganjali et al., 2016). اکنبی و همکاران نشان دادند که مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و فسفر و پتاس ۱۰-۱۰-۲۰ به همراه ۵ تن در هکتار کمپوست باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی چای ترش می‌گردد (Akanbi et al, 2009). کود پتاسیم بر خلاف کودهای ازت و فسفر، نقش ساختمانی در گیاه ندارد ولی با توجه به نقش‌های آنزیمی و کوانزیمی در گیاه، عنصر اساسی برای گیاه است. پتاسیم باعث افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول می‌شود. پتاسیم کارآیی مصرف آب را افزایش می‌دهد (Mousavi-Fazl et al., 2016). مهمترین بخش تأمین‌کننده پتاسیم مورد نیاز گیاه پتاسیم محلول در خاک است. نمک‌های پتاسیم به ایجاد پتانسیل اسمزی مناسب در درون سلول‌ها کمک می‌کند (Ibrahim and Hossein, 2006). با توجه به رشد جمعیت جهان، محدودیت اراضی کشاورزی و آب، هزینه بالای ناشی از استفاده از این منابع و افزایش آلودگی محیط زیست در اثر استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، لازم است تا مدیریت استفاده از آب وکود به گونه‌ای باشد تا با توجه به حداقل خسارت وارده، حداکثر محصول و درآمد به‌دست آید (Emam, 2008). در حال حاضر بیشترین سطح زیر کشت چای ترش مربوط به استان سیستان و بلوچستان، با سطح زیر کشت ۳۰۰ هکتار و تولید سالانه ۲۹۰ تن می‌باشد (Sb-agrijahad, 2014). هدف از این تحقیق تعیین اثر سطوح مختلف پتاسیم در شرایط تنش آبی به‌منظور افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه چای ترش در منطقه سیستان می‌باشد.

مواد و روش ها

برای انجام تحقیق، کاشت چای ترش در ۱۸ اردیبهشت ماه سال زراعی ۱۳۹۸ در مجتمع تحقیقاتی چاه‌نیمه واقع در شهر زهک در منطقه سیستان در استان سیستان و بلوچستان در ۶۱ درجه و ۶۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۸۹ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. منطقه مطالعاتی دارای اقلیم گرم و خشک بوده، میزان بارندگی آن در سال کمتر از ۶۰ میلی‌متر می‌باشد. به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از مراحل آماده‌سازی زمین، نمونه‌های مرکب خاک از اعماق ۳۰-۰ سانتی‌متر و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها تعیین شد (جدول ۱). همچنین، کیفیت آب مورد استفاده نیز قبل از انجام کاشت مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

عمق نمونه برداری	درصد سیلت	درصد شن	درصد رس	بافت خاک	pH	EC (dSm^{-})	پتاسیم قابل جذب (ppm)	کربن آلی (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)
۳۰-۰	۴۲	۴۹	۹	شن لوم	۷/۶	۲/۱	۲۸۰	۰/۷۲	۴/۶
۶۰-۳۰	۴۰	۴۸	۱۲	شن لوم	۷/۸	۲/۵	۲۳۱	۰/۶۸	۵/۷

جدول ۲- مقادیر خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

نمونه آب	pH	EC (dSm^{-1})	SAR	کاتیون‌ها ($meqlit^{-1}$)				آنیون‌ها ($meqlit^{-1}$)		
				Ca	Mg	Na	K	$HCo3^{-}$	Cl	$So4^{-}$
S1	۷/۶	۰/۷	۲/۱	۱/۸	۱/۲	۲/۶	۰/۰۶	۴/۱	۰/۶	۱/۶

تحقیق حاضر به‌صورت طرح کرت‌های یک‌بارخرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل چهار سطح عمق آب آبیاری (I1 ، I2، I3 و I4) به‌ترتیب معادل ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان کرت اصلی و سه سطح کود پتاسیم (K1، K2 و K3 به‌ترتیب معادل ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیازکودی پتاسیم) به‌عنوان کرت فرعی انجام شد. ابعاد کرت‌ها ۴ ×۳

(متر مربع) و فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد. در هر کرت تعداد پنج جوی و پشته احداث و بذرها در عمق سه سانتی‌متری از خاک و به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر روی ردیف‌ها کشت شدند. فاصله بین ردیف‌های گیاهی ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کود نیتروژن از منبع اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک در سه مرحله یک‌سوم همزمان با کاشت، یک‌سوم مرحله رویشی (شاخه دهی) و یک‌سوم زمان گلدهی (۵۰ درصد گلدهی گیاه)، کود پتاسیم از نوع سولفات پتاسیم همزمان با کاشت در سه سطح ۷۵، ۱۱۲/۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب معادل ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیازکودی پتاسیم و کود فسفر از نوع سوپرفسفات تریپل به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار همزمان با کاشت به خاک اضافه شد.

محاسبات آبیاری

حجم آب آبیاری قبل از هر نوبت آبیاری با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد (Liue et al., 2007).

$$d = \sum_{i=1}^{n}(\theta_{Fci} - \theta_i)\,\Delta z \qquad (۱)$$

در این معادله: d عمق آبیاری (متر)، θ_{Fci} و θ_i به‌ترتیب رطوبت حجمی خاک در حالت ظرفیت زراعی و قبل از آبیاری در لایه i=1، Δz ضخامت لایه (متر) و n شماره لایه خاک می‌باشد.

با به‌دست آوردن عمق آب آبیاری در هر نوبت با استفاده از رابطه (۱)، حجم آب مورد نیاز برای هر کرت از ضرب کردن عمق به‌دست آمده در مساحت کرت محاسبه شد و با استفاده از کنتورهای نصب شده بر روی هر یک از لوله‌های آبرسان اندازه‌گیری و در اختیار گیاه قرار گرفت. حجم آب سایر تیمارها بر اساس این حجم تعیین و اعمال گردید.

