

Evaluation of leaf yield, physiological and biochemical characteristics of Green Tea (*Camellia sinensis* L.) in response to different irrigation regimes and foliar application of Cu and Zn nano-Chelate

Majid Ghanbari¹, Ali Mokhtassi-Bidgol^{2*}, Parniyan Talebi-Siah Saran³ and Ramin Moradi-Lat Mahaleh⁴

1- Ph.D. Crop Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

ghanbari_majid@yahoo.com

2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

mokhtassi@modares.ac.ir

3- MSc. Graduated Student of Horticulture, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

parniyantalebi@rocketmail.com

4- BSc. Graduated student, Department of Livestock and poultry, Faculty of Agriculture, Guilan University, Rasht, Iran.

Received Date: 2021/05/14

Accepted Date: 2021/10/23

Abstract

Introduction: Tea plant (*Camellia sinensis* L.) has great potential for growth in acidic soils and is adapted to soil and a climatic condition of Guilan province. Tea requires acidic conditions, high heat and high humidity, and its leaves are economically important (Taiefeh *et al.*, 2013). Various studies have shown that the yield of green tea leaves and its physiological and biochemical properties depend on factors such as soil type, altitude, season, climatic conditions, and the amount of water available to the plant and the consumption of macro and micro elements (Owuor and Bowa, 2012). One of the prominent issues in the production of crops and orchards, including tea orchards, is strengthening their resistance to dry conditions, and among them, water deficit stress is the most common type of environmental stress that affects plant growth and production (Kirigwi *et al.*, 2004). The element copper is very important in the growth and production of quality tea, so that by interfering with the oxidation of green tea leaves, it directly affects the taste and color of tea (Singh and Singh, 2004). Zinc as a major factor in the activity of many enzymes and play a major role in the structure of proteins that regulate transcription in leaves of tea plays, therefore, reducing the concentration of this element reduces the stomatal conductance, reduces transpiration and degrades the function of antioxidant enzymes (Upadhyaya *et al.*, 2013). This study was conducted to investigate the effect of application of copper and zinc nano-fertilizers and irrigation water deficiency on different morpho-physiological and biochemical characteristics of tea plant in garden conditions.

Material and methods: This research was carried out as a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications in selected tea research gardens of Rudsar city in 2018. Factorial combinations of three treatments of water deficit stress (15% (un-stressed control, IR₁), 30% (moderate stress, IR₂) and 45% (severe stress, IR₃) of FC depletion) and four foliar application (FA₁: use distil water, control, FA₂: Copper nano-chelate (0.5 mg per one liter of distilled water), FA₃: Zinc nano-chelate (2.5 mg per one liter of distilled water) and FA₄: Copper nano-chelate + Zinc nano-chelate) were considered. The applied drought stress levels were determined between the field capacity and the permanent wilting point of the soil in the tested area to determine the plant response to different soil water levels (Mokhtassi-Bidgoli *et al.*, 2013). The amount of chemical fertilizers required was determined based on the results of soil test (Table 1) and the amount of nutrients harvested by tea plants (Table 2) (Sedaghatthoor *et al.*, 2003).

Results and discussion: The results of this study showed that the interaction of irrigation regimes and foliar application on green leaf yield, photosynthesis rate, proline concentration, catalase, peroxidase and superoxide dismutase activity were significant. Under moderate stress conditions, optimal green leaf yield and plant photosynthesis rate were obtained from the combined foliar application of copper and zinc nano-fertilizers. Also, under severe stress conditions, the highest amount of antioxidant activity and proline concentration was observed in the combined spraying of copper and zinc nano-fertilizers. Total chlorophyll decreased fewer than 62.5 and 75 % under moderate and severe stress conditions compared to the control treatment. Also, carotenoids under the influence of copper foliar application, zinc foliar application and combined copper and zinc foliar application increased by 38.47, 43.84 and 69.29% compared to the control treatment.

Conclusions: In general, it can be concluded that the application of combined foliar application of copper and zinc increased 58.40, 32.54 and 31.28% of green tea leaf yield compared to the control under moderate stress conditions, respectively. The results proved copper and zinc micronutrients increase green leaf yield, photosynthetic rate, photosynthetic pigments, soluble carbohydrate and protein concentrations, as well as increase the activity of antioxidants in stress conditions. Also, results showed that zinc and copper are very effective in tea resistance to water stress and reduction of dehydration damage.

Keywords: Anti-Oxidant, Nutrition, Photosynthesis, Stress, Water Deficit.

ارزیابی عملکرد برگ، خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چای سبز (*Camellia sinensis* L.) در پاسخ به رژیم‌های مختلف آبیاری و

محلول‌پاشی نانوکلات مس و روی

مجید قنبری^۱، علی مختصی بیدگلی^{۲*}، پرینان طالبی سیه‌سران^۳ و رامین مرادی لات محله^۴

۱- دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
ghanbari_majid@yahoo.com

۲- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
mokhtassi@modares.ac.ir

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه باغبانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
parniyantalebi@rocketmail.com

۴- دانش‌آموخته کارشناسی، گروه دام و طیور، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، گیلان، ایران.
Raminmoradilat1365@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۴

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر کاربرد نانوکودهای مس و روی و تنش خشکی بر خصوصیات مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بوته چای و در شرایط باغی انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۸ در باغات تحقیقاتی منتخب چای شهرستان رودسر اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل سه سطح تنش کمبود آب بر اساس آبیاری، IR₁: ۱۵ (شاهد)، IR₂: ۳۰ (تنش متوسط) و IR₃: ۴۵ (تنش شدید) درصد ظرفیت زراعی و چهار سطح محلول‌پاشی شامل؛ FA₁: آب مقطر (شاهد)، FA₂: نانو کلات مس (۰/۵ میلی‌گرم در یک لیتر آب مقطر)، FA₃: نانو کلات روی (۲/۵ میلی‌گرم در یک لیتر آب مقطر) و FA₄: نانو کلات مس+نانو کلات روی (۰/۵ میلی‌گرم نانو کلات مس + ۲/۵ میلی‌گرم نانو کلات روی در یک لیتر آب مقطر) بودند. نتایج نشان داد که اثرات اصلی رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی بر کلروفیل کل، کاروتنوئید، پروتئین برگ و کربوهیدرات محلول و برهمکنش رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد برگ سبز، سرعت فتوسنتز، غلظت پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز معنی‌دار بود. تحت شرایط تنش متوسط و شدید، بهینه عملکرد برگ سبز، سرعت فتوسنتز گیاه، بیشترین میزان فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و غلظت پرولین از تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان نانو کلات‌های مس و روی به‌دست آمد. محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی، محلول‌پاشی روی و محلول‌پاشی مس به‌ترتیب ۵۸/۴۰، ۳۲/۵۴ و ۳۱/۲۸ درصد عملکرد برگ سبز چای نسبت به شاهد تحت شرایط تنش متوسط شد. عناصر ریزمغذی نظیر مس و روی قادر به افزایش عملکرد برگ سبز، سرعت فتوسنتز، رنگدانه‌های فتوسنتزی، غلظت کربوهیدرات محلول و پروتئین برگ تحت شرایط تنش خشکی است. همچنین این عناصر موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها در شرایط تنش شده و در بروز مقاومت بوته چای و کاهش خسارات ناشی از کم‌آبی در باغات چای بسیار مؤثر هستند.

کلمات کلیدی: آنتی‌اکسیدان، تغذیه، تنش، فتوسنتز، کم‌آبی.

مقدمه

چای (*Camellia sinensis* L.) با دارا بودن پتانسیل تولید بالا در خاک‌های اسیدی و سازگار به شرایط خاکی و اقلیمی استان گیلان، گیاهی آهک‌گریز، گرمادوست و رطوبت‌پسند می‌باشد که برگ آن از نظر اقتصادی و بهره‌برداری قسمت اصلی این گیاه را تشکیل می‌دهد (Taiefeh *et al.*, 2013). چای درختچه‌ای است تک‌پایه، دو لپه، چند ساله، از شاخه نهاندانگان، خانواده تیاسه^۱ و همیشه سبز که ازدیاد آن عمدتاً از طریق بذر و قلمه بوده و جزء گیاهان مناطق گرمسیر مرطوب می‌باشد (TOI, 2021). بر اساس آمار فائو در سال ۲۰۱۹ سطح زیر کشت چای در دنیا ۵ میلیون هکتار، مجموع تولید آن در دنیا ۶/۵ میلیون تن و عملکرد آن ۱/۳ تن در هکتار است. در همان سال، سطح زیر کشت چای در ایران ۱۶ هزار هکتار، مجموع تولید آن در ایران ۹۰ هزار تن و عملکرد آن ۵/۶ تن در هکتار گزارش شده است (FAO, 2021). مراکز مهم کشت چای در ایران منحصر به استان‌های گیلان و مازندران است که ۹۰ درصد باغات چای در استان گیلان و ۱۰ درصد آن در استان مازندران قرار دارد (AJMIRI, 2021).

