

Effect of salicylic acid, zinc Nano-oxide and sodium nitroprusside on pigments and fluorescence amount of sweet violet under water-deficit stress conditions

Hamideh Bagheri¹, Davood Hashemabadi², Bahman Pasban Eslam³,
Shahram Sedaghatthoor⁴, Behzad Kaviani^{5*}

1- Ph.D. Student, Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.
(h_bagheri00@yahoo.com)

2- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
(davoodhashemabadi@yahoo.com)

3- Associate Professor of Crop and Horticultural Science Research Department, East Azarbaijan Agricultural
and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran
(b.pasbaneslam@areeo.ac.ir)

4- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
(sedaghatthoor@yahoo.com)

5- Corresponding Author, Associate Professor, Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic
Azad University, Rasht, Iran. (kaviani@iaurasht.ac.ir)

Received Date: 27/12/2021

Accepted Date: 28/09/2022

Abstract

Introduction: Sweet violet (*Viola odorata*) is a perennial herbaceous plant with ornamental and medicinal properties. Water scarcity is one of the most effective environmental limiting factors for plants. The use of anti-stress compounds, such as a variety of secondary metabolites, is some way to reduce the harmful effects of water-deficit. Salicylic acid (SA) is a plant growth regulator from the phenol group and is effective as a signal molecule in regulating many physiological processes (Idress et al., 2013; Harrison et al., 2014). Sodium nitroprusside is involved in the action of plant growth regulators and is involved in the transmission of messages and responses to biological and non-biological stresses (Fan et al., 2012). Zinc oxide nanoparticles are among the nanoparticles used in agricultural research that have a very high specific surface area (Idress et al., 2013). The aim of the present study was to investigate the effect of different levels of water-deficit stress and foliar application of anti-stress compounds (SA, sodium nitroprusside and nano zinc oxide) on some pigments and the fluorescence of sweet violet.

Material and methods: A factorial experiment in completely randomized design was performed with two factors; water-deficit stress at three levels (55, 65 and 85% of field capacity (FC) and foliar spraying including SA (200 and 300 mg/l), zinc nano-oxide (1000 and 1500 mg/l) and sodium nitroprusside (200 and 300 µM) in three replications. In two weeks after establishing the plantlets in the cultivation bed, two weeks apart, foliar applications were made and distilled water was applied as control treatment. The application of water-deficit stress started one week after the second stage of foliar application based on substrate FC by weighting method and continued until the end of the experiment, which coincided with the yellowing of the leaves. Leaf and petal pigments and chlorophyll fluorescence were measured. Data analysis was performed using SAS_{9.2} statistical software and graphs were drawn using Excel software. LSD test at 5% probability level was used to compare the mean of the data.

Results and discussion: he results showed that the highest chlorophyll a (9.72 mg/g F.W.) and b (4.15 mg/g F.W.) concentrations were related to the treatment of 1000 mg/l Nano-zinc oxide and 200 µM sodium nitroprusside both at water-deficit stress of 55% of field capacity, respectively. The highest leaf carotenoid concentrations in leaf (14 µg/g F.W.) and petal (8.36 µg/g F.W.) were obtained at levels of 200 µM sodium nitroprusside and 300 mg/l SA, respectively, under water-deficit stress of 55% FC. The highest maximum (5.31) and variable (4.27) fluorescence was related to the treatment of 1000 mg/l zinc nano-oxide at water-deficit stress of 85% FC. The highest photofoliar spraying efficiency of photosystem II (4.4) and quantum yield of photosystem 2 (0.81) were obtained at water-deficit stress of 85% of field capacity together with 300 mg/l salicylic acid treatment. The highest effective photofoliar spraying quantum efficiency of the photosystem 2 (0.56) was related to water-deficit stress treatment of 65% FC and 300 µM sodium nitroprusside treatment. The effect of treatment with these substances on the change of biofoliar spraying and physiological processes, especially during the response to various biological and non-biological stresses such as drought in plants (*Ricinus communis* and *sunflower hybrids*) was shown (Balabanova et al., 2016; Esparham et al., 2017).

Conclusions: With increasing water-deficit, the concentration of chlorophyll and carotenoid pigments in leaves and petals increased. Zinc nanoparticles increased the maximum and variable fluorescence and salicylic acid also increased the fluorescence ratio, non-photofoliar spraying quicent and regulated and unregulated quantum efficiency of photosystem II. Sodium nitroprusside showed a positive effect on changing the minimum fluorescence and the effective quantum efficiency of photosystem II.

Keywords: Acid salicylic, Sodium nitroprusside, Chlorophyll fluorescence, Ornamental-medicinal plant, Nano zinc oxide.

اثر اسید سالیسیلیک، نانو اکسید روی و سدیم نیتروپروساید بر رنگدانه‌ها و میزان فلورسنس بنفشه معطر در شرایط تنش کم آبی

حمیده باقری^۱، داود هاشم‌آبادی^۲، بهمن پاسبان اسلام^۳، شهرام صداقت حور^۲، بهزاد کاویانی^{*۲}

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
(h_bagheri00@yahoo.com)

۲- دانشیار، گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
(davoodhashemabadi@yahoo.com)

۳- دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
(b.pasbaneslam@areeo.ac.ir)

۴- دانشیار، گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
(sedaghathoor@yahoo.com)

۵- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
(kaviani@iaurasht.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶

چکیده

بنفشه معطر به عنوان یک گیاه زینتی-دارویی با داشتن مواد مؤثره مورد استفاده در صنایع داروسازی و تولید داروهای گیاهی، آینده نوید بخشی دارد. پژوهش حاضر به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور تنش کم آبی با سه سطح (۵۵، ۶۵ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی (FC) خاک گلدان) و محلول‌پاشی‌ها شامل: اسید سالیسیلیک، نانو اکسید روی و سدیم نیتروپروساید در سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید روی در تنش کم آبی ۵۵ درصد FC به دست آمد. بیشترین غلظت کاروتنوئید برگ و کلروفیل b در تیمار ۲۰۰ میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید در تنش کم آبی ۵۵ درصد FC با ۲۹/۷ و ۲۶/۲۶ درصد افزایش، به دست آمد. بیشترین فلورسنس حداکثر (۵/۳۲) و فلورسنس متغیر (۴/۲۷) در تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید روی در تنش کم آبی ۸۵ درصد FC حاصل شد. در کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II، تیمار ۳۰۰ میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید در تنش کم آبی ۶۵ درصد FC باعث افزایش ۱/۶ برابری نسبت به کمترین مقدار شد. تیمار اسید سالیسیلیک نیز کارایی کوانتومی تنظیم‌شده فتوسیستم II و کارایی کوانتومی تنظیم‌نشده فتوسیستم II و خاموشی غیر فتوشیمیایی و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را افزایش داد. لذا پیشنهاد می‌شود تولیدکنندگان بنفشه معطر به مقاصد دارویی و زینتی در شرایط محدودیت منابع آبی از محلول‌پاشی نانو اکسید روی به دلیل تعدیل اثرات منفی تنش کم آبی استفاده نمایند.

کلمات کلیدی: اسید سالیسیلیک، سدیم نیتروپروساید، فلورسانس کلروفیل، گیاه زینتی-دارویی و نانو اکسید روی.

مقدمه

بنفشه معطر (*Viola odorata*) از خانواده Violaceae یکی از مهم‌ترین گیاهان زینتی بومی مناطق سردسیر است و به دلایل مختلف از جمله توانایی گلدهی در طول سال و تنوع در رنگ و شکل گلبرگ و برگ، محبوبیت زیادی دارد. منشأ اصلی بنفشه معطر، نواحی مرطوب و سایه‌دار اروپا و آسیا می‌باشد. این گیاه به طور عمده در نواحی شمالی ایران و منطقه البرز رویش دارد (Solgi and Taghizadeh, 2015).

کم‌آبی یکی از اثرگذارترین عوامل محدودکننده محیطی برای گیاهان می‌باشد که بیش از هر عامل محیطی دیگر رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش عملکرد گیاهان تحت تنش کم‌آبی از طریق سه مکانیسم کلی؛ کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی، کاهش کارایی مصرف نور و کاهش آبی در تبادل دی اکسید کربن به ازای واحد نور جذب شده اعمال می‌شود (Vafabakhsh et al., 2008). تغییر در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، از مکانیزم‌های دفاعی گیاهان در برابر تنش کم‌آبی یا خشکی است (Harrison et al., 2014). بنابراین، به منظور کاهش اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی، کاربرد مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی و روش‌های صحیح تغذیه معدنی گیاهان می‌تواند به عنوان رویکردهایی برای جلوگیری از اثرات مخرب تنش خشکی مؤثر باشند و زمینه سازگاری گیاه را فراهم آورند (Azooz and Ahmad, 2015).