بهره‌وری مصرف آب آبیاری (IWUE[1])

بهره‌وری مصرف آب آبیاری عبارت است از: نسبت محصول تولید شده به آب آبیاری و از رابطه (۲) به‌دست آمد (Peyro et al., 2000).

$$IWUE = \frac{Y}{IR} \qquad (۲)$$

که در آن IWUE: بهره‌وری مصرف‌آب‌آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب بر هکتار)، Y : وزن خشک برداشت شده (کیلوگرم در هکتار)، IR: مقدار آب‌آبیاری (مترمکعب در هکتار)

نمونه‌برداری گیاهی

پس از پایان دوره رشد گیاه (۷ آذر ۱۳۹۸)، سه ردیف گیاه از وسط هر کرت با حذف اثر حاشیه برداشت و اندازه‌گیری پارامترها بر روی این نمونه‌ها انجام شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: عملکرد خشک، بهره‌وری مصرف آب آبیاری، مقدار آنتوسیانین، پرولین، کارتنوئید، کلروفیل a، کلروفیل b و کربوهیدرات. جهت اندازه‌گیری عملکرد کپسول‌های گیاهی از بوته‌ها جدا و در هوای آزاد خشک شد. مقدار آنتوسیانین کاسبرگ از روش واگنر (۱۹۷۹)، مقدار کربوهیدرات از روش فنل – اسیدسولفوریک، مقدار پرولین از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳)، کلروفیل و کارتنوئید از روش ارنون (۱۹۶۷) محاسبه شد (Wagner, 1979: Bates et al., 1973: Arnon, 1976) در پایان داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل و میانگین‌ها با آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر مقدار آب آبیاری و کود پتاسیم بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نیز در سطح احتمال یک و پنج درصد بر پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود. اثر تکرار بر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده شرایط یکنواخت آزمایش برای همه تکرارها بوده است (جدول ۳).

آنتوسیانین: آنتوسیانین یک ترکیب فلاونوئید است که به مقدار زیاد در کاسبرگ‌های چای ترش وجود دارد (Tesai et al., 2000). مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده نشان داد مقدار آب آبیاری و کود پتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر مقدار آنتوسیانین داشت (جدول ۴). با کاهش مقدار آب آبیاری تا ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه مقدار آنتوسیانین افزایش یافت. سپس با کاهش بیشتر آب آبیاری به‌دلیل کاهش رشد و عملکرد مقدار آنتوسیانین کاهش یافت. بیشترین مقدار آن در تنش ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه ۰/۸۵ میکرومول بر گرم بود که از این نظر بین تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. پارسامطلق و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار آنتوسیانین در تیمار ۶۰ درصد آب آبیاری به‌دست آمد. کاهش مقدار کود پتاسیم نیز باعث افزایش مقدار آنتوسیانین گردید. بیشترین مقدار آن در تیمار ۵۰ درصد مصرف کود پتاسیم (۰/۵۹ میکرو مول بر گرم) به‌دست آمد. آنتوسیانی‌ها دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی هستند و آنتی‌اکسیدان‌ها اثر محافظتی طی تنش دارند. ساخته‌شدن آنتوسیانین و تجمع آن در بافت‌های گیاهی تحت تأثیر عامل‌های مختلفی از جمله میزان هیدرات‌های کربن موجود در بافت‌ها قرار می‌گیرد (Taiz and Zeiger, 2006). به‌عبارت دیگر

1- Irrigation Water Use Efficiency

توسعهٔ رنگدانه‌های یاخته و ساخت آنتوسیانین با بالا رفتن میزان کربوهیدرات‌ها نسبت مستقیم داشته و هر عاملی که بتواند روی افزایش، جذب یا ساخته شدن قندها مؤثر باشد، باعث افزایش میزان آنتوسیانین کل در گیاه می‌شود (Vitrac, 2000). اثر متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نیز نشان داد با کاهش مقدار آب آبیاری و کود پتاسیم مقدار آنتوسیانین افزایش یافت (جدول ۵). بیشترین مقدار در تیمار ۵۰ درصد مصرف کود پتاسیم و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. اما از این نظر بین تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۵۰ درصد مصرف پتاسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. سایر محققین راجع به اثر محلول‌پاشی روی و نیتروژن بر روی گیاه چای ترش به نتایج مشابه رسیدند (Raisi Sarbizhan et al., 2015).

کربوهیدرات: کربوهیدرات‌ها به‌خاطر داشتن رابطه‌ی مستقیم با فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، انتقال مواد و تنفس، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. مطابق جدول (۴) با کاهش عمق آب آبیاری تا ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، مقدار کربوهیدرات ۲۰/۸۳ درصد افزایش داشته است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات و درجه آزادی) صفات اندازه‌گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنتوسیانین	کربوهیدرات	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	عملکرد خشک	بهره‌وری آب آبیاری
تکرار	۲	۱/۷ ns	۰/۰۵۵ ns	۱/۵۸ ns	۰/۶۵ns	۰/۸۳	۱/۷۶ ns	۷۵/۷۴ ns	۱/۰۷ ns
مقدار آب آبیاری	۳	۰/۴۵**	۶۱/۶**	۲/۴۶**	۸۹/۴۶**	۷۳/۱۸**	/۳۶**	**۲۳۲۳۴۹	۴/۴۹*
خطای a	۶	۱/۲	۱/۵	۱/۸۹	۱/۶	۳/۵۲	۱/۳۵	۷۳/۹۵	۱/۰۵
مقدار کود پتاسیم	۲	۰/۲۸**	۹/۷۸**	۱/۰۴**	۱۵/۰۴**	۱۳/۴۱**	۰/۵۸**	**۷۵۴۷۸	۰/۳۴ ns
مقدار آب آبیاری× مقدار کود پتاسیم	۶	۰/۱۹*	۱/۹*	۱/۱۲*	۸/۹۴**	۱۰/۳۳**	۱/۰۱**	۲۴۰۱/۱**	۱/۳*
خطای b	۴	۰/۰۴۵	۰/۰۴	۰/۵۷	۰/۵۸	۱/۰۲	۱/۲۱	۹۶/۴	۱/۰۲
ضریب تغییرات(٪)		۳/۶۵	۴/۵	۵/۴۸	۷/۲۶	۵/۶۷	۴/۱۵	۲/۹۷	۱۰/۸۵

*و **معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns عدم معنی‌داری.

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده

تیمارهای آزمایشی		آنتوسیانین (میکرومول بر گرم)	کربوهیدرات	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	عملکرد خشک (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم‌بر مترمکعب‌درهکتار)
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)							
مقدار آب آبیاری	٪۱۰۰ نیازآبی	۰/۶۷ c	۹/۳۶ c	۱/۵۴d	۲۸/۱۶a	۲۰/۲۶a	۰/۳۲a	۵۶۸/۱۱a	۰/۰۳۷b
	٪۸۰ نیازآبی	۰/۷۸ ab	۱۰/۷۸ ab	۱/۷۴c	۲۶/۲۳ab	۱۸/۶۵ab	۰/۲۸b	۵۸۴/۱۸a	۰/۰۴۱a
	٪۶۰ نیازآبی	۰/۸۵a	۱۱/۳۱ a	۲/۸۶a	۱۶/۱۲c	۱۵/۵۴c	۰/۲۲c	۴۵۶/۴۴b	۰/۰۴۶a
	٪۴۰ نیازآبی	۰/۵۲ d	۷/۴۲d	۲/۲۱b	۱۲/۹۶d	۱۳/۳۷d	۰/۱۶d	۳۷۸/۷۷c	۰/۰۳۴b
مقدار کود پتاسیم	٪۱۰۰	۰/۳۳b	۸/۷۶ b	۱/۷۲c	۲۹/۱۳a	۲۱/۶۲a	۰/۳۴a	۵۱۹/۳۳a	۰/۰۴۳a
	٪۷۵	۰/۴۶ a	۹/۵۱ a	۲/۴۱b	۲۸/۳۴a	۱۹/۸۷b	۰/۳۱ab	۴۸۰/۵ab	۰/۰۴۲a
	٪۵۰	۰/۵۱a	۹/۸۵ a	۳/۲۱a	۲۳/۴۱b	۱۵/۲۴c	۰/۲۴c	۴۳۶/۱c	۰/۰۳۹b