خشکی حتی در اقلیم‌های معتدله که از رطوبت کافی برخوردار هستند، نیز ممکن است محدود کننده رشد باشد (Wood, 2005). بسیاری از محققین طی آزمایش‌های خود دریافتند که شرایط کمبود آب آبیاری، موجب تغییر شکل کلروپلاست‌ها و کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ گیاه چای، آسیب ساختارهای لامالایی، کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتز و محدودیت هدایت روزنه‌ای برگ‌های چای شده، در نتیجه منجر به کاهش فتوسنتز و تنفس می‌شود (Allen and Ort, 2001; Reddy *et al.*, 2004; Anjum *et al.*, 2011). بسیاری از محققین دریافتند که تنش خشکی به‌طور کلی باعث کاهش میزان نشاسته شده؛ اما باعث تجمع قندهای محلول در برگ‌های گیاه چای می‌شود (Lin *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2016). همچنین

بسیاری از پژوهشگران طی تحقیقات خود نشان دادند که تنش خشکی محتوای فنل، آسکوربات، کاتالاز، محتوای کلروفیل، آسکوربات و فعالیت گایاکول پروکسیداز و گلوکاتیون ردوکتاز را در برگ سبز چای کاهش داده، در عین حال، مالون دی‌آلدهید، پراکسیداسیون لیپید، پراکسیداز، سوپر اکسید دیسموتاز، پلی فنل اکسیداز، محتوای پرولین، پراکسید هیدروژن، سوپر اکسید آنیون و فعالیت کاتالاز را افزایش داده است (Qian *et al.*, 2018; Upadhyaya and Panda, 2004).

عنصر مس اهمیت به‌سزایی در رشد و تولید چای با کیفیت دارد، به‌طوری‌که با دخالت در عمل اکسیداسیون برگ سبز چای، مستقیماً در طعم و رنگ چای اثر می‌گذارد (Singh and Singh, 2004). عنصر مس همچنین، در فعالیت‌های آنزیمی و واکنش‌های اکسایش و کاهش دخالت داشته و کاهش سرعت فتوسنتز، چوبی شدن دیواره سلولی، پیچیدگی برگ، خم شدن ساقه و بدشکل شدن شاخساره بوته چای از نشانه‌های کمبود این عنصر است (Upadhyaya and Panda, 2013). روی یکی دیگر از عناصر ریزمغذی است که وجود آن در خاک حتی به مقادیر بسیار کم برای رشد گیاه چای ضروری است. روی غالباً به‌صورت یون دو ظرفیتی Zn^{2+} و شاید در pHهای بالاتر به‌صورت $ZnOH^+$ جذب می‌گردد. جذب روی در گیاه چای به‌صورت فعال است و وجود ترکیباتی مثل $FeCl_2$ و $MnCl_2$ با جذب آن رقابت می‌کنند (Sharma *et al.*, 1994). علاوه بر این، روی به‌عنوان یک فاکتور اصلی در فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها دخیل بوده و نقش اصلی را در ساختار پروتئین‌های تنظیم‌کننده رونویسی در برگ گیاه چای بازی می‌کند، از این‌رو، کاهش غلظت عنصر روی در گیاه چای موجب کاهش هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق و تعدیل عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌گردد (Upadhyaya *et al.*, 2013).

^۱ Theaceae

مثبت و معنی‌داری داشت (Sedaghatoor *et al.*, 2003). محققین در بررسی اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر بوته‌های مادری چای به‌منظور کاهش تلفات قلمه در خزانه اعلام کردند که دو نوبت محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر ارتفاع نهال داشته و موجب کاهش تلفات قلمه به میزان ۱۹ درصد نسبت به شاهد شده است (Sedaghatoor, 2006). پژوهشگران در بررسی بهبود شاخص‌های کیفی چای با محلول‌پاشی عناصر غذایی در شرایط آبیاری تکمیلی دریافتند که محلول‌پاشی اوره، روی، مس و منیزیم و ترکیبی از آن‌ها، بر مقدار عناصر نیتروژن، پتاسیم، مس، منیزیم و روی موجود در برگ سبز چای معنی‌دار بود. هم‌چنین محلول‌پاشی، بیشترین تأثیر را بر ویژگی‌های رؤیت، رنگ نوشابه‌ی چای، عطر، طعم و رنگ تفاله‌ی چای خشک داشت (Talebi *et al.*, 2019). با توجه به این‌که از یک سو، بیشتر اراضی استان گیلان تحت تأثیر بارندگی بیش از حد و فقدان عناصر کم‌مصرف موجود در خاک می‌باشد. از سویی دیگر، بروز خشکسالی‌های متعدد در استان گیلان و وقوع تنش خشکی فصلی به‌ویژه در فصل تابستان موجب کاهش برگ چای استحصال شده می‌گردد. استفاده از محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف یکی از راهکارهای مهم مقاومت به تنش خشکی در چای می‌باشد. در این راستا، آزمایشی جهت بررسی چگونگی تأثیر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف مس و روی بر افزایش مقاومت درختچه‌های چای در شرایط کمبود آب از طریق اندازه‌گیری تغییرات عملکرد برگ سبز، خصوصیات بیوشیمیایی و آنزیمی بوته چای، اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در باغات منتخب تحقیقاتی شهرستان رودسر بخش رحیم‌آباد، با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و صفر دقیقه عرض شمالی، طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۱۶ متر بالاتر از سطح دریا اجرا شد. تیمارها شامل سه

نانوفناوری شامل طیف وسیعی از فناوری‌های مربوط به ساخت مواد در مقیاس یک تا ۱۰۰ نانومتر است که می‌تواند به تغییرات چشم‌گیر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد منجر شود. نانو کودها می‌توانند یک نوآوری بزرگ برای کشاورزی باشند (Maghsoodi and Najafi, 2017). نانوکودها حامل‌های عناصر غذایی در ابعاد ۳۰ تا ۴۰ نانومتر (10^{-9} متر) هستند و توانایی حمل مناسب یون‌های عناصر غذایی را به‌علت سطح ویژه زیاد دارند (Subramanian *et al.*, 2015). استفاده از نانوفناوری در تولید کودها ممکن است موجب رهایش بهینه و افزایش کارایی جذب عناصر غذایی موجود در کود شود که منجر به فواید اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجهی می‌گردد (Liu and Lal, 2014). نانوکودها به‌علت اندازه کوچک شاید بتوانند عناصر غذایی را به‌طور مؤثرتری به گیاهان عرضه کنند چون ممکن است دسترسی آن‌ها به سطوح گیاهی و کانال‌های حمل و نقل بیش‌تر باشد (Mastronardi *et al.*, 2015). نانوکودها هم‌چنین می‌توانند حلالیت بیش‌تری نسبت به دیگر کودها داشته باشند که این ویژگی در نانوذرات بی‌شکل در انحلال ترکیبات کم محلول مشاهده شده است. این نانوذرات بی‌شکل سینتیک انحلال سریع‌تری نسبت به ذرات در ابعاد معمولی نشان می‌دهند و زیست‌فراهمی را بر اثر افزایش نقطه اشباع افزایش می‌دهند (Chahal *et al.*, 2012).

به‌وجود آمدن حالت اسیدی در خاک، محدودیت‌هایی را به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم برای رشد گیاه چای به‌وجود می‌آورد. مهم‌ترین آن‌ها شامل سمیت عناصری چون آهن، آلومینیوم و منگنز و کاهش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی از جمله مس و روی و کاهش فعالیت برخی از موجودات مفید خاک می‌باشد (Taiefeh *et al.*, 2013). تحقیقات در زمینه تأثیر عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف روی عملکرد و کیفیت چای نشان داد که ترکیب تیماری سولفات منیزیم و سولفات روی بر میزان عملکرد کل برگ سبز چای و ترکیب تیماری نیتروژن و پتاسیم به‌همراه کاربرد عناصر کم‌مصرف روی درصد کافئین برگ سبز چای تأثیر

بهینه آن به منظور محلول پاشی انتخاب گردید. سطوح تنش خشکی اعمال شده، مابین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک منطقه تحت آزمایش برای تعیین واکنش گیاه به سطوح متفاوت آب خاک تعیین گردید (جدول ۱) (Mokhtassi-Bidgoli *et al.*, 2013). مقادیر کودهای شیمیایی مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲) و با توجه به تشابه نسبی شرایط اقلیمی و خاکی منطقه مورد آزمایش براساس برداشت عناصر غذایی توسط بوته‌های چای (جدول ۳) (Sedaghatthoor *et al.*, 2003) مشخص گردید.