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به طور وسیع در محصولات کشاورزی به عنوان عاملی برای بهبود عملکرد محصولات به کار برده می‌شوند و گزارش‌های موفقی از کاربرد برخی از این مواد در مقابله با اثرات نامطلوب تنش در گیاهان ارائه شده است (et al, 2003 Metwally). اسید سالیسیلیک (SA) یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی از گروه فنل‌ها است و به عنوان یک مولکول سیگنال در تنظیم فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی در مواجهه گیاهان با تنش‌های زنده و غیر زنده ایفا

می‌کند. به نظر می‌رسد SA با تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک در مواجهه با تنش‌های زیستی و غیر زیستی، باعث افزایش قابل توجهی در عملکرد گیاه می‌شود و با تأثیر مثبت روی فتوسنتز و رشد گیاه در شرایط تنش، تجمع پرولین را افزایش می‌دهد و باعث تسریع در بهبود رشد گیاه می‌شود (Shibli et al., 2007). همچنین تیمار با SA منجر به تجمع اسید آبسزیک (ABA) و ساخت پروتئین‌های ضد تنش می‌شود. یکی از موادی است که به منظور کاهش اثرات تنش‌ها در گیاهان مورد آزمایش قرار گرفته است سدیم نیتروپروساید می‌باشد که به عنوان واسطه در عمل تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شرکت می‌کند و در انتقال پیام و پاسخ به تنش‌های زیستی و غیر زیستی دخالت دارد (Fan et al., 2012).

در سال‌های اخیر، نقش برخی نانو ذرات در بهبود رشد و بهره‌وری گیاهان تحت شرایط نامساعد محیطی نشان داده شده است. نانو اکسید روی از جمله نانو ذرات مورد استفاده در پژوهش‌های کشاورزی است که دارای سطح ویژه بسیار بالایی می‌باشد. عنصر روی نقش مهمی در برخی فعالیت‌های متابولیسمی از جمله تنظیم میزان باز بودن روزنه‌ها، سنتز پروتئین‌ها، RNA و DNA، فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته، متابولیسم اکسین، حفظ غشاهای زیستی، تولید کلروفیل، عملکرد دانه گرده، باروری و جوانه‌زنی بذر و مقاومت به برخی عوامل بیماری‌زا دارد. بنابراین، کمبود این عنصر می‌تواند منجر به کاهش فتوسنتز و کاهش تولید کربوهیدرات‌ها شود (Marschner, 2012). تیمار نانو اکسید روی در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر باعث افزایش کلروفیل و کاروتنوئید در گیاه کرچک شد (Esparham et al., 2017) و این افزایش نتیجه نقش کلیدی عنصر روی در تحریک فعالیت‌های فتوسنتزی و افزایش میزان فرآورده‌های گیاهی می‌باشد (Fusconi et al., 2007).

در گیاهان تحت تنش کاهش کلروفیل می‌تواند به افزایش فعالیت آنزیم تخریب‌کننده کلروفیل (کلروفیلاز)

مربوط باشد. بر اثر تابش فوتون‌های نوری، همه ناقل‌های الکترون به فرم احیاء در می‌آیند و تمامی مراکز واکنشی بسته می‌شوند. فلورسنس کلروفیل در این زمان، نشانگر فلورسنس حداکثر است (Mehta et al., 2010). کاهش استفاده از انرژی در یکی از مسیرها، هدر رفت انرژی توسط سایر مسیرها را افزایش می‌دهد. از این رو، تغییر در گسیل فلورسنس، نشان‌دهنده تغییر در عملکرد فتوشیمیایی است. کاهش حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II و افزایش هدر رفت گرمایی در گیرنده‌های فتوسیستم II با هدر رفت انرژی در هر مرکز واکنش فتوسیستم II در ارتباط می‌باشد (Balabanova et al., 2016). فلورسنس حداکثر در اثر تابش فوتون‌های نوری و احیای همه ناقل‌های الکترون و بسته‌بودن همه مراکز واکنش ایجاد می‌شود (et al., 2010). تحقیقات نشان داده‌اند که افزایش فلورسنس نسبی از صفر تا ۲ میلی‌ثانیه پس از نوردهی، به علت اختلال در مبادله انرژی بین گیرنده‌های فتوسیستم II و انتقال آن به مراکز واکنش است. تنش باعث تغییراتی در کلروفیل‌های آنتن می‌شود و این کلروفیل‌ها نمی‌توانند انرژی را به خوبی دریافت و به مرکز واکنش انتقال دهند (Mehta et al., 2010).

بنفشه معطر از لحاظ دارویی، زینتی و خوراکی حائز اهمیت است و تاکنون پژوهشی در رابطه با تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات کمی و کیفی بنفشه معطر انجام نشده است. برای بهره‌مندی از مزایای دارویی این گونه گیاهی، بررسی واکنش این گیاه نسبت به تنش‌های محیطی جهت تولید وسیع و تجاری در خارج از زیستگاه طبیعی ضرورت دارد (Azooz and Ahmad, 2015). بنابراین، هدف از انجام این پژوهش، معرفی یک گیاه بومی به عنوان یک گیاه زینتی-دارویی و تلاش برای تولید انبوه بنفشه معطر جهت بهبود ارزش تجاری آن، کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی و بررسی اثرات تنش کم‌آبی بر خصوصیات فیزیولوژیک بنفشه معطر با استفاده از محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، سدیم نیتروپروپوساید و

نانو اکسید روی بود.

مواد و روش‌ها

نمونه گیاهی، موقعیت جغرافیایی و زمانی اجرای طرح

نشا‌های بنفشه معطر در مرحله ۴-۲ برگی (شکل ۱A) در تاریخ ۸ فروردین ۱۳۹۷ از دره مکیدی واقع در شهرستان کلبر استان آذربایجان شرقی با مختصات طول جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۱۴۴ متر از سطح دریا جمع‌آوری گردیدند و در گلدان‌ها کاشته شدند. آزمایش در فروردین سال ۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی شهر تبریز با عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۰۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقه با ارتفاع ۱۴۵۶ متر از سطح دریا انجام شد. همچنین اطلاعات هواشناسی شهر تبریز سال ۱۳۹۷ در جدول ۱ قرار داده شد.

طرح آزمایشی و تیمارهای مورد استفاده

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش کم‌آبی در ۳ سطح (۵۵، ۶۵ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی یا FC) به عنوان فاکتور اول و محلول‌پاشی در ۷ سطح شامل شاهد، نانو اکسید روی در ۲ سطح (۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، SA در ۲ سطح (۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و سدیم نیتروپروپوساید در ۲ سطح (۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار در لیتر) به عنوان فاکتور دوم بودند (جدول ۲). آزمایش در مجموع با ۲۱ تیمار، ۳ تکرار، ۶۳ پلات و در هر پلات ۴ گلدان و در مجموع با ۲۵۲ گلدان در فضای باز انجام شد (شکل ۱B). دو هفته پس از استقرار بوته‌ها در بستر کشت، محلول‌پاشی در دو مرحله به فاصله یک هفته از یکدیگر انجام شد و برای تیمار شاهد از آب مقطر برای محلول‌پاشی استفاده شد. اعمال تنش کم‌آبی،

یک هفته پس از دومین مرحله محلول پاشی بر اساس FC
پایان آزمایش (۱۸ مهر ۱۳۹۷) که همزمان با زرد شدن
(۸۵، ۶۵ و ۵۵ درصد) بستر به روش وزنی آغاز شد و تا
برگ‌ها بود ادامه یافت.

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی شهر تبریز

Table 1. Meteorological information of Tabriz city

Month	Average minimum temperature (C°)	Average maximum temperature (C°)	Average temperature (C°)	Absolute minimum temperature (C°)	Absolute maximum temperature (C°)	Rain (mm)	Evaporation (mm)	Humidity (%)	Radiation (MJ/m/day)
Apr	6.9	18.9	12.9	0.2	24.2	43.4	108.4	48	62447
May	9.7	20.5	15.1	3.0	26.8	52.6	170.9	58	67171
Jun	14.8	28.0	21.4	10.6	31.2	36.2	274.6	45	86893
Jul	22.4	36.2	29.3	17.2	40.8	0.0	450.7	27	92288
Aug	22.1	35.2	28.7	16.6	41.0	0.0	427.2	35	79824
Sep	18.0	31.2	24.6	14.0	36.2	9.9	329.8	34	71740
Oct	11.9	24.6	18.3	5.4	29.8	7.3	164.9	47	51133
Nov	5.4	14.7	10.1	0.8	23.0	7.8	95.0	58	32536
Dec	2.0	8.8	5.4	-2.3	13.4	85.7	17.0	80	17303
Jan	-2.9	4.9	1.0	-8.4	10.0	22.5	-	73	26352
Feb	-2.0	6.8	2.4	-8.6	12.6	61.5	-	72	32149
Mar	-0.1	9.4	4.7	-4.2	15.6	34.1	-	64	42161



شکل ۱. گیاه بنفشه معطر در مرحله گلدهی (A) و نحوه پیاده‌کرن طرح (B).