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال٪۵ اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقدارآب آبیاری و کود پتاسیم (A×B)

مقدار آب آبیاری	مقدار کود پتاسیم	آنتوسیانین (میکرومول بر گرم)	کربوهیدرات	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	عملکرد خشک (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم‌برمترمکعب‌درهکتار)
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)							
٪۱۰۰ نیازآبی	٪۱۰۰	۰/۴۱f	۷/۷۹f	۱/۵۴f	۲۹/۳۱a	۲۳/۳۶a	۰/۳۷a	۵۲۳/۶۶d	۰/۰۳۷b
	٪۷۵	۰/۵۸d	۸/۹۸d	۲/۰۳d	۲۴/۴۵b	۲۰/۱۱b	۰/۳۳b	۵۱۱/۱e	۰/۰۳۵b
	٪۵۰	۰/۶۳c	۹/۵۹c	۲/۵۱c	۱۸/۵۲d	۱۶/۷۴d	۰/۲۶d	۴۶۷/۶۶g	۰/۰۳۴ab
٪۸۰ نیازآبی	٪۱۰۰	۰/۴۸ed	۹/۱۲d	۲/۱۱d	۲۸/۴۲a	۲۲/۵۱a	۰/۳۶a	۶۰۱/۳۳a	۰/۰۴۵ab
	٪۷۵	۰/۶۸b	۱۰/۱b	۳/۱۴b	۲۲/۱۲c	۱۹/۴۱c	۰/۳c	۵۷۹/۶۶ab	۰/۰۴۲ab
	٪۵۰	۰/۷۵a	۱۰/۵۱a	۳/۴۵a	۱۶/۲۱e	۱۴/۲۳e	۰/۲۱e	۵۵۴/۳۳c	۰/۰۳۷b
٪۶۰ نیازآبی	٪۱۰۰	۰/۵۶d	۹/۸۱c	۲/۷۴c	۲۱/۶۴c	۱۸/۸۹c	۰/۲۹c	۴۹۵/۱f	۰/۰۵۸a
	٪۷۵	۰/۷۳b	۱۰/۲۱b	۳/۰۲b	۱۵/۷۸e	۱۳/۶۳e	۰/۲e	۴۷۳/۶۶fh	۰/۰۵۵a
	٪۵۰	۰/۷۹a	۱۱/۳۲a	۳/۵۶a	۱۳/۶۳f	۱۲/۴۶f	۰/۱۷f	۴۱۰/۶۶j	۰/۰۴۶ab
٪۴۰ نیازآبی	٪۱۰۰	۰/۳۲g	۷/۱۲g	۱/۴g	۱۴/۵۷f	۱۳/۴۱f	۰/۱۸f	۴۲۶/۳۳i	۰/۰۳۳b
	٪۷۵	۰/۴۵e	۷/۸۷f	۱/۶۱f	۱۲/۷۸fg	۱۱/۱۵g	۰/۱۵g	۳۶۷/۶۶k	۰/۰۳۲b
	٪۵۰	۰/۵۸c	۸/۱۸e	۱/۸۱e	۱۰/۳۱g	۹/۹۵g	۰/۱۴g	۳۴۲/۳۳l	۰/۰۳۱b

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال٪۵ اختلاف معنی‌دار ندارند.

کاهش بیشتر آب آبیاری باعث کاهش مقدار کربوهیدرات شد. رابطه‌ی مثبتی بین تجمع کربوهیدرات و تحمل خشکی در برنج، ذرت و سورگوم گزارش شده است (Mohammad khani and Heidari, 2008). افزایش کربوهیدرات‌ها ممکن است ناشی از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به‌دلیل کاهش رشد و سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی باشد (Ehdaie et al., 2006). کربوهیدرات‌ها به‌عنوان مولکول‌های سیگنال عمل می‌کنند و در سازوکارهای سازگاری گیاه نقش دارند و باعث تغییر بیان بسیاری از ژن‌های متابولیکی می‌گردند. تنش خشکی با تجزیه و کاهش نشاسته در اثر افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز باعث افزایش غلظت قند های محلول می‌شود که افزایش غلظت کربوهیدرات‌ها را در پی دارد (Anderson and Kohorn, 2001). افزایش کربوهیدرات‌ها باعث حفظ تورژسانس سلول‌های برگ، حفاظت غشای سلولی و بازداری از تخریب پروتئین‌ها می‌شود، همچنین از طریق تأمین انرژی مورد نیاز گیاه از مرگ حتمی آن جلوگیری می‌کند (Xue et al., 2008). اثرات کود پتاسیم نشان داد با کاهش مصرف کود پتاسیم مقدار کربوهیدرات افزایش می‌یابد. اما از این نظر بین تیمار ۵۰ درصد و ۷۵ درصد مصرف کود پتاسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. اثرات متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نشان داد با کاهش عمق آب آبیاری تا ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و کاهش مصرف کود پتاسیم تا ۵۰ درصد مقدار کربوهیدرات افزایش می‌یابد.

پرولین: پرولین به‌عنوان یک اسمولیت مهم در تعدیل فشار اسمزی سلول تحت تنش‌هایی مانند خشکی نقش اساسی دارد. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۳) نشان داد تفاوت معنی‌داری بین همه تیمارها از نظر مقدار پرولین وجود دارد. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۴) نشان داد بین تیمارهای مختلف آب آبیاری و کود پتاسیم از نظر پرولین در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. با کاهش عمق آب آبیاری مقدار پرولین افزایش یافت. بیشترین مقدار پرولین از تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه (۲/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد. کاهش مقدار کود پتاسیم مصرفی نیز باعث افزایش مقدار پرولین شد به‌طوری که بیشترین مقدار آن از تیمار ۵۰ درصد مصرف کود پتاسیم (۳/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد. اثرات متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم (جدول ۵) نشان داد با کاهش آب آبیاری و کاهش مقدار کود پتاسیم غلظت پرولین افزایش یافت. بیشترین مقدار آن از تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۵۰ درصد مصرف کود پتاسیم (۳/۵۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد. در پاسخ به تنش، کاهش پتانسیل اسمزی به‌وسیله تجمع اسمولیت‌ها، ظرفیت حفظ فشار تورژسانس سلول را افزایش می‌دهد. این عمل برای فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌ها و تکثیر سلولی، اساسی است. می‌توان بیان نمود که افزایش پرولین در بسیاری از گونه‌های گیاهی تحت شرایط تنش‌هایی مانند خشکی، شوری، درجه حرارت و نور با مقادیر مختلف تجمع می‌یابد. رابطه مثبت بین انباشت پرولین و تحمل به خشکی در برنج، ذرت و سیب‌زمینی گزارش شده است (Mohammad Khani and Heidari, 2008). با توجه به افزایش غلظت پرولین در اندام هوایی گیاه چای ترش در تنش خشکی