سطح آبیاری، IR₁: ۱۵ (شاهد)، IR₂: ۳۰ (تنش متوسط) و IR₃: ۴۵ (تنش شدید) درصد ظرفیت زراعی و چهار سطح محلول پاشی شامل؛ FA₁: آب مقطر (شاهد)، FA₂: نانو کلات مس (۰/۵ میلی گرم در یک لیتر آب مقطر) (Kamiab and Mohammadi, 2019)، FA₃: نانو کلات روی (۲/۵ میلی گرم در یک لیتر آب مقطر) (Davoudi *et al.*, 2020) و FA₄: نانو کلات مس+نانو کلات روی بودند. نانوکلات‌های مس و روی از شرکت دبکو تهیه شده و کیفیت آن از وزارت صنعت، معدن و تجارت استعلام گردید. به جهت تسهیل کاربرد نانو کلات‌های مس و روی توسط کشاورزان، مقادیر

جدول ۱- داده‌های ماهانه آب و هوایی رودسر، ایستگاه هواشناسی رودسر طی سال ۱۳۹۸

Table 1- Monthly climatic data of Rudsar, Rudsar meteorological station during 2019

months	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Optimum temperature (°C)	Average relative humidity (%)	Average wind speed (m/s)	Average rainfall (mm)
March	8.27	17.23	12.75	86.21	1.84	3.24
April	9.55	22.57	16.06	80.37	7.98	2.91
May	15.27	27.41	21.34	79.93	2.08	0.67
June	18.16	30.25	24.20	69.20	1.63	0.10
July	20.12	28.56	24.84	76.75	1.39	4.15
August	18.22	29.11	23.66	74.98	1.54	2.61
September	14.77	26.43	20.60	80.06	1.72	5.77

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی تجزیه خاک مزرعه

Table 2- Physicochemical properties of field soil decomposition

Soil Deps cm	EC ds/m	pH	O.M T.N P K S					PWP FC		Texture -	Sand %	Clay	Silt
			%			mg/kg		% by volume					
0-30	1.04	4.6	2.5	0.23	65.7	196	51.5	14.28	28.72	Sandy-loam	48.8	17.2	34

جدول ۳- میزان برداشت عناصر غذایی توسط بوته‌های چای (کیلوگرم بر هکتار)

Table 3- Nutrient uptake rate by tea plants (kg/ha)

S	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	N
22	15	50	120	15	200

برداشت از اوایل فروردین ماه تا اواخر مهر ماه) تحت شرایط نور کم در اواخر روز با استفاده از سم پاش پستی موتوری لانسی شرکت هوندای ژاپن مدل FH-768 گنجایش ۲۵ لیتر و نازل مخروطی انجام گردید. طول هر کرت آزمایشی ۶ متر و عرض ۳ متر بود. فاصله بین کرت‌ها و بین تکرارها به ترتیب ۱/۵ متر (یک ردیف بوته) و سه متر (دو ردیف بوته) در نظر گرفته شد. همچنین، به منظور

نیترژن از منبع اوره (۴۳۵ کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) طی دو قسط در تاریخ‌های ۹۸/۰۳/۰۴ و ۹۸/۰۱/۲۰ و فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل (۴۴ کیلوگرم در هکتار) و منیزیم از منبع سولفات منیزیم (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ ۹۸/۰۱/۲۰ به صورت پنخش در سطح خاک اعمال شد. محلول پاشی ۱۰ روز بعد از انجام هر نوبت برداشت (۹ بار

در رابطه فوق، V_d حجم آب آبیاری بر حسب میلی‌متر، ASW آب قابل دسترس خاک برابر با $117/6$ میلی‌متر در هر متر عمق خاک و RZ عمق مؤثر ریشه برابر با $0/9$ متر است (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013). زمان رسیدن ارتفاع برگ‌ها به اندازه دو برگ و یک غنچه، عملیات برداشت به‌روش برداشت ممتاز با دستگاه مخصوص دو نفره با حذف نیم متر اثر حاشیه‌ای در هر نوبت برداشت در کلیه کرت‌ها به‌طور هم‌زمان صورت گرفت و عملکرد برگ سبز چای از مجموع ۹ نوبت برداشت بر حسب کیلوگرم در هکتار ثبت شد. توزین نمونه‌ها با ترازوی حساس با دقت $0/01$ گرم انجام شد. برای تعیین خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی قبل از نوبت برداشت تاریخ $98/04/25$ به‌طور تصادفی به روش کادر اندازی در سطح $0/25$ متر مربع نمونه‌برداری از برگ‌های بالایی و جوان بوته صورت گرفت و پس از حذف ضایعات آن شامل پو، دمار، ساقه و پره ضخیم به‌صورت دستی در ازت مایع تثبیت گردید. به‌منظور سنجش غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئید، $0/2$ گرم نمونه برگ‌گی در استون 80 درصد عصاره‌گیری شد. سوسپانسیون حاصل به مدت 15 دقیقه با 12000 دور در دقیقه در دمای $4-2$ درجه سلیسیوس سانتریفیوژ گردید. عصاره حاصله به‌ترتیب در طول موج‌های 645 و 663 نانومتر برای اندازه‌گیری کلروفیل کل و در طول موج 480 نانومتر برای اندازه‌گیری کاروتنوئید قرائت و با استفاده از روابط زیر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان گردید (-Modares-Sanavy et al., 2014).

رابطه (۳)

$$Chl_T = [20.2 \times A_{645} + 8.02 \times A_{663}] \times V / 1000W$$

رابطه (۴)

$$Crth = [(1000 \times A_{480} - 1/32 \times Chl_a - 95.02 \times Chl_b)] / 198 \times V / 1000W$$

جلوگیری از نشت آب به سایر کرت‌ها از آبیاری به‌صورت قطره‌ای - نواری (T-tape) استفاده گردید. تعیین زمان آبیاری مطابق تخلیه رطوبت خاک به‌صورت درصد در محدوده ظرفیت زراعی منطقه ریشه و عمق مناسب خاک برای جذب آب برای چای حدود 90 سانتی‌متر در نظر گرفته شد که مطابق روابط ۱ و ۲ محاسبه شد. مقدار رطوبت خاک ابتدا به روش وزنی و سپس با استفاده از دستگاه TDR^۱ مدل (Trime- IMKO- GmbH, D-76275, Germany) (FM) در عمق مذکور مشخص شد. برای برقراری رابطه بین مقادیر عددی TDR و درصد رطوبت حجمی خاک در روش محاسبه از طریق وزن، منحنی کالیبراسیون رسم گردید. جهت کاربرد TDR، در مرکز هر واحد آزمایشی یک لوله دسترسی^۲ از جنس UPVC نصب گردید. همچنین، جهت مشخص کردن مقادیر مورد نیاز آب آبیاری از کنتور آب استفاده گردید. از تلفیق داده‌های حاصل شده و رابطه ۱ درصد تخلیه آب قابل دسترس خاک در منطقه کارایی ریشه گیاه بررسی گردید:

رابطه (۱)

$$MAD^3 = (FC - \theta) / (FC - PWP)$$

در این رابطه، FC و PWP به‌ترتیب رطوبت خاک در محدوده ظرفیت زراعی^۴ و نقطه پژمردگی دائم^۵ (جدول ۱) و θ درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری است (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013). حداکثر تخلیه مجاز، بیشترین مقدار آبی است که در صورت خروج از خاک، میزان رطوبت حجمی آب خاک از نقطه پژمردگی دائم عبور کرده و گیاه از بین می‌رود. θ منطبق بر سطوح آبیاری معین تنظیم شده و حجم آب مورد استفاده در هر آبیاری از طریق رابطه ۲ تعیین می‌گردد:

رابطه (۲)

$$V_d = MAD \times ASW \times R_z \times 10$$

¹ Time-Domain Reflectometry

² Access tube

³ Maximum allowable depletion

⁴ Field capacity (FC)

⁵ Permanent wilting point (PWP)

1991). اندازه‌گیری آنزیم پراکسیداز با اضافه کردن مقادیر مناسب عصاره آنزیمی، بافر، گایاکول (2-methoxyphenol, C₇H₈O₂) با غلظت نهایی ۲۸ میلی‌مولار و پراکسید هیدروژن با غلظت نهایی ۵ میلی‌مولار در طول موج ۴۷۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر قرائت و به ازای تغییرات جذب بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان شد (Ghanati et al., 2002). آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز با قرارگیری محلول واکنش، شامل بافر پتاسیم فسفات یک میلی‌مولار، کربنات سدیم ۵۰ میلی‌مولار، ال-متیونین ۱۲ میلی‌مولار، نیتروبلوتراترازولیوم ۷۵ میلی‌مولار، ریپوفلاوین یک میکرومولار و ۲۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی به مدت ۱۵ دقیقه در معرض نور و قرائت نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر، اندازه‌گیری و به صورت تغییرات جذب بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان شد (Giannopolitis and Ries, 1977). آنالیز داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ (SAS, 2015) انجام شد. قبل از آنالیز داده‌ها، تست نرمالیتی انجام گرفت و پس از اطمینان از توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تجزیه واریانس از طریق مدل خطی تعمیم یافته (GLM) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد احتمال استفاده شد. زمانی که برهمکنش دوگانه معنی‌دار است، جهت تفسیر و بحث درست نتایج و جلوگیری از مقایسه‌های گیج‌کننده و پیچیده، برش‌دهی فیزیکی برای رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد برگ سبز