Figure 1. Sweet violet plant at the flowering stage (A), and project design condition (B).

جدول ۲. تیمارهای آزمایشی و نماد آنها

Table 2. Experimental treatments and their symbol

Treatments	Symbols
85% FC + cotrol	A ₁ B ₁
85% FC + 1000 mg/l nano-zinc oxide	A ₁ B ₂
85% FC + 1500 mg/l nano-zinc oxide	A ₁ B ₃
85% FC + 200 mg/l SA	A ₁ B ₄
85% FC + 300 mg/l SA	A ₁ B ₅
85% FC + 200 mM Na-nitroprusside	A ₁ B ₆
85% FC + 300 mM Na-nitroprusside	A ₁ B ₇
65% FC + cotrol	A ₂ B ₁
65% FC + 1000 mg/l nano-zinc oxide	A ₂ B ₂
65% FC + 1500 mg/l nano-zinc oxide	A ₂ B ₃
65% FC + 200 mg/l SA	A ₂ B ₄
65% FC + 300 mg/l SA	A ₂ B ₅
65% FC + 200 mM Na-nitroprusside	A ₂ B ₆
65% FC + 300 mM Na-nitroprusside	A ₂ B ₇
55% FC + cotrol	A ₃ B ₁
55% FC + 1000 mg/l nano-zinc oxide	A ₃ B ₂
55% FC + 1500 mg/l nano-zinc oxide	A ₃ B ₃
55% FC + 200 mg/l SA	A ₃ B ₄
55% FC + 300 mg/l SA	A ₃ B ₅
55% FC + 200 mM Na-nitroprusside	A ₃ B ₆
55% FC + 300 mM Na-nitroprusside	A ₃ B ₇

A: سطوح آبیاری و B: تیمارهای محلول‌پاشی
A: Irrigation levles, and B: Spray treatments

عملیات کاشت

صورت گرفت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بستر

کاشت در جدول ۳ ارائه شده است. در هر پلات، ۴ گلدان و در هر گلدان یک بوته کاشته شد. همچنین در طی مراحل رشد، وجین علف‌های هرز نیز انجام شد.

پس از آماده‌سازی بستر (خاک باغچه با بافت لوم شنی) در گلدان‌های با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر، عملیات انتقال نشاهای بنفشه معطر زینتی

جدول ۳. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بستر کشت

Table 3. Physio-foliar spraying properties of cultivation bed soil

Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Absorbable potassium (p.p.m.)	Absorbable phosphorus (p.p.m.)	Total nitrogen (%)	Organic carbon (%)	Natural materials (%)	pH	EC (ds/m)
12	32	56	375	51.60	0.34	3.39	7.25	7.35	4.54

روش وزنی تعیین رطوبت FC

برای تعیین درصد رطوبت در حالت FC، یک گلدان حاوی خاک (مقدار خاک در تمام گلدان‌های آزمایش یکسان بود) در یک تشت پلاستیکی قرار داده شد و با استفاده از آب مقطری که در داخل تشت تا ارتفاع دو سوم گلدان ریخته شده بود اشباع گردید. برای این منظور، ۱۲ ساعت اجازه داده شد تا خاک گلدان به حالت اشباع برسد. گلدان حاوی خاک اشباع به آرامی از آب خارج شد و بلافاصله برای تعیین درصد رطوبت در حالت اشباع توزین گردید. سپس سطح گلدان جهت جلوگیری از تبخیر آب از سطح خاک با پلاستیک پوشانده شد و فقط اجازه داده شد تا آب ثقیلی از سوراخ‌های ته گلدان خارج شود. مدت ۱۲ ساعت بعد، گلدان حاوی خاک، توزین گردید و عدد یادداشت شد و این عمل با فواصل زمانی ۲ ساعت تکرار شد و زمانی که در ۳ قرائت متوالی، وزن گلدان به حالت ثابت رسید؛ نمونه دست‌نخورده‌ای با استفاده از استوانه نمونه‌برداری از خاک گلدان تهیه شد. نمونه مذکور در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار داده شد تا رطوبت خاک خشک شود. از رابطه زیر درصد رطوبت وزنی در حالت FC محاسبه گردید و از روی میزان درصد رطوبت FC، مقدار رطوبت در تیمارهای (۵۵، ۶۵ و ۸۵ درصد FC) محاسبه و اعمال گردید (Smith and Mullins, 1991).

$$\theta_{FC} = \left(\frac{\text{وزن خاک خشک آون} - \text{وزن خاک مرطوب}}{\text{وزن خاک خشک آون}} \right) \times 100$$

اندازه‌گیری صفات**کلروفیل a, b و کل**

در پایان آزمایش، نمونه‌ها از برگ‌های بالغ (نه جوان و نه پیر) انتخاب گردیدند. نمونه‌های برگ‌ی در فویل آلومینومی پیچیده شدند و در ازلت مایع منجمد گردیدند. ابتدا ۰/۵ گرم از برگ‌ها توزین گردید و با ۵۰ میلی‌لیتر حلال استون ۸۰ درصد (۸۰ میلی‌لیتر استون و ۲۰ میلی‌لیتر

آب مقطر) در هاون چینی ساییده شدند. محلول به دست آمده از کاغذ صافی عبور داده شد و عصاره به دست آمده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل APEL PD-303 UV در طول موج ۶۴۳ و ۶۶۰ نانومتر قرائت شد. سپس اعداد قرائت‌شده توسط دستگاه، در روابط زیر قرار داده شدند و میزان کلروفیل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر به دست آمد (Mazumdar and Majumder, 2003).

$$a \text{ کلروفیل} = 9.93 (A_{660}) - 0.777 (A_{643})$$

$$b \text{ کلروفیل} = 17.6 (A_{643}) - 2.81 (A_{660})$$

$$\text{کلروفیل کل} = 7.12 (A_{660}) + 16.8 (A_{643})$$

کاروتنوئید برگ و گلبرگ

در پایان آزمایش، نمونه‌ها از برگ‌های بالغ و گلبرگ‌ها برداشته شدند. ابتدا ۰/۵ گرم از برگ و گلبرگ به طور جداگانه در هاون چینی به همراه ۵۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. محلول به دست آمده از کاغذ صافی عبور داده شد و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل APEL PD-303 UV در ۳ طول موج ۴۴۰، ۴۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت گردید. اعداد به دست آمده در فرمول زیر قرار داده شدند و میزان کاروتنوئید بر حسب میکروگرم در گرم وزن تر به دست آمد (Mazumdar and Majumder, 2003).

= میزان کاروتنوئید برگ و گلبرگ

$$4.69 \times A_{440} - 0.268 (20.2) A_{645} + (8.02) (A_{663})$$

فلورسنس کلروفیل

پس از اعمال تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی‌ها، اندازه‌گیری فلورسنس کلروفیل با استفاده از دستگاه فلورومتر مدل PAM 2500-WALZ, Germany از آخرین برگ‌های توسعه‌یافته در حالت روشنائی صورت گرفت. شاخص‌های فلورسنس روشنائی بدون در نظر گرفتن تاریکی (مقادیر ناچیز ناشی از سایه لحظه‌ای) روی برگ مورد سنجش قرار گرفتند (Yaghoubian et al., 2016).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری

SAS انجام شد و نمودارها به وسیله نرم‌افزار Excel رسم گردید. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

کلروفیل a, b و کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش کم‌آبی، محلول‌پاشی و برهمکنش آن‌ها بر غلظت کلروفیل a, b و کل معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی مشخص کرد که با افزایش تنش کم‌آبی، غلظت کلروفیل‌ها در تیمار

شاهد افزایش یافت و بیشترین غلظت کلروفیل a (۹/۷۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۱۳/۶۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی در تنش کم‌آبی ۵۵ درصد FC به دست آمد که نسبت به کمترین غلظت، ۲۹/۳ و ۲۷/۱۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). بالاترین غلظت کلروفیل b به میزان ۲۶/۲۶ درصد نسبت به کمترین مقدار مربوط به تیمار ۲۰۰ میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید با ۴/۱۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تنش کم‌آبی ۵۵ درصد FC بود (جدول ۵) و نسبت به کمترین غلظت به ترتیب ۲۹/۳ و ۲۵/۵ درصد افزایش داشت.