می‌توان چنین نتیجه گرفت که پرولین در چای ترش می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مقاومت به خشکی به‌شمار آید. پرولین به‌دلیل نقش کلیدی در تنظیم اسمزی در شرایط تنش خشکی موجب افزایش مقاومت به خشکی شده و اثرات تخریبی تنش اسمزی ناشی از خشکی را تا حدودی کاهش می‌دهد. چنین به‌نظر می‌رسد با افزایش تدریجی تنش خشکی، سلول گیاه در ابتدا شروع به ذخیره قند و سپس با شدیدتر شدن تنش اقدام به ذخیره پرولین در غشای سلولی کرده است و به بیان دیگر، تجمع پرولین در غشای سلولی یک سازوکار اضطراری برای تحمل به خشکی به‌شمار می‌رود (قمری‌زارع و همکاران، ۱۳۸۷). صادقی و خانی (۱۳۹۱)، پیری (۱۳۹۸) و محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیق خود بر روی گیاه یونجه، سورگوم علوفه‌ای و به‌لیمو به نتایج مشابهی دست یافتند. همان‌طور که گفته شد با کاهش کود پتاسیم مصرفی غلظت پرولین افزایش یافت. این افزایش غلظت پرولین ممکن است ناشی از تخریب پروتئین‌ها و آزاد شدن اسید آمینه‌ها در اثر کاهش جذب پتاسیم باشد که موجب تولید اسیدآمینه پرولین می‌شود. بر اساس نتایج محققین پتاسیم نقش موثری در سنتز پروتئین و افزایش پرولین دارد (Desuloux et al., 2000).

کلروفیل a و b: مقدار کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی از مهم‌ترین عوامل موثر در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند زیرا به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و تولید زیست توده موثر هستند (کافی و همکاران، ۱۳۸۹). نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثر تنش خشکی و کود پتاسیم و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر مقادیر کلروفیل a و b تأثیرگذار بود. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۴) نشان داد با کاهش عمق آب آبیاری مقادیر کلروفیل a و b کاهش یافت. بیشترین مقدار کلروفیل a (۲۸/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۲۰/۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد اما از این نظر با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌دار نداشت. با کاهش مقدار کود پتاسیم نیز مقادیر کلروفیل کاهش یافت و از این نظر در سطوح مختلف در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بیشترین مقدار کلروفیل a (۲۹/۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۲۱/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود پتاسیم به‌دست آمد. اثرات متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم (جدول ۵) نشان داد با کاهش آب آبیاری و کاهش مصرف کود پتاسیم مقادیر کلروفیل a و b کاهش یافت. بیشترین مقادیر کلروفیل از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۱۰۰ درصد مصرف کود پتاسیم به‌دست آمد اما از این نظر با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۱۰۰ درصد مصرف کود پتاسیم اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. همچنین جدول (۴) نشان داد در سطوحی که کم‌آبیاری انجام شده بود افزایش مصرف کود پتاسیم باعث افزایش مقادیر کلروفیل شد. مطابق گزارش‌ها یکی از مهم‌ترین نقش‌های پتاسیم، نقش کلیدی آن در فتوسنتز می‌باشد که به‌دلیل افزایش جذب CO_2 و افزایش مستقیم رشد و شاخص سطح برگ نقش حیاتی در فتوسنتز دارد (Heakal et al., 1990). همچنین بیان کردند که کودهای پتاسیم در ساخت مواد هیدروکربنی در گیاه و درنتیجه بهبود فتوسنتز و رنگیزه‌های فتوسنتزی نقش دارند (طباطبایی، ۱۳۸۸). دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت تنش از جمله شاخص‌ها فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. غلظت کلروفیل به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته می‌شود زیرا غلظت کلروفیل برگ یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک گیاه است (Ghosh et al., 2004). بنابراین کاهش آن در شرایط خشکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده‌ی غیرروزنه‌ای در فتوسنتز به‌حساب آید (Hoekstra et al., 2001). با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل برگ کاهش می‌یابد. در شرایط تنش آبی فاکتورهای لازم برای سنتز کلروفیل کاهش و تخریب آن افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر در شرایط تنش کم‌آبی، گیاه با بسته نگه داشتن روزنه‌ها در طی روز، سعی در حفظ محتوای آب نسبی خود دارد، در این زمان انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، باعث تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشای سلولی از طریق پراکسیداسیون چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش محتوای کلروفیل گیاه می‌گردد. یکی از مهمترین دلایل کاهش کلروفیل تخریب آن به‌وسیله گونه‌های اکسیژن فعال (پراکسیدهیدروژن) می‌باشد، بنابراین بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه می‌شود (قهرمانی و همکاران، ۱۳۹۴). در گیاهان گزارش‌های متفاوتی از تأثیر تنش بر کلروفیل گزارش شده است. در آزمایشی تأثیر خشکی بر رشد گیاه آفتابگردان بررسی شد. نتیجه نشان داد غلظت کلروفیل a و b و کلروفیل کل کاهش یافت (Manivaannan et al., 2007). تنش آبی در گیاه ذرت و گندم مقدار کلروفیل را به‌شدت کاهش داد (Nayyar and Gupta, 2006). گرگینی‌شبانکاره و خراسانی‌نژاد (۱۳۹۶) اثر سدیم نیتروپروساید را بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه مرزه مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان داشتند تنش خشکی با تخریب سامانه فتوسنتزی، تخریب غشاء سلولی و کلروپلاست باعث کاهش مقدار رنگدانه‌های کلروفیل a و b و متعاقب آن کاهش توانایی فتوسنتز می‌گردد.