نتایج نشان داد عملکرد برگ سبز چای تحت تأثیر برهمکنش رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). برهمکنش رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی، محلول‌پاشی

در این روابط، A: میزان جذب نوری هر نمونه در اسپکتروفتومتر بر حسب نانومتر، V: میزان استون به حجم رساننده عصاره آنزیمی بر حسب میلی‌لیتر و W: مقدار نمونه برگ جهت تهیه عصاره بر حسب گرم است. فتوستنز گیاه با استفاده از سیستم تبادل گاز قابل حمل (Li-Cor) (6400, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA) و میزان کربوهیدرات محلول با استفاده از روش رنگ‌سنجی (MAFF, 1982) اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری پروتئین، مخلوط کامل یک میلی‌لیتر معرف برادفورد به همراه ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد و بر حسب میلی‌گرم پروتئین بر گرم بافت تر بیان گردید (Bradford, 1976). جهت اندازه‌گیری پرولین، ۰/۲ گرم نمونه منجمد شده در ۳ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید هاون‌کوبی شده و پس از سانتریفیوژ به مدت ۱۵ دقیقه با ۱۸۰۰۰ دور بر دقیقه، ۲ میلی‌لیتر از عصاره به دست آمده با ۲ میلی‌لیتر ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال مخلوط شده و پس از ۶۰ دقیقه قرارگیری در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس، در دمای اتاق خنک شده و پس از اضافه کردن ۴ میلی‌لیتر تولوئن، ۱۵ الی ۲۰ ثانیه ورتکس شد و پس از نیم ساعت قرارگیری در حالت سکون، میزان پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شده و بر حسب میلی‌مول بر گرم وزن تر بیان گردید (Paquine and Lechasseur, 1979). برای تعیین فعالیت آنزیم کاتالاز، ۰/۲ گرم از بافت برگ در بافر پتاسیم فسفات ۰/۰۵ مولار با pH=۷ در دمای صفر تا ۴ درجه سلسیوس هاون‌کوبی و عصاره‌گیری شد. سوسپانسیون حاصل به مدت ۱۵ دقیقه با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴-۲ درجه سلسیوس سانتریفیوژ گردید. محلول واکنش شامل عصاره آنزیمی، بافر و پراکسید هیدروژن با غلظت نهایی ۱۰ میلی‌مولار در طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت و به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان شد (Cakmak and Horst, 1991).

روی، به ترتیب ۲۰/۶۶ و ۱۹/۵۰ درصد عملکرد برگ سبز چای را نسبت به محلول پاشی مس و محلول پاشی روی افزایش داد. در شرایط تنش شدید، محلول پاشی هم زمان مس و روی، محلول پاشی روی و محلول پاشی مس به ترتیب ۹۳/۵۵، ۶۶/۵۶ و ۷۲/۶۹ درصد عملکرد برگ سبز چای را نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین، محلول پاشی هم زمان مس و روی، به ترتیب ۱۲/۰۷ و ۱۶/۲۰ درصد عملکرد برگ سبز چای را نسبت به محلول پاشی مس و محلول پاشی روی افزایش داد (جدول ۵).

روی و محلول پاشی مس به ترتیب ۲۶/۲۵، ۱۵/۵۰ و ۱۸/۴۳ درصد عملکرد برگ سبز چای را نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین، محلول پاشی هم زمان مس و روی، به ترتیب ۱۰/۸۴ و ۱۳/۶۶ درصد عملکرد برگ سبز چای را نسبت به محلول پاشی مس و محلول پاشی روی افزایش داد. در شرایط تنش متوسط، محلول پاشی هم زمان مس و روی، محلول پاشی روی و محلول پاشی مس به ترتیب ۵۸/۴۰، ۳۲/۵۴ و ۳۱/۲۸ درصد عملکرد برگ سبز چای را نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین، محلول پاشی هم زمان مس و

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی مس و روی بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک گیاه چای سبز تحت

رژیم‌های مختلف آبیاری

Table 4- Analysis of variance of Cu and Zn foliar application effect on yield and physiological characteristics in Green Tea under different irrigation regimes

Sources of Variations	df	Green leaf yield	Total chlorophyll	Carotenoid	Leaf protein	Photosynthesis rate
Block (Replication)	2	255.01ns	0.16ns	0.12ns	0.15ns	1.37ns
Irrigation Regimes (IR)	2	16338.18**	1.98**	1.98**	49.27**	271.26**
Foliar Application (FA)	3	17455.37**	1.87**	1.87**	1.29**	290.35**
IR × FA	6	8426.37**	0.14ns	0.14ns	0.14ns	16.95**
Experimental Error	24	814.22	0.25	0.21	0.42	3.11
C. V. (%)	-	14.23	5.12	8.45	6.70	7.56

** Represents a significance at a probability level of 1% and ns; non-significant.

تورژسانس سلول شده که در نهایت منجر به کاهش عملکرد برگ سبز چای می‌گردد (Earl and Davis, 2003).

در این بین، برخی محققین گزارش دادند که در فصل گرم و خشک، حتی زمانی که رطوبت موجود در خاک در حد ظرفیت زراعی باشد، پتانسیل آب شاخساره‌ها و حتی رشد شاخساره‌ها، تحت تأثیر دمای بالا و کمبود رطوبت موجود در هوا، به شدت کاهش می‌یابد (Panda et al., 2003). پژوهشگران در بررسی تأثیر محلول پاشی آهن، روی، منگنز و مس بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای دریافتند که محلول پاشی هم زمان سولفات آهن، روی، منگنز و مس بیشترین میانگین عملکرد دانه را به خود اختصاص داده بود (Rasaei Far et al., 2010). از یک سو، محققین

پژوهشگران با مطالعه اثرات آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد چای گزارش دادند که روند رشد، عملکرد برگ سبز چای و عملکرد چای خشک با تأخیر آبیاری کاهش چشم‌گیری نشان داد (Majd Salimi and Mir, 2008). نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، تولیدات فتوسنتزی کاهش یافته و متعاقب آن استفاده از آسمیلات‌های فتوسنتزی جهت افزایش رشد رویشی کاهش می‌یابد. در اثر کاهش مقادیر آب در گیاه، حجم سلول‌های گیاهی، سرعت فرآیند تقسیم سلولی، روند دیواره‌سازی در سلول‌های گیاهی و در نهایت اندازه کلی اندام‌های گیاه کاهش یافته و در مراحل مختلف رشد، به ویژه در مراحل اولیه رشد موجب کمبود آب در بافت گیاه و در نتیجه کاهش

می‌گردد (Bauder, 2002). از سوی دیگر، به نظر می‌رسد محلول‌پاشی عنصر مس در شرایط تنش خشکی، از طریق بهبود وضع تغذیه‌ای گیاه به‌واسطه مواد فتوسنتزی تولیدی، موجب افزایش ارتفاع ساقه و تولید تعداد برگ بیشتر در بالای ساقه گیاه چای خواهد شد (Mahler and Westermann, 2003).

اعلام کردند که کمبود عناصر ریز مغذی به‌ویژه عنصر روی در دوره رشد رویشی و ابتدای رشد زایشی تحت شرایط تنش خشکی موجب کاهش رشد و زوال ریشه و متعاقباً موجب کاهش تثبیت نیتروژن و جذب عناصر غذایی توسط آن شده و در نتیجه موجب کاهش چشم‌گیر رشد رویشی و تولید برگ سبز در گیاه چای

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی بر صفات اندازه‌گیری شده در چای سبز پس از برش‌دهی در سطوح

رژیم‌های آبیاری

Table 5- Mean comparison of simple effect of foliar application on the measured traits in Green Tea after slicing at the levels of irrigation regimes

Irrigation Regimes	Foliar Application	Green leaf yield (Ton.ha ¹)	Photosynthesis rate (μmolCO ₂ .m ⁻² .s ⁻¹)	Proline (mg.g ⁻¹ FW)	Catalase (A.mgPro-1.min ⁻¹)	Peroxidase (A.mgPro-1.min ⁻¹)	Superoxid dismutase (A.mgPro-1.min ⁻¹)
(15% IR1 FC Depletion)	FA1	7.16±0.05c	14.00±1.96b	0.007±0.001c	0.46±0.08c	0.35±0.06c	3.31±0.18c
	FA2	8.48±0.17b	25.76±0.86a	0.012±0.001b	0.76±0.04b	0.55±0.04b	4.77±0.22b
	FA3	8.27±0.02b	26.26±0.48a	0.014±0.001b	0.80±0.03b	0.58±0.03b	4.80±0.24b
	FA4	9.40±0.23a	27.50±1.55a	0.022±0.000a	1.32±0.04a	1.04±0.06a	5.75±0.26a
	LSD	1.10	4.05	0.003	0.16	0.25	0.93
(IR2 (30% FC Depletion)	FA1	5.53±0.03c	10.16±1.60c	0.015±0.002c	1.80±0.07c	1.22±0.05c	5.93±0.43c
	FA2	7.26±0.17b	21.13±0.70b	0.036±0.001b	2.45±0.02b	1.90±0.02b	8.12±0.31b
	FA3	7.33±0.12b	23.50±0.36b	0.038±0.002b	2.47±0.02b	1.95±0.02b	8.15±0.40b
	FA4	8.76±0.28a	27.50±1.38a	0.052±0.001a	3.77±0.07a	2.86±0.05a	10.68±0.81a
	LSD	1.24	2.31	0.005	0.14	0.10	1.18
(IR3 (45% FC Depletion)	FA1	3.26±0.15c	4.93±1.40c	0.055±0.002c	2.67±0.09c	2.67±0.07c	7.56±0.50c
	FA2	5.63±0.38a	20.00±0.71b	0.068±0.002b	3.41±0.08b	3.21±0.08b	10.09±0.37b
	FA3	5.43±0.24a	21.46±0.35b	0.070±0.003b	3.37±0.05b	3.25±0.06b	10.63±0.39b
	FA4	6.31±0.27a	23.68±0.26a	0.086±0.001a	4.85±0.09a	4.38±0.05a	12.14±0.32a
	LSD	1.80	1.26	0.007	0.20	0.31	1.25

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by the LSD test. IR1: control; IR2: moderate stress; IR3: sever stress; FA1: control; FA2: Cu; FA3: Zn; FA4: Cu+Zn.