جدول ۴. واریانس اثر نانو اکسید روی، اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید روی پارامترهای اندازه‌گیری شده در بنفشه معطر
Table 4. Variance of the effect of nano-zinc oxide, SA and Na-nitroprusside on measured parameters in sweet violet

Source of variances	df	Mean of squares				
		Petal carotenoid	Leaf carotenoid	Total chlorophyll	Chlorophyll b	Chlorophyll a
Repeat	2	14.70**	1.85**	1.01 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.74 ^{ns}
Water-deficit stress (A)	2	2.99**	3.07**	9.74**	0.78**	5.05**
Sprays (B)	6	0.86**	4.43**	2.59*	0.30*	1.50*
B × A	12	1.08**	4.49**	3.12**	0.33*	1.62*
Error	40	0.06	0.35	1.37	0.15	0.81
C.V. (%)	-	3.48	5.08	10.07	11.15	11.20

^{ns}, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در $P \leq 0.05$ و $P \leq 0.01$ ، ns, * and ** non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

جدول ۴. ادامه

Table 4. Continued

Source of variances	df	Mean of squares								
		Y _(II)	Y _(NPQ)	Y _(NO)	NPQ	F _v /F _m	F _v /F ₀	F ₀	F _v	F _m
Repeat	2	0.0043 ^{ns}	0.0019 ^{ns}	0.0019 ^{ns}	0.048 ^{ns}	0.00031 ^{ns}	0.048 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.00 ^{ns}
Water-deficit stress (A)	2	0.0137*	0.0037 ^{ns}	0.0511**	1.245**	0.00092 ^{ns}	0.69**	0.005 ^{ns}	0.70**	0.65**
Sprays (B)	6	0.0166*	0.0096**	0.0359**	3.165**	0.00153*	0.71**	0.026**	0.10*	0.05 ^{ns}
B × A	12	0.0109*	0.0175**	0.0415**	3.096**	0.001633*	0.35**	0.022**	0.28**	0.35**
Error	40	0.00428	0.00190	0.00190	0.04762	0.00090	0.047	0.002	0.05	0.10
C.V. (%)	-	13.49	19.26	13.60	20.94	3.80	5.58	4.52	5.82	6.70

^{ns}, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در $P \leq 0.05$ و $P \leq 0.01$ ، ns, * and ** non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر نانو اکسید روی، اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید روی پارامترهای اندازه‌گیری شده در بنفشه معطر

Table 5. Mean comparison of the effect of nano-zinc oxide, SA and Na-nitroprusside on measured parameters in sweet violet

Treatments	Symbols	Leaf carotenoid (μg/g F.W.)	Petal carotenoid (μg/g F.W.)	Total chlorophyll (mg/g F.W.)	Chlorophyll b (mg/g F.W.)	Chlorophyll a (mg/g F.W.)
(Control + 85% FC)	A ₁ B ₁	10.93 f-h	6.186 h	10.84 e-g	3.633 a-e	8.8467 a-c
(1000 mg L ⁻¹ ZnO + 85% FC)	A ₁ B ₂	11.80 d-f	6.793 e-g	10.26f g	3.947 ab	8.47 a-d
(1500 mg L ⁻¹ ZnO + 85% FC)	A ₁ B ₃	11.73 d-f	6.420 gh	11.65 b-g	3.817 a-c	8.0467 b-e
(200 mg L ⁻¹ SA + 85% FC)	A ₁ B ₄	10.50 hi	7.570 b	12.29 a-e	3.180 c-e	7.0833 de
(300 mg L ⁻¹ SA + 85% FC)	A ₁ B ₅	10.37 hi	7.036 de	12.79 a-d	3.480 b-e	7.3567 de
(200 μM SNP + 85% FC)	A ₁ B ₆	11.74 d-f	7.233 b-d	11.91 a-f	3.653 a-e	8.2367 b-e
(300 μM SNP + 85% FC)	A ₁ B ₇	10.93 f-h	7.453 bc	11.79 a-g	3.437 b-e	8.02 b-e
(Control + 65% FC)	A ₂ B ₁	12.33 c-e	6.463 gh	9.93 g	3.423 b-e	8.06 b-e
(1000 mg L ⁻¹ ZnO + 65% FC)	A ₂ B ₂	13.03 a-c	6.460 gh	10.15 fg	3.350 b-e	7.9733 b-e
(1500 mg L ⁻¹ ZnO + 65% FC)	A ₂ B ₃	11.64 e-g	6.143 h	10.15 fg	3.523 a-e	8.26 a-e
(200 mg L ⁻¹ SA + 65% FC)	A ₂ B ₄	9.84 i	7.180 b-e	12.01 a-f	3.060 e	6.9967 de
(300 mg L ⁻¹ SA + 65% FC)	A ₂ B ₅	10.20 hi	6.890 d-f	11.57 c-g	3.070 e	6.87 e
(200 μM SNP + 65% FC)	A ₂ B ₆	10.98 f-h	6.946 d-f	11.41 d-g	3.947 ab	7.08 de
(300 μM SNP + 65% FC)	A ₂ B ₇	11.63 e-g	7.023 de	11.13 d-g	3.150 de	7.78 c-e
(Control + 55% FC)	A ₃ B ₁	13.59 ab	6.966 d-f	10.86 e-g	3.813 a-c	9.4067 ab
(1000 mg L ⁻¹ ZnO + 55% FC)	A ₃ B ₂	12.22 c-e	6.616 fg	13.64 a	3.977 ab	9.7233 a
(1500 mg L ⁻¹ ZnO + 55% FC)	A ₃ B ₃	12.67 b-d	7.050 c-e	11.94 a-f	3.920 ab	8.13 b-e
(200 mg L ⁻¹ SA + 55% FC)	A ₃ B ₄	10.75 g-i	8.166 a	11.04 d-g	3.777 a-d	7.63 c-e
(300 mg L ⁻¹ SA + 55% FC)	A ₃ B ₅	10.11 hi	8.360 a	13.42 a-c	3.127 de	7.6133 c-e
(200 μM SNP + 55% FC)	A ₃ B ₆	14.00 a	7.250 b-d	13.56 ab	4.153 a	9.4433 ab
(300 μM SNP + 55% FC)	A ₃ B ₇	13.33 ab	8.210 a	11.41 d-g	3.557 a-e	7.7333 c-e

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در $P \leq 0.05$ و $P \leq 0.01$

*, ** and ns: Significant at $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ and insignificant, respectively.

منبع شناخته می‌شود، زیرا غلظت کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌باشد، لذا کاهش آن در شرایط تنش خشکی می‌تواند به عنوان یک عامل محدود کننده غیر روزنه‌ای در فتوسنتز به حساب آید (Arazmjoo et al., 2009). افزایش سطح تنش خشکی در آفتاب‌گردان (Nematollahi et al., 2013)، ذرت علوفه‌ای (Mehrabian Moghadam et al., 2011)، گلرنگ (Amiri et al., 2015)، پروانش (Abdalla and El-Munne-Bosch et al., 2007)، مریم‌گلی (

کلروفیل‌ها از جمله عمده‌ترین ماکرومولکول‌هایی هستند که در تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری، حرارت و فلزات سنگین آسیب می‌بینند. افزایش در مقدار کلروفیل a، تقویت سیستم فتوسنتزی گیاه را به دنبال خواهد داشت. کاهش میزان کلروفیل a در اثر تنش کم‌آبی مربوط به افزایش تولید ROS در سلول‌ها می‌باشد. همچنین دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ در شرایط تنش از شاخص‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش می‌باشد. غلظت کلروفیل برگ به عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت

ادامه جدول ۵
Table 5. Continued

Treatments	Symbols	Y _(II)	Y _(NPQ)	Y _(NO)	NPQ	F _v /F _m	F _v /F ₀	F ₀	F _v	F _m
(Control + 85% FC)	A ₁ B ₁	0.528 a-d	0.202 d-f	0.268 fg	0.845 c-g	0.745 bc	4.31 a-c	0.875 fg	3.77 b-d	4.645 b-e
(1000 mg L ⁻¹ ZnO + 85% FC)	A ₁ B ₂	0.456 a-e	0.238 c-e	0.285 d-g	1.042 b-d	0.808 a	4.138 a-e	1.034 bc	4.27 a	5.316 a
(1500 mg L ⁻¹ ZnO + 85% FC)	A ₁ B ₃	0.435 d-f	0.258 c-e	0.306 b-e	0.915 c-f	0.794 ab	3.857 d-f	1.041 b	4.01 a-c	5.058 ab
(200 mg L ⁻¹ SA + 85% FC)	A ₁ B ₄	0.548 ab	0.154 fg	0.296 b-g	0.577 f-h	0.801 a	4.016 b-e	0.953 de	3.82 b-d	4.779 b-d
(300 mg L ⁻¹ SA + 85% FC)	A ₁ B ₅	0.424 d-f	0.31 a-c	0.264 g	1.319 ab	0.815 a	4.406 a	0.858 gh	3.78 b-d	4.639 b-e
(200 μM SNP + 85% FC)	A ₁ B ₆	0.502 a-e	0.186 e-g	0.312 b-d	0.635 e-h	0.802 a	4.05 a-e	0.961 de	3.89 bc	4.853 a-d
(300 μM SNP + 85% FC)	A ₁ B ₇	0.406 ef	0.303 bc	0.290 c-g	1.175 bc	0.791 ab	3.781 d-g	1.073 b	4.05 ab	5.13 ab
(Control + 65% FC)	A ₂ B ₁	0.498 a-e	0.202 d-f	0.299 b-g	0.729 d-h	0.798 a	3.958 c-e	0.944 d-f	3.73 b-d	4.683 b-e
(1000 mg L ⁻¹ ZnO + 65% FC)	A ₂ B ₂	0.529 a-d	0.165 fg	0.305 b-e	0.589 f-h	0.785 ab	3.645 e-g	0.959 de	3.49 de	4.454 d-f
(1500 mg L ⁻¹ ZnO + 65% FC)	A ₂ B ₃	0.545ab	0.149 fg	0.305 b-e	0.537 gh	0.798 a	3.95 cde	0.934 d-f	3.68 cd	4.624 b-e
(200 mg L ⁻¹ SA + 65% FC)	A ₂ B ₄	0.488 a-e	0.215 d-f	0.296 b-g	0.826 c-g	0.780 ab	3.543 fg	1.068 b	3.78 b-d	4.852 a-d
(300 mg L ⁻¹ SA + 65% FC)	A ₂ B ₅	0.536 a-c	0.377 a	0.371 a	1.617 a	0.812 a	4.31 a-c	0.944 d-f	4.06 ab	5.011 a-c
(200 μM SNP + 65% FC)	A ₂ B ₆	0.448 b-e	0.255 c-e	0.293 b-g	0.960 b-e	0.801 a	4.027 b-d	1.001 b-d	4.03 a-c	5.033 ab
(300 μM SNP + 65% FC)	A ₂ B ₇	0.56a	0.117 g	0.322 bc	0.390 h	0.804 a	4.094 a-d	0.791 h	3.23 ef	4.028 f
(Control + 55% FC)	A ₃ B ₁	0.464 a-e	0.262 b-d	0.273 c-g	1.054 b-d	0.804 a	4.096 a-d	0.942 d-f	3.85 b-d	4.8 a-d
(1000 mg L ⁻¹ ZnO + 55% FC)	A ₃ B ₂	0.461 a-e	0.259 cd	0.279 d-g	1.050 b-d	0.781 ab	3.571 fg	0.927 e-g	3.31 ef	4.239 ef
(1500 mg L ⁻¹ ZnO + 55% FC)	A ₃ B ₃	0.336 f	0.334 ab	0.328 b	1.183 bc	0.720 c	2.566 h	1.191 a	3.05 f	4.246 ef
(200 mg L ⁻¹ SA + 55% FC)	A ₃ B ₄	0.543 a-c	0.152 fg	0.304 b-f	0.543 gh	0.777 ab	3.487 g	1.003 b-d	3.49 de	4.502 c-f
(300 mg L ⁻¹ SA + 55% FC)	A ₃ B ₅	0.542 a-c	0.159 fg	0.298 b-g	0.584 f-h	0.798 a	4.079 a-d	0.908 e-g	3.7 b-d	4.642 b-e
(200 μM SNP + 55% FC)	A ₃ B ₆	0.494 a-e	0.221 d-f	0.284 d-g	0.860 c-g	0.796 a	3.894 d-f	0.967 c-e	3.76 b-d	4.731 b-e
(300 μM SNP + 55% FC)	A ₃ B ₇	0.449 b-e	0.24 c-e	0.310 b-d	0.846 c-g	0.813 a	4.348 ab	0.913 e-g	3.96 a-c	4.883 a-d

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در $P \leq 0.05$ و $P \leq 0.01$

*, ** and ns: Significant at $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ and insignificant, respectively.

است (Magdy et al., 2012). در کرچک استفاده از غلظت مناسب نانو اکسید روی باعث افزایش میزان کلروفیل a شد (Esparham et al., 2017).

کاروتنوئید گلبرگ و برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تنش کم‌آبی، محلول‌پاشی و برهمکنش آن‌ها بر کاروتنوئید برگ و گلبرگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی، غلظت کاروتنوئید گلبرگ و برگ در تیمار شاهد افزایش یافت و محلول‌پاشی‌های اسید سالیسیلیک در دو سطح ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار ۳۰۰ میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید، هر سه در تنش کم‌آبی ۵۵ درصد FC به دست آمد (جدول ۵). بیشترین غلظت کاروتنوئید برگ در تیمار ۲۰۰ میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید در ۵۵ درصد FC به دست آمد. همچنین غلظت کاروتنوئید برگ در تیمارهای ۳۰۰ میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید و شاهد در ۵۵ درصد FC نیز بالا بود (جدول ۵).

در شرایط تنش خشکی، به علت کاهش آسیمیلاسیون کربن و افزایش ROS، گیاه دچار تنش اکسیداتیو می‌شود و نقش کاروتنوئیدها در دفاع آنتی‌اکسیدانی بسیار مهم می‌باشد و گونه‌هایی که دارای کاروتنوئیدهای بالاتری می‌باشند در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از تنش کم‌آبی، دفاع مؤثرتری خواهند داشت و تحمل بهتری در برابر تنش خشکی نشان خواهند داد. تحقیقات نشان داده است که ارتباط قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو که به دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان فتوسنتزکننده وجود دارد و فعالیت آنزیم‌های ضد اکسنده و کاهش میزان ROS در سلول‌های گیاهی موجب حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (Sairam et al., 2002). تنش کم‌آبی می‌تواند باعث ایجاد تنش اکسیداتیو شود. این فرآیند می‌تواند نقش ویژه‌ای در

(2001) و نخود (Mafakheri et al., 2011)، میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ را کاهش داد. کاهش مقدار کلروفیل احتمالاً می‌تواند به دلیل اختلال در جذب عناصر غذایی، افزایش تخریب اکسیداتیو کلروفیل، تخریب ساختار کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، واکنش آن با رادیکال تک الکترون و یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز تحت شرایط تنش باشد.

کاربرد اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری، موجب افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه همیشه‌بهار شد و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک موجب افزایش بیشتر کلروفیل a، b و کل به ترتیب به میزان ۲۰، ۲۱ و ۲۸ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (et al., 2016; Dehghan Nairi).

استفاده از SA منجر به افزایش تثبیت CO₂ می‌شود که احتمالاً به علت تأثیر این ماده در فرآیندهای مختلف فتوسنتز شامل افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئیدها، افزایش کارایی فتوسیستم II، غلظت و فعالیت بیشتر آنزیم روبیسکو و در نهایت تأمین بیشتر ATP و NADPH برای تثبیت کربن و تولید بیشتر آسیمیلات می‌باشد. SA به دلیل تأثیر بر ساخت کلروفیل‌ها و اثر محرک بر ظرفیت فتوسنتزی، از راه انگیزش فعالیت آنزیم روبیسکو در افزایش سطح عملکرد فتوسنتز نقش دارد.

سدیم نیتروپروساید از طریق کاهش میزان پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش صدمه به رنگیزه‌ها در مقابل تنش اکسیداتیو از گیاهان محافظت می‌کند و باعث حفظ کلروفیل‌ها می‌شود. سدیم نیتروپروساید سبب افزایش کلروفیل b در گیاه پنبه و مرزه شد (Arab et al., 2015; Magdy et al., 2012).

اثر مثبت عنصر روی در افزایش ویژگی‌های رشدی گیاه به این دلیل است که عنصر روی در متابولیسم نیتروژن نقش حیاتی دارد و با توجه به این که نیتروژن یک بخش ضروری از کلروفیل است می‌توان نتیجه گرفت که عنصر روی به طور غیر مستقیم در محتوای کلروفیل تأثیرگذار

۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر، میزان کاروتنوئیدها در کرچک یک روند کاهشی نشان داد هر چند در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر افزایش معنی داری در میزان کاروتنوئیدها نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد (Esparham et al., 2017).

فلورسنس کلروفیل

فلورسنس حداکثر یا بیشینه (F_m)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تنش کم آبی و برهمکنش تنش کم آبی و محلول پاشی روی فلورسنس حداکثر (F_m) در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد و اثر اصلی محلول پاشی (SA)، سدیم نیتروپروساید و نانو اکسید روی) بر این صفت معنی دار نشد (جدول ۴). تاثیر برهمکنش تنش کم آبی و محلول-پاشی نشان داد که بیشترین فلورسنس حداکثر (۵/۳۱) مربوط به تنش کم آبی ۸۵ درصد FC در تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید روی و کمترین آن (۴/۰۲) در تنش کم آبی ۶۵ درصد FC در تیمار ۳۰۰ میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید به دست آمد و افزایش ۲۴/۲۹ درصدی را نشان داد (جدول ۵).