کارتنوئیـــــد: کاروتنوئیدها یکی از رنگریزه‌های کلیدی و مهم سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاهان بوده که گروه بزرگی از مولکول‌های ایزوپرنوئید را تشکیل می‌دهند و به تخریب اکسیداتیو نیز حساس می‌باشند. کاروتنوئیدها افزون داشتن بر نقش به‌عنوان رنگدانه فرعی، به‌عنوان یک آنتی عامل اکسیدان مؤثر عمل نموده و نقش منحصر به فردی در حفاظت از فرآیندهای فتوشیمیایی و حفظ و ادامه آن ایفـــا

می‌کنند (Farooq et al., 2008). نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثر تنش آبی و کود پتاسیم در سطح احتمال یک درصد بر مقدار کارتنوئیدها تأثیرگذار بود. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۴) نشان داد با افزایش تنش خشکی مقدار کارتنوئید کاهش یافت. بیشترین مقدار آن از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (۰/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین آن از تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه (۰/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد. امینی و حداد (۱۳۹۲) در تحقیق خود راجع به جو به نتایج مشابهی دست یافتند و بیان داشتند کاهش مصرف آب باعث کاهش مقدار کارتنوئید در گیاه جو شد. نقش اصلی کارتنوئید جلوگیری از آسیب اکسیداتیو می‌باشد. درواقع کارتنوئیدها از طریق فروکش کردن سریع وضعیت کلروفیل، حفاظت نوری را انجام می‌دهند. در شرایط تنش مقدار کارتنوئید کاهش می‌یابد و نمی‌تواند نقش حفاظتی خود را انجام دهد. کاهش محتوای کارتنوئید ظاهرا به‌دلیل اکسید شدن توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آن‌ها است (Wang et al., 2010). با کاهش مصرف کود پتاسیم نیز مقدار کارتنوئید کاهش یافت. بیشترین مقدار آن از تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود پتاسیم به‌دست آمد اما از این نظر با تیمار ۷۵ درصد مصرف کود پتاسیم تفاوت معنی‌دار نداشت. اثرات متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم (جدول ۵) نشان داد با کاهش مقدار آب مصرفی و کاهش مقدار کود پتاسیم، کارتنوئید کاهش یافت. بیشترین مقدار آن (۰/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۱۰۰ درصدمصرف کود پتاسیم به‌دست آمد. اما از این نظر با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه و مصرف ۱۰۰ درصد کود پتاسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد.

عملکرد خشک: مقایسه میانگین عملکرد خشک نشان داد در تیمارهای مختلف در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول۴). با کاهش عمق آب آبیاری تا ۸۰ درصد نیاز آبی عملکرد خشک افزایش یافت اما از این نظر بین تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. با افزایش شدت تنش، وزن خشک کاسبرگ نسبت به شاهد کاهش نشان داد. برای به‌وجود آمدن کپسول به تبع آن افزایش وزن کاسبرگ، گیاه نیاز به رشد رویشی مناسب و تولید اندام‌های تشکیل‌دهنده آن در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی دارد. تأثیر خشکی بر هر یک از اجزای عملکرد می‌تواند در نهایت منجر به تغییر در عملکرد کاسبرگ تولیدی در چای ترش شود. کاهش میزان عملکرد بر اثر افزایش خشکی مربوط به کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه است (Sreevalli et al., 2001). با کاهش مقادیرکود مصرفی پتاسیم نیز مقدار عملکرد خشک کاهش یافت و مشخص گردید بیشترین مقدار عملکرد خشک در تیمارهای ۱۰۰ درصد نیاز کودی به‌دست می‌آید. اثرات متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نیز نشان داد با کاهش آب آبیاری و کود پتاسیم مقدار عملکرد خشک کاسبرگ کاهش یافت و مصرف بیشترکود پتاسیم در سطوح تنش آبی تا حدودی می‌تواند اثرات تنش آبی را کاهش دهد(جدول۵). در شرایط آبیاری مطلوب با افزایش میزان پتاسیم عملکرد خشک کاسبرگ افزایش یافت. اما در شرایط تنش ملایم و شدید رطوبتی افزایش کاربرد کود پتاسیم تا حدودی باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تأثیر منفی کمبود آب بر عملکرد گیاه می‌شود، به‌عبارتی کاربرد مقادیر مناسب کود پتاسیم می‌تواند مقابله با تنش آبی را در گیاه افزایش دهد. این نتایج با نتایج و همکاران (Megyes et al., 2004) مطابقت دارد. فنایی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیق خود راجع به اثرات کود پتاسیم و تنش آبی بر گیاه کلزا در منطقه سیستان نتیجه گرفتند که مصرف کود پتاسیم در شرایط تنش می‌تواند، اثرات مثبت بیشتری بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب نسبت به شرایط رطوبتی بالا داشته باشد. پتاسیم از عناصر پر مصرف است که نقش‌های متعدد ساختاری در سلول و عملکرد کاتالیتیک آنزیم‌های دخیل در متابولیسم دارد (Akhtar and Siddiqui, 2009). پتاسیم تحمل گیاه را نسبت به تنش‌های محیطی بیشتر و تولید نشاسته و کربوهیدرات را افزایش و همچنین استحکام گیاه را افزایش داده و برای رشد بهینه مقدار مطلوب آن مورد نیاز است (Pahlavan et al., 2006). بنابراین کاربرد کود مصرفی پتاسیم توانست تا اندازه‌ای اثرات زیان‌بار تنش آبی را کاهش دهد. در صورتی‌که تنش آبی شدید باشد، نقش کود پتاسیم کاهش می‌یابد. با افزایش سطح تنش‌های آبی، جبران عملکرد خشک توسط کود پتاسیم کاهش یافت. این نتایج با یافته‌های محمد و آشوک که معتقدند کاربرد کودها خصوصا پتاسیم می‌تواند بخشی از تنش آبی را جبران نماید، همخوانی دارد (Mohamed and Ashok, 2014).

بهره‌وری آب آبیاری: مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده نشان داد بین بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت. با کاهش عمق آب آبیاری مقدار بهره‌وری آب آبیاری افزایش یافت. بیشترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی (۰/۰۴۶ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار) و کمترین آن در تیمار ۴۰ درصد نیازآبی (۰/۰۳۴ کیلوگرم بر متر مکعب درهکتار) به‌دست آمد. از این نظر بین تیمار ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد کاهش آب آبیاری از تیمار ۶۰ درصد به تیمار ۴۰ درصد نیازآبی باعث افزایش بهره‌وری نگردید که علت آن را می‌توان کاهش بیشتر عملکرد خشک در این تیمار نسبت به تیمار ۶۰ درصد نیازآبی دانست. کاهش بازدهی مصرف آب بر اثر آبیاری زیاد (تیمار آبیاری کامل)، هم به‌دلیل مصرف آب زیاد و هم به‌دلیل کاهش عملکرد خشک در این تیمار می‌باشد. کاهش مقادیر مصرفی کود پتاسیم نیز باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری گردید اما از این نظر بین تیمار ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز پتاسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده

نگردید (جدول۴). اثرات متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نشان داد با کاهش عمق آب آبیاری و افزایش مقدار پتاسیم بهره‌وری آب آبیاری افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری در سطح آبیاری ۶۰ درصد و سطح کودی ۱۰۰ درصد پتاسیم (۰/۰۵۸ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار) و کمترین آن در ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۵۰ درصد کود پتاسیم (۰/۰۳۱ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار) حاصل شد (جدول۵).