محلول‌پاشی روی افزایش داد. کاروتنوئید تحت شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به تیمار شاهد ۲۸/۰۵ و ۴۶/۹۹ درصد افزایش یافت. همچنین، تحت تأثیر محلول‌پاشی مس، محلول‌پاشی روی و محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی نسبت به تیمار شاهد ۳۸/۴۷، ۴۳/۸۴ و ۶۹/۲۹ درصد افزایش یافت. محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی، به ترتیب ۲۲/۲۵ و ۱۷/۶۸ درصد کاروتنوئید را نسبت به محلول‌پاشی مس و محلول‌پاشی روی افزایش داد (جدول ۶). بسیاری از محققین طی آزمایش‌های خود دریافتند که شرایط کمبود آب آبیاری، موجب تغییر شکل کلروپلاست‌ها و کاهش محتوای کلروفیل، افزایش مقادیر کاروتنوئید برگ گیاه چای

کلروفیل کل و کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی بر کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۴). کلروفیل کل تحت شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به تیمار شاهد ۶۲/۵۰ و ۷۵ درصد کاهش یافت (جدول ۶). همچنین، تحت تأثیر محلول‌پاشی مس، محلول‌پاشی روی و محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی نسبت به تیمار شاهد ۳۳/۸۵، ۳۴/۳۱ و ۸۵/۴۰ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی، به ترتیب ۳۸/۵۱ و ۳۸/۰۳ درصد کلروفیل کل را نسبت به محلول‌پاشی مس و

و آسیب ساختارهای لاملایی می شود (Reddy et al., 2004; Anjum et al., 2011).

جدول ۶- اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی بر صفات اندازه‌گیری شده در چای سبز

Table 6- Main effects of irrigation regimes and foliar application on measured traits in Green Tea

Treatment	Total chlorophyll (mg.g-1FW)	Carotenoids (mg.g-1FW)	Leaf protein (mg.g-1FW)	Soluble carbohydrates (g.Kg-1DW)	
Irrigation Regimes	IR1	8.97±3.18a	66.75±5.04c	2.12±0.06c	33.64±0.25c
	IR2	5.77±2.14b	85.48±4.08b	4.84±0.10b	41.48±0.46b
	IR3	2.52±4.02c	98.12±4.20a	6.98±0.22a	54.24±0.96a
	LSD	1.24	3.82	0.44	1.89
Foliar Application	FA1	6.44±1.07c	54.71±3.19c	1.91±0.10c	35.50±3.15c
	FA2	8.62±2.78b	75.76±4.22b	2.63±0.34b	44.71±2.63b
	FA3	8.65±4.72b	78.70±2.34b	2.99±0.39b	43.68±2.62b
	FA4	11.94±3.83a	92.62±2.17a	5.22±0.41a	50.13±2.75a
	LSD	0.79	7.45	0.38	2.55

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability level by the LSD test. IR1: control; IR2: moderate stress; IR3: sever stress; FA1: control; FA2: Cu; FA3: Zn; FA4: Cu+Zn.

و کاروتنوئید افزایش یافته و موجب افزایش سرعت رشد گیاه می‌گردد (Mohammadi Limaie et al., 2019). نتایج آزمایش به‌وضوح نشان داد که کاربرد هم‌زمان عناصر مس و روی تأثیر شدیدی بر ساختار کلروپلاست دارند و کمبود این عناصر تحت شرایط تنش خشکی موجب تخریب لاملای گرانیبی و استرومایی برگ‌های چای می‌گردد (Dey et al., 2014).

پروتئین و سرعت فتوسنتز برگ

پروتئین برگ، تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی و سرعت فتوسنتز برگ از نظر برهمکنش رژیم‌های آبیاری × محلول‌پاشی در احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین پروتئین برگ (۶/۹۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تنش شدید و کم‌ترین آن (۲/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شاهد دیده شد که ۶۹/۶۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. از نظر محلول‌پاشی نیز، بیشترین پروتئین برگ (۵/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی دیده شد و کم‌ترین آن (۱/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شاهد وجود داشت که ۳۲/۷۳ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. علاوه بر این، محلول‌پاشی هم‌زمان مس و

تنش خشکی در مراحل رشد رویشی و زایشی از طریق کاهش رنگدانه‌های برگ، عدم فراهمی آب و عناصر غذایی، تخریب ساختار کلروفیل و واکنش‌های فتوسنتزی گیاه موجب کاهش مقادیر محتوای کلروفیل برگ می‌گردد (Vasilakoglou et al., 2011). افزایش مقادیر کاروتنوئید در برگ‌های تحت تنش متوسط و شدید به دلیل محافظت برگ‌ها از فرسودگی و زوال و افزایش عمر برگ تحت شرایط کاهش هدایت روزنه‌ای ناشی از تنش خشکی قابل توجه می‌باشد (Hajiboland et al., 2011). محققین در بررسی تأثیر محلول‌پاشی روی و پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند که محلول‌پاشی این عناصر موجب افزایش مقادیر کلروفیل و کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی گردید (Abedi Baba-Arabi et al., 2012) که با یافته‌های آزمایش ما مطابقت دارد. افزایش محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ چای تحت محلول‌پاشی عناصر مس و روی را بدین گونه می‌توان توجه نمود که مصرف این ریزمغذی‌ها با توجه به نقش این عناصر در فتوسنتز برگ و افزایش کارایی برگ‌ها تحت شرایط تنش خشکی، به‌عنوان یک عامل مقاومت در برابر شرایط کم‌آبی محسوب شده، از این رو، توان فتوسنتزی گیاه از طریق افزایش محتوای کلروفیل کل

از این رو، علت افزایش غلظت پروتئین برگ، غلظت بالای نیتروژن موجود در خاک بوده است، این در حالی است که تنش خشکی موجب کاهش تولید ماده خشک و توقف رشد در گیاه شده و به دلیل عدم فعال‌سازی آنزیم ساکاروز فسفات سنتتاز تحت خشکی، سرعت انتقال مواد در آوند آبکش کاهش یافته و سنتز ساکاروز کاهش می‌یابد (Oliviera-Neto et al., 2009)، از این رو، افزایش غلظت پروتئین با کاهش سرعت فتوسنتز نسبت مستقیم دارد. پژوهشگران دریافته‌اند که در شرایط تنش خشکی کاتابولیسیم کلروفیل افزایش یافته که می‌تواند ناشی از زوال زودرس برگ‌ها به دلیل عدم تعادل هورمونی، مهار فعالیت فتوشیمیایی گیاه و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین در روند فتوسنتز باشد (Kafi and Mahdavi Damghani, 2003). از آنجایی که تحت شرایط تنش خشکی عنصر مس و روی درون گیاه غیر متحرک است، از این رو کمبود آن در برگ‌های جوان‌تر مشاهده شده و تحت شرایط تنش شدید خشکی سرعت فتوسنتز گیاه چای را به شدت کاهش می‌دهد (Vankhadeh, 2002). یافته‌های محققین حاکی از آن است که کاربرد محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی روی و مس از طریق افزایش سنتز کلروفیل، افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی، افزایش تولید هورمون ایندول استیک اسید و افزایش سنتز آنزیم تریپتوفان به عنوان پیش‌ساز ایندول استیک اسید باعث بهبود غلظت پروتئین برگ و سرعت فتوسنتز گیاه تحت شرایط تنش خشکی می‌گردد (Boorboori and Tehrani, 2011).

کربوهیدرات محلول و پرولین برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تیمارها بر کربوهیدرات محلول و اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی بر غلظت پرولین برگ چای در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۷). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین کربوهیدرات محلول (۵۴/۲۴ گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در تنش شدید و

روی، به ترتیب ۹۸/۴۷ و ۷۴/۵۸ درصد پروتئین برگ را نسبت به محلول‌پاشی منفرد مس و روی افزایش داد (جدول ۶).