مقدار فلورسنس کلروفیل می تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش های محیطی، سالم بودن غشای تیلاکوئیدی، کارایی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I و میزان خسارتی که تنش به گیاه وارد می کند را به خوبی نشان دهد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی، پارامترهای F_m و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II برای تبدیل انرژی نور جذب شده به انرژی شیمیایی کاهش یافت. بیشینه فلورسنس در اثر تابش فوتون های نوری و احیای همه ناقل های الکترون و بسته بودن (اشباع) همه مراکز واکنشی ایجاد می شود (et al., 2010). تنش کم آبی با اثر سویی که بر انتقال کربن می گذارد، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش می دهد و در نتیجه سیستم به سرعت به F_m می رسد و باعث کاهش فلورسنس حداکثر می شود. تنش کم آبی بعد

تخریب سامانه فتوسنتزی، تخریب غشای سلولی و کلروپلاستی، کاهش مقدار کلروفیل a, b و متعاقب آن کاهش توانایی فتوسنتز گردد. گیاهان قادر هستند با تولید ترکیبات آنتی اکسیدانی نظیر ترکیبات فنلی و کاروتنوئیدها از ساختار سلولی در برابر رادیکال های تولید شده در برابر تنش محافظت کنند. تنش کم آبی با تولید ROS ها در تیلاکوئیدها، تراکم کلروفیل ها و کاروتنوئیدها را کاهش می دهد.

آرمزجو و همکاران (Arazmjoo et al., 2010) در مطالعات خود روی بابونه گزارش کردند که با افزایش تنش کم آبی از میزان کلروفیل a و b کاسته شد ولی کاروتنوئید برگ افزایش یافت. در تحقیقی روی گیاه آنیسون نیز با کاهش کلروفیل ها، میزان کاروتنوئیدها افزایش یافت (Asadi Kavan et al., 2009). در آفتاب گردان، با افزایش سطوح تنش خشکی، محتوای کاروتنوئیدها به طور معنی داری کاهش یافت (et al., 2013). در شرایط تنش، القای سنتز کاروتنوئیدها می تواند به علت نقش حافظتی آنها در برابر دامنه های مخرب امواج نور در تشکیلات فتوسنتزی باشد. مقدار کاروتنوئید در شرایط تنش در گلرنگ بهاره کاهش یافت (Arab et al., 2015). محلول پاشی با SA باعث افزایش غلظت کاروتنوئید در گلبرگ بنفشه معطر شد. نتیجه مشابه در نخود گزارش گردید (Ramezan Nejad et al., 2013). همچنین تیمار با SA (در غلظت های کم تا متوسط) باعث افزایش کاروتنوئیدها در دو رقم کلزا (بهاره و حساس به سرما) شد. SA با افزایش توان آنتی اکسیدانی از جمله کاروتنوئیدها موجب کاهش پراکسایش لیپیدها و کاهش مقدار آب اکسیژنه و محافظت بیشتر از غشاهای سلولی و فتوسنتزی و رنگیزه های فتوسنتزی می شود و از کاتابولیسم کلروفیل جلوگیری می کند و باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر خسارت اکسیداتیو می شود (Keshavarz et al., 2011). محلول پاشی نانو اکسید روی نیز کاروتنوئید برگ را افزایش داد. با افزایش غلظت نانو اکسید روی از ۱۰۰ تا

از مرحله گلدهی، میزان فلورسنس حداکثر را در لوبیاجیتی (Rasti Sani et al., 2014) و چغندر قند (Mohammadian et al., 2003) کاهش داد. در سورگوم علوفه‌ای، با افزایش شدت تنش، از مقدار F_m کاسته شد (Ghahramani et al., 2015). افت F_m ممکن است با کاهش فعالیت کمپلکس آنزیم تجزیه‌کننده آب و همچنین چرخه انتقال الکترون در درون یا اطراف فتوسیستم II مرتبط باشد. نتایج به دست آمده در گیاه همیشه‌بهار نشان داد که تنش موجب کاهش F_m شد (Dehghan Nairi et al., 2016). افزودن عنصر روی باعث جذب بیشتر نیتروژن می‌شود و این عنصر به عنوان یک بخش ضروری از مولکول کلروفیل به طور غیرمستقیم در مقدار فلورسنس کلروفیل مؤثر می‌باشد (Mousavi et al., 2013).

فلورسنس متغیر (F_v)

نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی نشان داد که در تیمار شاهد با افزایش تنش کم‌آبی، میزان فلورسانس متغیر افزایش یافت. بیشترین فلورسنس متغیر ($4/27$) در تنش کم‌آبی 85 درصد FC در تیمار 1000 میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی با افزایش $28/57$ درصد نسبت به کمترین مقدار (1500 میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی در تنش کم‌آبی 55 درصد FC) به دست آمد (جدول ۵).

F_v نشانگر احیای کامل پذیرنده‌های الکترون کینون می‌باشد. وقتی کینون در حالت احیای کامل باشد، فلورسنس کلروفیل زیاد است، بنابراین فلورسنس متغیر نیز زیاد است، اما وقتی کینون در حالت اکسید باشد، مقدار فلورسنس، حداقل است و مقدار F_v نیز کاهش می‌یابد. در شرایط تنش کم‌آبی، کینون در حال اکسیده شدن است. میزان F_v در تمام سطوح تنش کاهش یافت که این کاهش می‌تواند به دلیل مهار کردن الکترون و جلوگیری از انتقال آن از سمت دهنده فتوسیستم II به محل پذیرش الکترون توسط مولکول‌های کینون و ممانعت از فتواکسیداسیون

فتوسیستم II باشد، در نتیجه میزان کارایی کوانتومی فتوستنز خالص، کاهش می‌یابد (Mehta et al., 2010). در لوبیاجیتی، تنش کم‌آبی، مقدار F_v را در کلیه ارقام کاهش داد و بیشترین F_v در تیمار آبیاری نرمال و کمترین آن در تنش کم‌آبی در رقم صدری مشاهده شد (et al., 2017). تنش‌های محیطی مقدار F_v را به علت ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II کاهش می‌دهند. از آنجا که F_v نشانگر احیای کامل کینون می‌باشد، بنابراین می‌توان استنباط کرد که تنش کم‌آبی در انتقال الکترون به فتوسیستم I اختلال ایجاد می‌کند. کاربرد خارجی 100 میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید، سرعت فتوستنز را در گیاه مارتیغال در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به عدم کاربرد آن بهبود بخشید (Zangani, 2017).

فلورسنس حداقل یا کمینه یا اولیه (F_0)

مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین F_0 ($1/191$) مربوط به تیمار تنش کم‌آبی 55 درصد FC در تیمار 1500 میلی‌گرم در لیتر نانو اکسیدروی و کمترین مقدار ($0/79$) در تنش 65 درصد FC و تیمار 300 میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید به دست آمد و تیمارهای 1000 و 1500 میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی در سه سطح تنش کم‌آبی مقدار فلورسانس حداقل را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۵).

هنگامی که نور در سطح متوسط باشد بخش غالب آن در فعالیت‌های فتوشیمیایی به مصرف فتوستنز می‌رسد و بخش کمی از انرژی نورانی به صورت فلورسنس ساطع می‌گردد که به عنوان F_0 شناخته می‌شود. F_0 بیانگر سطحی از فلورسنس در زمانی است که پذیرنده کینون آ (Q_A) در بالاترین مقدار شرایط اکسیداسیونی قرار دارد (مرکز فتوسیستم II باز است). در حقیقت F_0 هر چقدر کم‌تر باشد، بدین معناست که فعالیت‌های فتوستنزی به نحو مطلوب‌تری در جریان هستند و تثبیت کربن و یا به عبارتی انتقال الکترون سریع‌تر آغاز شده است و F_0 بالا، نشان از

کم‌آبی ۵۵ درصد FC باعث افزایش مقدار F_v/F_m شد و کمترین مقدار ($0/72$) در تیمار تنش کم‌آبی ۵۵ درصد FC در تیمار ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی به دست آمد (جدول ۵).

نسبت F_v/F_m ، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را نشان می‌دهد و پارامتر مهمی برای تعیین وضعیت دستگاه فتوسنتزی می‌باشد. تنش‌های محیطی که کارایی فتوسیستم II را تحت تأثیر قرار می‌دهند باعث کاهش نسبت F_v/F_m می‌شوند. در گیاه گلرنگ مشاهده شد که با افزایش تنش شوری، میزان F_v/F_m در شرایط سازگار با تاریکی که نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون در فتوسیستم II می‌باشد در مرحله رویشی کاهش یافت (et al., 2013). نتایج این تحقیق با نتایج ژائو و همکاران (Zhao et al., 2007) در گندم مبنی بر کاهش F_v/F_m در اثر افزایش تنش مطابقت دارد. کاهش F_v/F_m ، به طور عمده به خاطر وجود آشفته‌گی در کلروپلاست است و کاهش میزان محتوای کلروفیل این موضوع را تأیید می‌کند.