همبستگی بین صفات: همبستگی بین صفات مورد مطالعه در جدول ۶ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود همبستگی معنی‌دار بین تمام صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال پنج و یک درصد وجود دارد. همبستگی مثبت و بالایی (۹۵ درصد) بین کلروفیل a و b وجود دارد. با افزایش و کاهش کلروفیل a مقادیر کلروفیل b نیز افزایش و کاهش داشت. همبستگی منفی بین مقادیر کلروفیل a و b با پرولین و کربوهیدرات مشاهده شد. با افزایش تنش‌های آبی و کودی وارده، مقادیر کلروفیل a و b کاهش یافت اما مقادیر پرولین و کربوهیدرات به‌دلیل نقش کلیدی آن‌ها در تنظیم اسمزی در شرایط تنش افزایش یافت. از طرف دیگر یکی از ساز و کارهای گیاه به تحمل تنش‌های وارده افزایش پرولین می‌باشد که از آن به شاخص تحمل گیاه به کم‌آبی نیز یاد می‌کنند. همبستگی بین مقادیر کلروفیل a و b با کارتنوئید و عملکرد خشک مثبت و معنی‌دار بود. یعنی با افزایش کلروفیل مقادیر عملکرد و کارتنوئید افزایش داشت که با توجه به این‌که غذاسازی و رشد گیاه بستگی به مقدار کلروفیل و فتوسنتز گیاه دارد، این نتیجه دور از انتظار نیست. بین مقدار پرولین و کارتنوئیدها همبستگی معنی‌دار منفی وجود داشت. همان‌طور که گفته شد پرولین به‌عنوان یک شاخص تحمل به خشکی و شوری در گیاه می‌باشد بنابراین با افزایش شدت تنش مقدار آن افزایش می یابد. همبستگی منفی و معنی‌داری بین پرولین و عملکرد خشک مشاهده گردید. با کاهش آب آبیاری و کود پتاسیم مقدار پرولین افزایش و مقدار عملکرد کاهش یافت. افزایش پرولین نشان‌دهنده شدت تنش‌های وارده می‌باشد. بنابراین وقتی مقدار آن بالا باشد، نشان می‌دهد که گیاه دچار تنش شده است و این تنش‌ها باعث کاهش عملکرد در گیاه می باشد. بین آنتوسیانین و کربوهیدرات رابطه مثبت و معنی‌دار (۶۵ درصد) وجود داشت. همان‌گونه که در قبل گفته شد هر عاملی که بتواند روی افزایش، جذب یا ساخته شدن قندها مؤثر باشد، باعث افزایش میزان آنتوسیانین کل در گیاه می‌شود. با توجه به این‌که افزایش تنش باعث بالا رفتن قند و کربوهیدرات در گیاه می‌شود، لذا مقدار آنتوسیانین را نیز افزایش می‌دهد. رابطه منفی بین عملکرد خشک با پارامترهای آنتوسیانین، کربوهیدرات و پرولین مشاهده شد. در شرایط تنش مقدار عملکرد خشک کاهش می‌یابد اما مقادیر آنتوسیانین، کربوهیدرات و پرولین به‌دلیل بالابردن تحمل گیاه به تنش افزایش می‌یابد.

جدول ٦- همبستگی صفات مورد مطالعه

	آنتوسیانین	کربوهیدرات	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	عملکرد خشک
آنتوسیانین	۱						
کربوهیدرات	۰/۶۵**	۱					
پرولین	۰/۷۴**	۰/۶۹*	۱				
کلروفیل a	-۰/۸۴**	-۰/۸۷*	-۰/۸**	۱			
کلروفیل b	-۰/۸۱*	-۰/۸۲*	-۰/۷۸*	۰/۹۵**	۱		
کارتنوئید	-۰/۷۶*	-۰/۷۳**	-۰/۸**	۰/۸۶**	۰/۸۱*	۱	
عملکرد خشک	-۰/۸*	-۰/۷۵*	-۰/۸۴**	۰/۸۲**	۰/۷۸*	۰/۷۶*	۱

** و * معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

نتیجه‌گیری

در شرایط کم آبیاری، گیاه در طی فصل رشد با شدت‌ها و مدت‌های متفاوتی دچار تنش آبی می‌شود. وجود این تنش تغییراتی را در پاسخ گیاه به مصرف کود پتاسیم به‌وجود می‌آورد که همواره یکسان نیست و در مواردی غیرقابل پیش‌بینی است. نتایج این تحقیق نشان داد، هرچه میزان سطح کودی پتاسیم بیشتر شد، رشد و عملکرد چای ترش نیز بیشتر می‌شود. بیشترین عملکرد در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی و تیمار کودی ۱۰۰ درصد مصرف کود پتاسیم به‌دست آمد. تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی مناسب‌ترین تیمار از لحاظ بهره‌وری آب آبیاری بود اما از این نظر با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار نداشت. لذا با توجه به افزایش بهره‌وری آب در تنش‌های آبی، می‌توان با اعمال تنش آبی به گیاه به‌خصوص در مراحل غیرحساس و یا در طول فصل رشد مقدار بهره‌وری آب آبیاری را افزایش داد و با توجه به وضعیت آب موجود در منطقه و کاهش منابع آبی به‌کار بردن ۸۰ درصد نیاز آبی توصیه می‌گردد. همچنین در بین تیمارهای کودی، تیمار کودی ۱۰۰ درصد کود پتاسیم در سطوح مختلف آبی دارای بهره‌وری بیشتری

نسبت به سایر تیمارها بود که نسبت به تیمار ۷۵ درصد مصرف کود پتاسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. تنش کم‌آبی عمده تأثیر خود را از طریق تنش غذایی بر صفات فیزیولوژیک گیاه برجای می‌گذارد. افزایش تنش آبی و کاهش مصرف کود پتاسیم باعث افزایش مقدار آنتوسیانین، کربوهیدرات و پرولین شد و مقادیر کلروفیل a و b و کارتنوئیدها را کاهش داد. که نوعی سازگاری گیاه با تنش می‌باشد. با توجه به این‌که آنتوسیانین به‌علت خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالا پارامتر کیفی هم برای گیاه دارویی چای ترش می‌باشد و مقدار آن در تیمار ۵۰ و ۷۵ درصد مصرف کود پتاسیم تفاوت معنی‌دار نداشت، لذا با توجه به این‌که استفاده ۷۵ درصدی از کود پتاسیم باعث کاهش معنی‌دار عملکرد نمی‌شود و افزایش کیفیت را نیز به‌دنبال دارد، می‌توان این مقدار مصرف کود پتاسیم جهت کاشت چای ترش در منطقه سیستان را پیشنهاد نمود. همچنین از آنجایی که سیستان منطقه‌ای مناسب جهت رشد چای ترش می‌باشد و با توجه به اهمیت دارویی این گیاه، پیشنهاد می‌گردد تحقیقات بیشتری در زمینه کاشت این گیاه در منطقه انجام گیرد

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل انجام شده است. کد پژوهانه UOZ-GR-9719-30

منابع

امینی، ز.، و حداد، ر. ۱۳۹۲. نقش رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در مقابل تنش اکسیداتیو. پژوهش‌های سلولی و ملکولی. ۲۶(۳): ۲۶۵-۲۵۱.