در شرایط آبیاری مطلوب، محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی، محلول‌پاشی روی و محلول‌پاشی مس به ترتیب ۹۶/۴۲، ۸۷/۵۷ و ۸۴/۰۰ درصد سرعت فتوسنتز برگ سبز چای را نسبت به شاهد افزایش داد. علاوه بر این، محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی، به ترتیب ۶/۷۵ و ۴/۷۲ درصد سرعت فتوسنتز برگ را نسبت به محلول‌پاشی منفرد مس و محلول‌پاشی روی افزایش داد. در شرایط تنش متوسط، نسبت افزایش سرعت فتوسنتز برگ سبز چای تحت شرایط محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی، محلول‌پاشی روی و محلول‌پاشی مس نسبت به شاهد به ترتیب ۱۷۰/۶۶، ۱۳۱/۲۹ و ۱۰۷/۹۷ درصد بود. علاوه بر این، محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی، به ترتیب ۳۰/۱۴ و ۱۷/۰۲ درصد سرعت فتوسنتز برگ را نسبت به محلول‌پاشی مس و محلول‌پاشی روی افزایش داد. در شرایط تنش شدید، نسبت افزایش سرعت فتوسنتز برگ سبز چای تحت شرایط محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی، محلول‌پاشی روی و محلول‌پاشی مس نسبت به شاهد به ترتیب ۳۶۶/۵۳، ۳۳۵/۲۹ و ۳۰۷/۶۷ درصد بهبود یافت. علاوه بر این، محلول‌پاشی هم‌زمان مس و روی، به ترتیب ۱۵/۰۰ و ۹/۵۲ درصد سرعت فتوسنتز برگ را نسبت به محلول‌پاشی مس و محلول‌پاشی روی افزایش داد (جدول ۵). محققین در بررسی دوره‌های مختلف تنش کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد چای سبز نشان دادند که تنش رطوبتی سرعت فتوسنتز برگ را کاهش و غلظت پروتئین برگ را افزایش داده است (Anjum et al., 2011). یافته‌های پژوهش‌گران نشان داد که اثر تنش خشکی در کلیه مراحل رشد گیاه نشان‌دهنده ارتباط تنگاتنگ فتوسنتز و تولید ماده خشک با میزان آب موجود در گیاه و خاک است (Sajedi et al., 2009). غلظت پروتئین برگ با نیتروژن خاک همبستگی مثبت و با سرعت فتوسنتز همبستگی منفی دارد،

افزایش نشان داد. علاوه بر این، محلول پاشی هم‌زمان مس و روی، به ترتیب ۴۴/۴۴ و ۳۶/۸۴ درصد غلظت پرولین برگ را نسبت به محلول پاشی روی و محلول پاشی مس افزایش داد. در مقایسه با تیمار شاهد و شرایط تنش شدید، غلظت پرولین در محلول پاشی روی، مس و محلول پاشی هم‌زمان مس و روی، به ترتیب ۵۶/۳۶، ۲۶/۴۷ و ۲۲/۸۵ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، محلول پاشی هم‌زمان مس و روی، به ترتیب ۲۲/۲۲ و ۴۳/۹۱ درصد غلظت پرولین برگ را نسبت به محلول پاشی روی و محلول پاشی مس افزایش داد (جدول ۵). گیاهان استراتژی‌های محافظتی مختلفی از جمله؛ تجمع اسمولیت‌ها مانند پرولین، قندهای احیاء، استراتژی‌های آنزیمی و غیر آنزیمی در مقابله با تنش خشکی دارند (Nasibi et al., 2011). تجمع قندهای محلول درون سلولی نقش مهمی در تنظیم اسمزی دارد و به کاهش پتانسیل آب سلولی و حفظ تورگر در شرایط تنش خشکی درون سلول کمک می‌کند (Devi and Sujatha, 2014). پرولین از طریق مکانیسم‌های مختلف از جمله تنظیم اسمزی، از بین بردن انواع اکسیژن فعال و پایداری آنزیم‌ها یا پروتئین‌ها، از گیاهان در برابر تنش‌های محیطی محافظت می‌کند (Niknam et al., 2006).

کم‌ترین آن (۳۳/۶۴ گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در شاهد دیده شد که ۶۴/۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. از نظر محلول پاشی، بیشترین کربوهیدرات محلول (۵۰/۱۳) گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در محلول پاشی هم‌زمان مس و روی دیده شد و کم‌ترین آن (۳۵/۵۰) گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در شاهد مشاهده گردید و ۴۱/۲۱ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. علاوه بر این، محلول پاشی هم‌زمان مس و روی، به ترتیب ۱۲/۱۲ و ۱۴/۷۶ درصد کربوهیدرات محلول را نسبت به محلول پاشی روی و محلول پاشی مس افزایش داد (جدول ۶). در مقایسه با تیمار شاهد و شرایط آبیاری مطلوب، غلظت پرولین در محلول پاشی هم‌زمان مس و روی، محلول پاشی روی و محلول پاشی مس به ترتیب ۲۸/۲۱، ۳۳/۸۳ و ۱۴/۵۷ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، محلول پاشی هم‌زمان مس و روی، به ترتیب ۳۳/۸۳ و ۱۴/۵۷ درصد غلظت پرولین برگ را نسبت به محلول پاشی روی و محلول پاشی مس افزایش داد. در مقایسه تیمار شاهد و شرایط تنش متوسط، غلظت پرولین تحت شرایط محلول پاشی هم‌زمان مس و روی، محلول پاشی روی و محلول پاشی مس به ترتیب ۶۶/۲۴، ۴۴/۴۴ و ۳۶/۸۴ درصد

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی مس و روی بر خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه چای سبز تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

Table 7- Analysis of variance of Cu and Zn foliar application effect on physiological and biochemical characteristics in Green Tea under different irrigation regimes

Sources of Variations	df	Soluble carbohydrates	Proline	Catalase	Peroxidase	Superoxide dismutase
Block (Replication)	2	3.23 ^{ns}	0.000004*	0.00005*	0.006 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Irrigation Regimes (IR)	2	1622.93**	0.008**	0.002**	8.27**	10.07**
Foliar Application (FA)	3	32.73**	0.006**	0.0005**	4.78**	5.99**
IR × FA	6	1.84 ^{ns}	0.0007**	0.00002**	0.41**	0.74**
Experimental Error	34	5.11	0.000009	0.0000012	0.01	0.01
C. V. (%)	-	6.68	8.63	7.13	8.55	7.95

* and ** Represents a significance at a probability level of 5% and 1%, respectively, and ns; non-significant.

کمک می‌کند. به این ترتیب، تحمل تنش کم‌آبی با تنظیم اسمزی افزایش می‌یابد (Maralian et al., 2010). تحقیقات

افزایش پرولین با کاهش پتانسیل آب برگ شروع می‌شود، که به حفظ تورم و کاهش آسیب غشا در گیاه

نشان داده است که محلولپاشی هم‌زمان عناصر مس و روی از طریق تأثیر مثبت این عناصر در سنتز کلروفیل و فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه، افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ، افزایش فعالیت آنزیم‌های حاوی روی، بالا بردن آنابولیس کربوهیدرات‌های محلول و افزایش غلظت پرولین موجب حفاظت بیشتر گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌گردد (Boorboori and Tehrani, 2011). به‌طور کلی، محلولپاشی عناصر ریزمغذی از جمله مس و روی موجب افزایش شاخص سطح برگ، افزایش قند احیاء در آوند آبکش و افزایش سرعت فتوسنتز گیاه چای تحت شرایط تنش شد (Qian *et al.*, 2018). از این رو، به‌نظر می‌رسد مجموعه عوامل بیان‌شده موجب تولید کربوهیدرات محلول بیشتر در برگ و احتمالاً با افزایش تولید هورمون اکسین سبب افزایش غلظت پرولین در برگ گردید (Ozdeniz, 2019).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز

نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر برهمکنش دوگانه رژیم‌های مختلف آبیاری و محلولپاشی، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در محلولپاشی هم‌زمان مس و روی، محلولپاشی روی و محلولپاشی مس نسبت به تیمار شاهد، در شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب ۱۸۶/۹۵، ۷۳/۹۱ و ۶۵/۲۱ درصد، در تنش متوسط به ترتیب ۱۰۹/۴۴، ۳۷/۲۲ و ۳۶/۱۱ درصد در شرایط تنش شدید به ترتیب ۸۱/۶۴، ۲۶/۲۱ و ۲۷/۷۱ درصد بود. علاوه بر این، افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در محلولپاشی هم‌زمان مس و روی، نسبت به محلولپاشی مس و محلولپاشی روی، در شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب ۷۳/۶۸ و ۶۵/۰۰ درصد، در تنش متوسط به ترتیب ۵۳/۸۷ و ۵۲/۶۳٪ در شرایط تنش شدید به ترتیب ۴۲/۲۲ و ۴۳/۹۱ درصد بود. افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در محلولپاشی هم‌زمان مس و روی،