تحقیقات در لوبیاچیتی نشان داد که مقدار F_v/F_m در شرایط تنش روند کاهشی داشت (Soheili Movahed et al., 2017). همچنین تنش شوری باعث کاهش F_v/F_m در برگ‌های ذرت و سورگوم (Netondo et al., 2004) شد. در شرایط تنش کم‌آبی، تجمع Q_B غیراحیاء افزایش می‌یابد که این اثر نشان‌دهنده عدم انتقال الکترون از Q_A احیا به Q_B است. در چنین شرایطی تجمع Q_A نیز افزایش می‌یابد. در آزمایشی، نسبت F_v/F_m در ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش کم‌آبی به صورت معنی‌داری کاهش یافت و ژنوتیپ‌های نخود که به تنش کم‌آبی حساس بودند، نسبت F_v/F_m کمتری در مقایسه با ژنوتیپ‌های مقاوم از خود نشان دادند (Rahbarian et al., 2011). کاهش نسبت F_v/F_m در ارقام لوبیا قرمز، لوبیا چیتی و لوبیا سفید در اثر تنش کم‌آبی گزارش شده است (Ghanbari et al., 2013). در پژوهش دیگری، با افزایش تنش کم‌آبی و شوری، F_v/F_m در گیاه سویا کاهش یافت (Bahrololoumi, 2012). بر اساس

آسیب به زنجیره انتقال الکترون در فتوسیستم II در اثر کاهش ظرفیت Q_A و عدم اکسیداسیون کامل آن به دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II می‌باشد. افزایش F_0 تحت تنش کم‌آبی در ارقامی از لوبیاچیتی گزارش شد (Soheili Movahed et al., 2017). در سورگوم علوفه‌ای بیشترین فعالیت F_0 در تنش شدید و کمترین میزان آن در سطح شاهد مشاهده شد (et al., 2015). افزایش F_0 در اثر تنش کم‌آبی توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (et al., 2012). در لوبیا قرمز، تیمار آبیاری نرمال (بدون تنش) با میانگین $131/73$ کم‌ترین مقدار و تنش کم‌آبی شدید با میانگین $157/43$ بیشترین مقدار F_0 را دارا بود (et al., 2015). این نتیجه بیانگر تخریب مرکز واکنش فتوسیستم II در شرایط تنش کم‌آبی می‌باشد. در شرایط تنش شوری، کاربرد SA سبب کاهش مقدار F_0 شد و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر SA کاهش ۱۰ و ۶ درصدی F_0 را نسبت به تیمار شاهد نشان داد (Dehghan, 2016). (Nairi et al., 2016)

کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_0)

مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین مقدار F_v/F_0 ($4/4$) در تنش کم‌آبی ۸۵ درصد FC در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد و باعث افزایش $1/5$ برابری نسبت به تیمار ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی ($2/56$) در تنش کم‌آبی ۵۵ درصد FC شد. همچنین سدیم نیتروپروساید مقدار F_v/F_0 را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۵).

عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m)

مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی بر F_v/F_m نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی مقدار F_v/F_m در تیمار شاهد افزایش پیدا کرد و محلول‌پاشی‌ها به جز تیمار ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی در تنش

کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم نشده**فتوسیستم II $Y(NO)$**

مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم آبی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین $Y(NO)$ (۰/۳۷) مربوط به تیمار تنش کم آبی ۶۵ درصد FC در تیمار ۳۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد و کمترین مقدار (۰/۲۶) در تنش کم آبی ۸۵ درصد FC در تیمار ۳۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد و نانو اکسید روی و سدیم نیتروپروساید نیز تأثیر مثبتی در افزایش مقدار $Y(NO)$ نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۵).

حسینی و همکاران (Hassani et al., 2014) و بهاری ساروی و همکاران (Bahari Sarvai et al., 2019) نشان دادند که تنش کم آبی اثر معنی داری بر $Y(NO)$ نشان داد و باعث افزایش $Y(NO)$ شد. کاهش $Y(NO)$ نشانگر افزایش نسبت نور استفاده شده در فرآیند فتوشیمیایی و کاهش اتلاف انرژی و به دنبال آن افزایش در سرعت آسیمیلایسیون CO_2 می باشد (Lei et al., 2008).

کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم شده**فتوسیستم II $Y(NPQ)$**

مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم آبی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین $Y(NPQ)$ (۰/۳۷) مربوط به تیمار تنش کم آبی ۶۵ درصد FC در تیمار ۳۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد و باعث افزایش ۳/۳۶ برابری نسبت به کمترین مقدار (تیمار تنش کم آبی ۶۵ درصد FC و تیمار ۳۰۰ میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید) شد. همچنین محلول پاشی ها تأثیر مثبتی در افزایش مقدار $Y(NPQ)$ نشان دادند (جدول ۵).

$Y(NPQ)$ ، هدر رفت گرمایی مربوط به سیستم حفاظت نوری است. افزایش پارامتر $Y(NPQ)$ در گیاه ذرت تحت شرایط تنش سرما (Fracheboud et al., 1999) و در خیار تحت تنش کم آبی (Lei et al., 2008) گزارش شد. حسینی و همکاران (Hassani et al., 2014) نشان دادند که تنش کم آبی در گیاه برنج اثر معنی داری بر صفت $Y(NPQ)$ داشت

گزارش (Vazan, 2000)، تنش کم آبی موجب کاهش عملکرد کوانتومی در ژنوتیپ های مختلف چغندر قند شد. نتایج داده ها در لوبیا قرمز نشان داد که بیشترین F_v/F_m مربوط به آبیاری نرمال (بدون تنش) با میانگین ۰/۷۱ و کمترین مقدار مربوط به تیمار تنش شدید با میانگین ۰/۶۴ بود و با افزایش تنش کم آبی F_v/F_m کاهش نشان داد (Habibpour Kashefi et al., 2015). در آزمایشی اثر اصلی تنش کم آبی و ژنوتیپ در سورگوم علوفه ای نشان داد که با افزایش تنش کم آبی F_v/F_m روند کاهشی نشان داد، به طوری که تیمار ۲۵ درصد FC، کمترین مقدار (۰/۶۴) و تیمار ۸۵ درصد FC، بیشترین (۰/۸۶) مقدار F_v/F_m را به خود اختصاص دادند (Ghahramani et al., 2015).

خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ)

مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم آبی و محلول پاشی نشان داد که با افزایش تنش کم آبی، مقدار NPQ در تیمار شاهد افزایش یافت. بیشترین مقدار NPQ (۱/۶۱) در تیمار ۳۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در تنش کم آبی ۶۵ درصد FC به دست آمد و نسبت به کمترین مقدار (۳۰۰ میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید در ۶۵ درصد FC) ۴/۱ برابر افزایش نشان داد (جدول ۵).

NPQ در واقع شاخص مربوط به هدر رفت گرمایی است و گستره معمول آن برای گیاه بین ۰/۵ تا ۳/۵ می باشد. افزایش این پارامتر بیانگر ظرفیت بالای چرخه گزانتوفیل و توانایی گیاه در دفع تنش از طریق هدر دادن انرژی به صورت گرما می باشد. در شرایط تنش، فعالیت چرخه گزانتوفیل سبب افزایش اتلاف انرژی به صورت گرما و ازدیاد NPQ می شود ولی با افزایش سطوح تنش، ممکن است افزایش در NPQ برای مصرف انرژی مازاد و حفظ اکسیداسیون پذیرنده های الکترون فتوسیستم II ناکافی باشد. لی و همکاران (Li et al., 2004) در گیاه توتون تحت تنش کم آبی و عبده شاهیان و همکاران (Abdeshahian et al., 2010) در گیاه گندم تحت تنش شوری، افزایش NPQ را گزارش کردند.

plants. International Journal of Chemistry and Biological Engineering, 3 (4): 184-186.

Amiri, A., Sirus Mehr, A., and Esmailzadeh Bahabadi. S. 2015. Effect of salicylic acid and chitosan foliar application on safflower yield under water stress conditions. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 28 (4): 712-725.

Arab, P., Firoozabadi, M., Asghari, H., Gholami, A., and Rahimi, M. 2015. The effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside foliar application on seed yield, oil and some agronomical traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress. Journal of Environmental Stress in Crop Sciences, 9 (1): 15-27.