پارسامطلق، ب.، رضوانی‌مقدم، پ.، قربانی، ر. و اعظمی‌ساردویی، ذ. ۱۳۹۶. بررسی برخی صفات فتوشیمیایی گیاه دارویی چای ترش تحت تأثیر سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای و آب آبیاری. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۳(۶): ۹۴۰-۹۲۸.

پیری، ح. ۱۳۹۸. تأثیر توأم شوری و آب آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد سورگوم علوفه‌ای در چین‌های مختلف. اکوفیزیولوژی گیاهی. ۱۱(۳۸):۱۴۷-۱۳۳.

صادقی، ح.، و خانی، ک. ۱۳۹۱. تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و شوری بر ویژگی‌های مورفولوژیک و میزان پرولین یونجه یکساله. علوم کشاورزی دیم ایران. ۱(۲): ۱۳-۱.

طباطبایی، س.ج. ۱۳۸۸. اصول تغذیه معدنی گیاهان. ویرایش اول، انتشارات مؤلف. تبریز. ۵۶۲ صفحه.

فنایی، ح.ر.، گلوی، م.، کافی، م.، قنبری، ا.، و شیرانی‌راد، ا.ح. ۱۳۸۸. اثر مصرف کود پتاسیم و میزان آب آبیاری بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در دو گونه کلزا و خردل هندی. علوم زراعی. ۱۱(۳): ۲۸۹-۲۷۱.

قمری‌زارع، ع.، رضوانی، س.، و فروتن، م. ۱۳۸۷. اثر تنش خشکی ناشی از PEG در چند گونه یونجه یکساله در شرایط آب کشت. پژوهش‌های ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران. ۱۶: ۱۹۷-۱۸۲.

قهرمانی، م.، عبادی، م.، پرمون، ق.، و جهانبخش، س. ۱۳۹۴. بررسی اثر تنش کم‌آبی بر شاخص‌های فتوسنتزی و عملکرد علوفه ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲۵ (۷): ۷۴-۵۹.

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

گرگینی شبانکاره، ح.، و خراسانی‌نژاد، س. ۱۳۹۶. اثر سدیم نیتروپروساید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی مرزه تحت رژیم‌های کم‌آبیاری. پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۴(۳): ۷۰-۵۵.

محمدی، ع.، ابراهیم‌زاده، ح.، هادیان، ج.، و میرمعصومی، م. ۱۳۹۴. واکاوی اثر تنش خشکی بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه بادرشبو. پژوهش‌های گیاهی. ۲۸(۳):۶۲۸-۶۱۷.

Abid-Askari, and Solangi, Ms. 1995. Autecological studies of exotic plant *Hibiscus sabdariffa* L. (Roselle), a multipurpose plant, for is introduction and culture. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research 38:1, 17-21; 13ref.

Agriculture Organization of Sistan and Baluchestan Province of Iran. 2014. *Sb-agrijahad.ir*.

Akanbi W.B., Oaniyn A.B., Togum A.O., Ilupeju A.E.O., and Olairan, O.A. 2009. The effect of organic fertilizer on growth, calyx yield and quality of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Amrican Eurasian Journal of Sustainable Agricalture 3(4): 652-657.

Akbari nia, A., Ghalavand, A., Sefidkan, F., Rezaee, M. B., and Sharifi Ashoorabadi, A. 2003. Investigating the Effects of Chemical Fertilizers, Animals and Combination on the Performance and Composition of Essential Oil Seeds. Research and Development 16(4):32-41.

Akhtar, M.S., and Siddiqui, Z.A. 2009. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and Rhizobium sp. On the growth, nodulation, yield and root- rot disease complex of chickpea under field condition. African Journal of Biotechnology 8(15): 3489-3496.

Anderson, C.M., and Kohorn, B.D. 2001. Inactivation of Arabidopsis SIP1 leads to reduced levels of sugars and drought tolerance. Plant Physiology 158: 1215-1219.

Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll

growth and water-use efficiency of wheat and barley. Plant and Soil 125(2): 177-184.

Hoekstra, F., Golovia, A., and Buitink, J. 2001. Mechanisms of plant desiccation tolerance. Tr. P. Sc. 6: 431-438.

Ibrahim, MM., and Hossein, RM. 2006. Variability, habitability and genetic advance in some genotypes of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). World Journal of Agricultural Sciences 2(3): 340-345.

Imam, Y. 2011. Cereal Crop. Fourth Edition.Shiraz University Press. 190 pages J. Bi, 32: 23-30.

Liue, F., Savic, S., Jensen, C.R., Shahnazari, A., Jacobsen, S., and Andersen, M.N. 2007.Water relations and yield of lysimeter-grown strawberries under limited irrigation. Scientia Horticulture 111:128-132.

Manivaannan, P., Abdul Jaleel C., Sanka, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2007. Growth biochemical modification and proline metabolism in Helianthus annus L. as induced by drought stress, Colloids and Surfaced B. Biointerfaces 59:141-149.

Megyes, A., Ratonyi, T., and Huzsvai L. 2004. The effect of fertilization and irrigation on maize (*Zea mays* L.) production, www.date.hu/acta-agraria.

Mohamed, M., and Ashok, K. 2014. Growth, yield and water Use effeciency of forage sorghum as affected by NPK fertilizer and deficit irrigation. American Journal of Plant Sciences 5: 2134-2140

Mohammadkhani, N., and Heidari, R. 2008. Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. Turk j Boil. 32: 23-30

Mousavi-Fazl, S.H., Alizadeh, A., Ansari, H., and Rezvani Moghadam, P. 2016. The effect of low irrigation and potassium fertilizer on root dynamics, yield and its components in different cultivars of forage sorghum.Water Research in Agriculture 30(1):26-38.