محلولپاشی روی و محلولپاشی مس نسبت به تیمار شاهد، در شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب ۱۹۷/۱۴، ۶۵/۷۱ و ۵۷/۱۴ درصد، در تنش متوسط به ترتیب ۱۳۴/۴۲، ۵۹/۸۳ و ۵۵/۷۳ درصد و در شرایط تنش شدید به ترتیب ۶۴/۰۴، ۲۱/۷۲ و ۲۰/۲۲٪ بود. علاوه بر این، افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در محلولپاشی هم‌زمان مس و روی، نسبت به محلولپاشی مس و محلولپاشی روی، در شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب ۸۹/۰۹ و ۷۹/۳۱ درصد، در تنش متوسط به ترتیب ۵۰/۵۲ و ۴۶/۶۶ درصد در شرایط تنش شدید به ترتیب ۳۶/۴۴ و ۳۴/۷۶ درصد بود. افزایش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز در محلولپاشی هم‌زمان مس و روی، محلولپاشی روی و محلولپاشی مس نسبت به تیمار شاهد، در شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب ۷۳/۷۱، ۴۵/۰۱ و ۴۴/۱۰ درصد، در تنش متوسط به ترتیب ۸۰/۱۰ و ۳۷/۴۳ و ۳۶/۹۳ درصد و در شرایط تنش شدید به ترتیب ۶۰/۵۸، ۴۰/۶۰ و ۳۳/۴۶ درصد بود. علاوه بر این، افزایش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در محلولپاشی هم‌زمان مس و روی، نسبت به محلولپاشی مس و محلولپاشی روی، در شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب ۲۰/۵۴ و ۱۹/۷۹ درصد، در تنش متوسط به ترتیب ۳۱/۵۲ و ۳۱/۰۴ درصد در شرایط تنش شدید به ترتیب ۲۰/۳۱ و ۱۴/۲۰ درصد بود (جدول ۵). افزایش در فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز در اثر کاهش آب آبیاری در واحد سطح تحت شرایط کم آبیاری در پژوهش‌های متعددی در ارزن مروریدی و یونجه گزارش شده است (Sadeghi and Khani., 2012; Ghanbari *et al.*, 2021). پژوهشگران حفاظت آنزیمی، محافظت از حامل‌ها، آنتی‌پورترها و آنزیم‌های مؤثر در ترابری یونها و همچنین کاهش پتانسیل اسمزی به‌وسیله تجمع اسمولیت‌ها و حفظ فشار تورگر سلول جهت تثبیت فرآیندهایی نظیر فتوسنتز، فعالیت‌های آنزیمی و تکثیر سلولی با افزایش تدریجی تنش خشکی را از جمله مهم‌ترین دلایل فیزیولوژیک افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت شرایط تنش رطوبتی عنوان کرده‌اند (Piri

AJMIRI (Agricultural Jihad Ministry of Islamic Republic of Iran). 2021. Programs and Achievements. Achievements of the agricultural sector in the twelfth government. (available at <http://www.pr.maj.ir/portal/Home/>). (In Persian).

Allen, D. J., and D. R. Ort. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends in Plant Science: Cell Press*. 6: 36-42.

Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L., and C. M. Zou. 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 197: 177-185.

Bauder, T. 2002. Best management Practices for Colorado Corn. Colorado State University Site published. 12 pp.

Boorboori, M., and M. Tehrani. 2011. Effect on interactive of values and application method of copper and zinc on plant characteristics and protein of Wheat. *Crop Physiology*. 2(8): 29-44. (In Persian).

Bradford, M. 1976. A rapid sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Review Biochemistry*. 72: 248-254.

Cakmak, I., and W. Horst. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glycine max L.*). *Plant Physiology*. 83: 463-468.

Chahal, A. S., Madgulkar, A. R., Kshirsagar, S. J., Bhalekar, M. R., Dikpati, A., and P. Gawli. 2012. Amorphous nanoparticles for solubility enhancement. *Journal of Advanced Pharmaceutical Science*. 2: 167-178.

Davoudi, S., Biabani, A., rahemi-karizaki, A., modares sanavi, S., Gholamalipor Alamdari, E., and M. Zarei. 2020. Effects of nano and common forms of iron and zinc chelates on some characteristics of medicinal plant black cumin (*Nigella sativa L.*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 36(3): 448-465. (In Persian).

Devi, S. P. S., and B. Sujatha. 2014. Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two pigeon pea (*Cajanus Cajan L. Millsp.*) cultivars. *International Journal of Innovative Research and Development*. 3: 302-306.

(*et al.*, 2016). تولید مقادیر بیش از حد رادیکال‌های آزاد از ویژگی‌های معمول گیاهان تحت تنش خشکی است. تنش اکسیداتیو و تجمع رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش خشکی و تحت کمبود عناصر ریزمغذی پیش‌تر در پژوهش‌های متعددی اثبات شده است. در این شرایط، مصرف عناصر ریز مغذی مس و روی خسارت تجمع مالون دی آلدئید ناشی از تنش اکسیداتیو در برگ‌ها را کاهش داده و احتمالاً موجب تعادل بین تولید و مصرف کربوهیدرات‌های حاصل از فتوسنتز شده، بنابراین زنجیره انتقال الکترون به‌شدت اکسایش یافته و از تولید سریع رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند (Giusti *et al.*, 2001; Han *et al.*, 2008).

نتیجه‌گیری نهایی

از نتایج این پژوهش استنتاج می‌گردد که کاربرد محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی به‌ویژه نانوکودهای روی و مس از طریق افزایش فتوسنتز، افزایش میزان کربوهیدرات محلول، پرولین و پروتئین موجب تعدیل و تقلیل اثرات مخرب تنش خشکی در بوته‌های چای شده و از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو در ارتقاء شرایط رشد و افزایش عملکرد برگ سبز چای مؤثر است.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از کلیه حمایت‌های گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

Abedi Baba-Arabi, S., Movahedi Dehnavi, M., Yadavi, A., and E. Adhami. 2012. Effects of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. *Journal of Crop Production*. 4(1): 75-90. (In Persian).

- Kirigwi, F. M., Van Ginkel, M., Trethowan, R., Seaes, R. G., Rajaram, S., and G. M. Paulsen. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica*. 135: 361-371.
- Lin, S. K., Lin, J., Liu, Q. L., Ai, Y. F., Ke, Y. Q., Chen, C., Zhang, Z. Y., and H. He. 2014. Time-course of photosynthesis and non-structural carbon compounds in the leaves of tea plants (*Camellia sinensis* L.) in response to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 144: 98-106.
- Liu, R., and R. Lal. 2014. Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). *Scientific Reports*. 4: 5686-5691.
- Liu, S. C., Xu, Y. X., Ma, J. Q., Wang, W. W., Chen, W., Huang, D. J., Fang, J., Li, X. J., and L. Chen. 2016. Small RNA and degradome profiling reveals important roles for microRNAs and their targets in tea plant response to drought stress. *Physiologia Plantarum*. 158: 435-451.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Fishier and Food). 1982. *The Analysis of Agricultural Materials*, 2nd ed. MAFF, London, UK.
- Maghsoodi, M. R., and N. Najafi. 2017. Effects of nano-micronutrient fertilizers I on plant nutrition. *Journal of Land Management*. 4.2(2): 115-132. (In Persian).
- Mahler, R. L., and T. Westermann. 2003. Essential plant micro nutrient. I- zinc in Idaho. 24 pp. Idaho State University Web Site. *Journal of Agriculture Research*. 71(3): 591-600.
- Majd Salimi, K., and S. M. Mir Latifi. 2008. Tea (*Camellia sinensis* L.) yield response to irrigation and nitrogen fertilizer applications. *Journal of Water and Soil Science*. 12(44): 39-50. (In Persian).
- Maralian, H., Ebadi, A., and B. Haji-Eghrari. 2010. Influence of water deficit stress on wheat grain yield and proline accumulation rate. *African Journal of Agricultural Research*. 5: 286-289.
- Mastronardi, E., Tsae, P., Zhang, X., Monreal, C., and M. C. DeRosa. 2015. *Strategic Role of Nanotechnology in Fertilizers: Potential and Limitations*. Nanotechnologies in Food and Agriculture. Rai, M., Duran, N., Ribeiro, C., and L. Mattoso. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. Springer International Publishing Switzerland.
- Modares-Sanavy, S. A. M., Panahi, M., Khatamian-Oskouei, O., and F. Ghanati. 2014. *New laboratory methods and techniques in agricultural sciences*. Zanjan University Jihad Press, 196 p. (In Persian).
- Dey, S., Mazumder, P. B., and S. B. Paul. 2014. Effect of copper on growth and chlorophyll content in Tea plants (*Camellia sinensis* (L.) o. kuntze). *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*. 5(2): 223-230.
- Earl, H. J., and R. F. Davis. 2003. Effect of drought stress on leaf and canopy whole radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*. 95: 688-696.
- FAO STAT. 2019. FAO statistical database (available at www.fao.org).
- Ghanati, F., Morita, A., and H. Yokota. 2002. Induction of suberin and increase of lignin content by excess Boron in Tobacco cell. *Soil Science and Plant Nutritin*. 48(3): 357-364.
- Ghanbari, M., Mkhtassi-Bidgoli, A., Mansour Ghanaei-Pashaki, K., and P. Talebi-Siah Saran. 2021. The study of yield and physiological characteristics of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) in response to bio-fertilizers and different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 31(1): 23-37. (In Persian).
- Giannopolitis, C., and S. Ries. 1977. Superoxid desmutase. I. Occurence in higher plant. *Plant Physiology*. 59: 309-314.
- Giusti, M. M., and R. E. Wrolstad. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. In: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, eds. R. E. Wrolstad T. E. Acree H. An E. A. Decker M. H. Pennere D S. Reid S. J. Schwartz C. F. Shoemaker and P. Sporns, F1.2.1-F1.2.13. John Wiley, New York.
- Hajiboland, R., Bastani, S., and S. Bahrami Rad. 2011. Photosynthesis, nitrogen metabolism and antioxidant defense system in b-deficient Tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) plants. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*. 22(4): 311-320.
- Han, S., Chen, L. S., Jiang, H. X., Smith, B. R., Yang, L. T., and C. Y. Xie. 2008. Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. *Journal of Plant Physiology*. 165: 1331-1341.
- Kafi, M. A., and M. Mahdavi Damghani. 2003. *Mechanisms of environmental stress resistance in plants*. Ferdwsi University of Mashhad Press, Mashhad. (In Persian).
- Kamiab, F., and H. Mohamadi. 2019. Evaluation of the effects of Fe and cu nano chelates on some morphological and physiological characteristics of Narcissus (*Pseudonarcissus narcissus* Cv. Jonquil). *Journal of Horticultural Science*. 33(2): 257-272. (In Persian).

- Piri, H., Ansari, H., and M. Parsa. 2016. Quantitative and qualitative performance of forage sorghum at different salinity and irrigation water levels in subsurface diameter irrigation system. *Journal of Water Research in Agriculture*. 30(4): 467-482. (In Persian).
- Qian, W., Hu, J., Zhang, X., Zhao, L., Wang, Y., and Z. Ding. 2018. Response of Tea plants to drought stress. stress physiology of Tea in the face of climate change. 63-81.
- Rasaei Far, M., Moradi Aghdam, A., Haji Hassani Asl, N., and N. Hosseini. 2010. The effect of foliar application of iron, zinc, manganese and copper on yield and yield components of grain sorghum. *Journal of Improvement Researches*. 2(4): 341-353. (In Persian).
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., and M. Vivekanandan. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*. 161: 1189-1202.
- Sadeghi, H., and K. Khani. 2012. Effects of different drought and salinity stress levels on some morphological characteristics and proline content of annual burr medic (*M. polymorpha* L.). *Iranian Journal of Dryland Agricultural Sciences*. 1(2): 1-13. (In Persian).
- Sajedi, N., Ardakani, M. R., Naderi, A., Madani, H., and M. Mashhadi-Akbar Boojar. 2009. Effects of water deficit stress and nutrients application on yield, yield component and water use efficiency in maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 7(2): 493-503. (In Persian).
- SAS. 2015. SAS Version 9.4. SAS Institute Inc, Cary, NC.
- Sedaghatthoor, S. 2006. The effect of foliar application of zinc sulfate on mother tea plants to reduce cutting losses in the nursery. *Journal of Agricultural Engineering*, 28(2): 153-164. (In Persian).
- Sedaghatthoor, S., Masiha, S., and M. J. Malakouti. 2003. Optimal effects of several important nutrients on the yield and quality of tea. *Journal of Plant Production Research*. 10(2): 81-89. (In Persian).
- Sharma, P. N., Kumar, N., and S. S. Bisht. 1994. Effect of zinc deficiency on chlorophyll contents, photosynthesis, and water relations of cauliflower plants. *Photosynthetica*. 30: 353-359.
- Singh, B., and G. Singh. 2004. Influence of soil water regime on nutrient mobility and uptake by *Dalbergia sissoo* seedlings. *Tropical Ecology*. 45: 337-340.
- Mohammadi Limaiei, A., and M. Majidian. 2019. Effects of foliar application zinc, boron and copper micronutrients on growth indices and quantitative and qualitative yield of sweet corn. *Journal of Plant Process and Function*. 8(33): 431-448. (In Persian).
- Mokhtassi-Bidgoli, A., Aghaalkhani, M., Nasiri-Mahallati, M., Zand, E., Gonzalez-Andujar, J. L., and A. Azari. 2013. Agronomic performance, seed quality and nitrogen uptake of *Descurainia Sophia* in response to different nitrogen rates and water times. *Industrial Crops and Products*. 44: 583-592.
- Nasibi, F., Manouchehri, K. K., and M. Yaghoobi. 2011. Comparison the effects of sodium nitroprusside and arginine pretreatment on some physiological responses of tomato plant (*Lycopersicon esculentum*) under water stress. *Iranian Journal of Biotechnology*. 24: 833-847 (In Persian)
- Niknam, V., Razavi, N., Ebrahimzadeh, H., and B. Sharifzadeh. 2006. Effect of NaCl on biomass, protein and proline contents, and antioxidant enzymes in seedlings and calli of two *Trigonella* species. *Biologia Plantarum*. 50: 591-596.
- Oliviera-Neto, C. F., Silva-Lobato, A. K., Goncalves-Vidigal, M. C., Costa, R. C. L., Santos-Filho, B. G., Alves, G. A. R., and W. J. M. Silva-Maia. 2009. Carbon compounIR and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Science and Technology*. 7: 588-593.
- Owuor, P. O., and O. K. Bowa. 2012. Quality and yields of black tea *Camellia sinensis* L. O. Kuntze in responses to harvesting in Kenya: A Review. *Asian Journal of Biological Life Sciences*. 1(1): 1-7.
- Ozdeniz, E. 2019. The Role of Free Proline and Soluble Carbohydrates in Water Gypsum Stress on Some Gypsophyte and Gypsovag Plants. *Planta Daninha* [online].
- Panda, P. K., Stephens, W., and R. Matthews. 2003. Modelling the influence of irrigation on the potential yield of Tea (*Camellia sinensis*) in north-east India. *Experimental Agriculture*. 39: 181-198.
- Pandey, R. K., Maranville, J. W., and A. Admou. 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a sahelian environment. I Grain yield, yield components and water use efficiency. *European Journal of Agronomy*. 15: 93-105.
- Paquine, R., and P. Lechasseur. 1979. Observations sur une methids dosage la libre dans les de plantes. *Canadian Journal of Botany*. 57: 1851-1854.

- Upadhyaya, H., Dutta, B. K., and S. K. Panda. 2013. Zinc modulates drought-induced biochemical damages in tea (*Camellia sinensis* (L) O Kuntze). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61: 6660-6670.
- Vankhadeh, S. 2002. Response of sunflower to applied Zn, Fe, P, N. *ness.zz* : 1-143, 144.
- Vasilakoglou, I., Dhima, K., Karagiannidis, N., and T. Gatsis. 2011. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. *Field Crops Research*. 120: 38-46.
- Wood, A. J. 2005. Eco-physiological adaptations to limited water environments. In: *Plant Abiotic Stress*. M. Ajenks, P. M. Hasegawa (EIR.). pp: 10-41. Blackwell Pub. New York.
- Zhou, L., Xu, H., Mischke, S., Meinhardt, L. W., Zhang, D., Zhu, X., Li, X., and W. Fang. 2014. Exogenous abscisic acid significantly affects proteome in tea plant (*Camellia sinensis*) exposed to drought stress. *Horticulture Research*. 1:14029.
- Subramanian, K. S., Manikandan, A., Thirunavukkarasu, M., C. Sharmila Rahale. 2015. Nano-fertilizers for Balanced Crop Nutrition. *Nanotechnologies in Food and Agriculture*. Rai, M., Duran, N., Ribeiro, C., and L. Mattoso. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. Springer International Publishing Switzerland.
- Taiefeh, M., Moez Ardalani, M., and F. Baghery. 2013. The effect of different sources of calcium on the some of quantitative and qualitative parameters of Tea plants (*Camellia sinensis* L.). *Journal of Horticultural Science*. 27(2): 102-109. (In Persian).
- Talebi, A., Shiranfekar, A., and K. Majd Salimi. 2019. Improving tea quality indicators by foliar application of nutrients under supplemental irrigation conditions. *Journal of Tea and Herbal Tea*. 2(1): 9-13. (In Persian).
- TOI (Tea Organization of Iran). 2021. Characteristics of the tea plant. (available at <http://www.irantea.org/portal/Home/>). (In Persian).
- Upadhyaya, H., and S. K. Panda. 2004. Responses of *Camellia sinensis* to drought and rehydration. *Biologia Plantarum*. 48: 597-600.