Nayyar, H., and Gupta, D. 2006. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. Environmental and Experimental Botany 58: 106113.

Pahlavan, M., Forghani, A., and Kiekha, A .2006. Preparation of Sistan plain Partiality numerical map Annual. (In Persian, with English Abstract). Final project report, Agricultural and Natural Resources Research Center of Sistan: Zabol, Iran.

Payero, J.O., Melvin, S.R., Irmak, S., and Tarkalson, D. 2009. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. Agric. Water Manage. 84:101–112.

Raisi Sarbizhan, AS., Boroumand, N., and Zaher Aara, T. 2015. The Effect of Nitrogen and Zinc Spraying on Quantitative Traits of roselle in Jiroft Region. Horticulture 30(1):93-101.

Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandra Shekara, R., Kuikkarni, R., Sushil Hasan., Samresh, D., Kukre, J., Ashok, A., Sharmr Singh, K., Srikant, S., and in the plants. Agron. J. 23:112-121.

Aziz, E., Gad, N., and Badran, N.M. 2007. Effect of cobalt and nickel on plant growth, yield and flavonoids content of *Hibiscus sabdariffa* L. Australian Journal of Basic Applied Sciences 1(2): 73-78.

Babatunde, F.E., and Mofoke, A.L.E. 2006. Performance of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as Influenced by irrigation schedules, Pakistan Journal of Nutrition S(4): 363-367.

Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teare, E.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39:205-207.

Delgado-vargas, F., Jimenez, A.R., and Paredes-Lopez, O. 2000. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalins- characteristics, biosyntheses, processing, and stability: critical Reviews in Food Science and Nutrition 40(3): 173-289.

Desuloux, D., Huynh, T.T., and Roumet, P. 2000. Idaetification of soybean plant characteristics that indicate the timing of olrought stress. Crop Sci. 40: 716-722.

Ehdaie, B., Alloush, G.A. Madore, M.A., and Waines, J.G. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. postanthesis changes in internode dry matter. Crop Science 46: 735-748.

EL-Boraie, FOM., Gaber, A.M., and Abdel-Rahman, G. 2009. Optimizing irrigation schedule to maximize water use efficincy of Hibiscus sabdariff under shalation cond:tion, Word Journal of Agricultural Science, S(4): 505-514.

Faraji, H., Siadat, A., Fathi, Gh., and Gilani, A. 2000. Effect of split application of nitrogen fertilizer on yield and yield components of two rice varieties improved environmental conditions in Ahvaz. Proceedings of the Sixth Congress of Agronomy and Plant Breeding.University of Mazandaran, Babolsar6-13 Shahryvar.pp 344.

Farooq, M., Basra, S.M., Wahid, A., and Cheema, Z.A. 2008. Physiological role of exogenously applied glycinebetaine in improving drought tolerance of fine grain aromatic rice. J. Agron and C. Sc, 194: 325-333.

Ganjali, H., Kamali Deljo, A., and Aziziyan Sherme, A. 2016. Growth Characteristics and Performance of roselle at Different Levels Nitrogen, Phosphor and potassium in Saravan weather conditions. Ecology of Plants 13(1):29-37.

Ghosh, PK., Ajay, KK., Bandyopadhyay, MC., Manna, KG., Mandal, AK., and Hati, KM. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer- NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. Bi.Tech. 95: 85-93.

Heakal, M.S., Modaihsh, A.S., Mashhady, A.S., and Metwally, A.I. 1990. Combined effects of leaching fraction, salinity, and potassium content of waters on

Phytochemistry, 53, 659-665.

Wang, L., Fan, L., Loescher, W., Duan, W., Liu, G., Cheng, J., Luo, H., and Li, S. 2010. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. BMC Plant Biol. 10: 34-48.

Wagner, G.J. 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutralsugars, free amino acids and anthocyanins in protoplasts. Plant Physiology 64: 88-9.

Xue, G., Lynne McIntyre, C., Glassop, D., and Shorter, R. 2008. Use of expression analysis to dissect alterations in carbohydrate metabolism in wheat leaves during drought stress. Plant Mol Biol 67: 197–214.

Rakesh, T. 2001. Preliminary obserration on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. Journal of medicinal and Aromatic plant Sci. 22: 356-358.

Taiz, L., and Zeiger, E. 2006. Plant Physiology, (4^{th} Edition). Sinauer Associates, Sunderland, Mass, 623p.

Valliy, B., and Nguyen, H.T. 2006. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drough tolerance in plant, corrent optintion in play Biology, 9: 1-7.

Vitrac, X., Larronde, F., Krisa, S., Decendit, A., Deffieux, G., and Mérillon, J.M. 2000. Sugar sensing and Ca_2+ calmodulin requirement in *Vitis vinifera* cells producing anthocyanins.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 14, Feb.-Mar. 2021, p. 2136-2147

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۴، بهمن - اسفند ۱۳۹۹، ص. ۲۱۴۷-۲۱۳۶

Effect of Different Levels of Potassium Fertilizer and Irrigation Water on Physiological Characteristics and Yield Plant of Roselle

P. Rashki[1], H. Piri*[2]

Recived: Aug.02, 2020 Accepted: Sep.20, 2020

Abstract

Today, changing the pattern of planting towards water deficit resistant plants is proposed as a solution to drought. One of the plants resistant to drought is roselle. In this study, the effect of different levels of irrigation water and potassium fertilizer on roselle was investigated. Experiment with split plot design with four levels of irrigation water (I1, I2, I3 and I4 equivalent to 40, 60, 80 and 100% water requirement) three levels of potassium (K1, K2 and K3 equivalent 50, 75 and 100% potassium requirement) as sub-plot. The results showed that the simple effects of irrigation water and potassium fertilizer were significant ($P < 0.01$) on all measured parameters. The highest yield was obtained from 100% potassium fertilizer treatments and 80% water requirement. The highest irrigation water productivity was obtained in 60% water requirement and 100% potassium fertilizer application but no significant difference was found between 60 and 80% water requirement. In terms of quality, the amount of anthocyanins, carbohydrates and proline increased with decreasing the depth of irrigation water to 60% of the plant's water requirement and reducing the consumption of potassium fertilizer, and the amounts of chlorophyll a and b and carotenoids decreased. However, there was no significant difference between 50 and 75% K fertilizer application. Therefore, due to the water status of the region and the reduction of water resources, 80% water requirement reduces water consumption and 75% potassium fertilizer increases quality and mitigates drought stress in roselle. Also, due to the dry climatic conditions of Sistan region, the use of potassium fertilizer can reduce the damage caused by drought stress in roselle.

Keywords: Carotenoids, Chlorophyll, Irrigation water efficiency, Proline

1- Graduate Student, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol
2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol
(*- Corresponding Author Email: H_piri2880@uoz.ac.ir)