Arazmjoo, A., Heidari, M., Ghanbari, A., Siah Sar, B., and Ahmadian, A. 2010. The effect of three sources of fertilizers on the percentage of essential oil, photosynthetic pigments and osmoregulators in chamomile under drought stress conditions. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences, 3 (1): 23-33.

Arazmjoo, A., Heydari, M., and Ghanbari, A. 2009. The effect of water stress and three sources of fertilizers on flower yield, physiological parameters and nutrient uptake in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 25 (4): 494-482.

Asadi Kavan, J., Ghorbanli, M., and Saati, A. 2009. Effect of drought stress and external ascorbate on photosynthetic pigments, flavonoids, phenolic compounds and lipid peroxidation rate in *Pimpinella anisum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 25 (4): 456-469.

Azooz, M.M., Ahmad, P. 2015. Legumes under Environmental Stress: Yield, Improvement and Adaptations, Published by John Wiley and Sons, Ltd.

Bahari Sarvai, S.H., Gholami, A., Pirdashti, H., Firoozabadi, M., and Asghari, H. 2019. The effects of endophyte symbiosis and spermidine foliar application on chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) medicinal plant under salinity conditions. Journal of Plant Process and Function, 8 (33): 48-65.

Bahrololoumi, S.M.J. 2012. Study of effect of salt and water stresses on production reactive oxygen species (ROS) and fluorescence characteristics of soybean (*Glycine max* L.). M.Sc. Dissertation, Crop Sciences Faculty. Sari Agriculturul Sciences and Natural Reasources University.

و باعث افزایش آن شد.

کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II (Y_{II})

مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم آبی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین Y_{II} (۰/۵۶) مربوط به تیمار تنش کم آبی ۶۵ درصد FC در تیمار ۳۰۰ میکرومولار در لیتر سدیم نیتروپروساید و کمترین مقدار (۰/۳۳) در تنش کم آبی ۵۵ درصد FC و تیمار ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید روی به دست آمد و باعث افزایش ۱/۶ برابری نسبت به کمترین مقدار شد (جدول ۵).

نتیجه گیری کلی

استفاده از ترکیبات ضد تنش به صورت محلول پاشی، قادر به تعدیل اثرات منفی تنش کم آبی شدند و تیمارهای نانو اکسید روی و پس از آن سدیم نیتروپروساید، بیشترین تأثیر را در افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل در گیاه بنفشه معطر نشان دادند.

پیشنهادها

پیشنهاد می شود تولیدکنندگان بنفشه معطر به مقاصد دارویی و زینتی در شرایط محدودیت منابع آبی از محلول پاشی نانو اکسید روی استفاده نمایند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت قدردانی می شود.

منابع

Abdalla, M.M., and El-Khoshiban N.H. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. Journal of Applied Sciences Research, 3 (12): 2062-2074.

Abdeshahian, M., Nabipour, M., and Meskarbashee, M. 2010. Chlorophyll fluorescence as criterion for the diagnosis salt stress in wheat (*Triticum aestivum*)

- (*Phasaeolus vulgaris* L.) under drought stress. Journal of Crop Physiology, 7(2): 19-32.
- Harrison, M.T., Tardieu, F., Dong, Z., Messina, C.D., and Hammer, G.L. 2014. Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. Global Change Biology, 20(3): 867-878.
- Hassani, Z., Pirdashti, H., Yaghoobian, Y., and Nouri, M.Z. 2014. Using chlorophyll fluorescence technique to assess tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to air and water cold stresses. Journal of Cell and Tissue Research, 5 (2): 195-206.
- Idress, M., Naeem, M., Aftab, T., Masroor, M., Khan, A., and Moinuddin, M. 2013. Salicylic acid restrains nickel toxicity, improves antioxidant defence system and enhances the production of anticancer alkaloids in (*Catharanthus roseus* L.). Journal of Hazardous Materials, 3(5): 367-374.
- Javadipour, Z., Mohoodi Dehnavi, M., and Baluchi, H. 2013. Evaluation of photosynthesis parameters, chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under saline condition. Electronic Journal of Crop Production, 6 (2): 35-56.
- Javadipour, Z., Movahhedi Dehnavi, M., and Balouchi, H.R. 2012. Evaluation of photosynthesis parameters, chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under saline condition. Electronic Journal of Crop Production, 6 (2): 35-56.
- Keshavarz, H., Modares Sanavi Seyed, A.M., Zarinkamar, F., Dolat Abadian, A., Panahi, M., and Sadat Asilan, K. 2011. Study of foliar application of salicylic acid on some biofoliar spraying properties of two canola cultivars (*Brassica napus* L.) under cold stress condition. Iranian Journal of Field Crop Science (Iranian Journal of Agricultural Sciences), 42 (4): 723-734.
- Lei, Z., Su, M.Y., Wu, X., Liu, C., Qu, C.X., Chen, L., Huang, H., Liu, X. Q., and Hong, F.S. 2008. Antioxidant stress is promoted by nano-anatase in spinach chloroplasts under UV-Beta radiation. Biology Trace Elements Research, 121(1): 69-79.
- Li, X.G., Duan, W., Meng, Q.W., Zou, Q., and Zhao, S.J. 2004. The function of chloroplastic NAD(P)H dehydrogenase in tobacco during chilling stress under low irradiance. Plant Cell Physiology, 45 (1): 103-108.
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., and Sohrabi, Y. 2011. Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpeas (*Cicer arietinum* L.) cultivars. Australian Journal of Crop Science, 5(10): 115-122.
- Balabanova, D.A., Paunov, M., Goltsev, V., Cuypers, A., Vangronsveld, J., and Vassilev, A. 2016. Photosynthetic performance of the imidazolinone resistant sunflower exposed to single and combined treatment by the herbicide imazamox and an amino acid extract. Frontiers in Plant Science, 25 (7): 15-59.
- Beiraghdar, M., Yazdanpoor, S., Naderi, D., and Zakerin, A. 2014. The effects of various salicylic acid treatments on morphological and physiological features of *Zoysia* grass (*Zoysia* species). Journal of Novel Applied Sciences, 3 (9): 984-987.
- Dehghan Nairi, F., Saffari, H., and Maghsoudi Maud, A. 2016. Salicylic acid effects on stomatal characteristics and some growth of calendula plants (*Calendula officinalis* L.) under salt stress. Iranian Journal of Horticultural Sciences, 47 (2): 193-202.
- Esparham, E., Saeidisar, S., Mahmoodzadeh, H., and Hadi, M.R. 2017. The effects of zinc oxide (ZnO) nanoparticles on the germination, biofoliar spraying and ultrastructural cell characteristics of *Ricinus communis*. Journal of Cell and Tissue, 8(2): 151-164.
- Fan, H-F., Du, C-X., and Guo, S. 2012. Effect of nitric oxide on proline metabolism in cucumber seedlings under salinity stress. Journal of American Society for Horticultural Science, 137(3): 127-133.
- Fracheboud, Y., Haldimann, P., Leipner, J., and Stamp, P. 1999. Chlorophyll fluorescence as a selection tool for cold tolerance of photosynthesis in maize (*Zea mays* L.). Journal of Experimental Botany, 50(1): 1533-1540.
- Fusconi, A., Gallo, C., and Camusso, W. 2007. Effect of cadmium on root apical meristems of *Pisum sativum* L.: Cell viability, cell proliferation and microtubule pattern as suitable markers for assessment of stress pollution. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 632(1): 9-19.
- Ghahramani, M., Ebadi, A., Parmon, Q., and Jahanbakhsh, S. 2015. The effect of drought stress on photosynthetic indices and forage yield of Sorghum bicolor genotypes. Crop Physiology Journal, 7 (25): 59-74.
- Ghanbari, A.A., Shakiba, M.R., Toorchi, M., and Choukan, R. 2013. Morphophysiological responses of common bean leaf to water deficit stress. European Journal of Experimental Biology, 3 (1): 487-492.
- Habibpour Kashefi, A., Qaryneh, M., Shafeinia, A., and Roozrok, M. 2015. Effect of zeolite levels on fluorescence of chlorophyll in red beans

- Rahbarian, R., Khavari-nejad, R.A., Ganjeali, A., Bagheri, A.R., and Najafi, F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Acta Biologica Craco Serie Botany*, 53(1): 47-56.
- Ramezan Nejad, R. Lahouti, M., and Ganjali, A. 2013. Effect of salicylic acid on physiological and biofoliar spraying parameters on resistant and sensitive chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under drought stress. *Journal of Plant Ecophysiology*, 5 (12): 24-36.
- Rasti Sani, M., Lahouti, H., and Ganjali, A. 2014. The effect of drought stress on morphophysiological traits and chlorophyll fluorescence of red bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 5 (1): 103-116.
- Sairam, R.K., Veerabhadra Rao, K., and Srivastava, G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163(5): 1037-1046.
- Shibli, R.A., Kushad, M., Yousef, G.G., and Lila, M.A. 2007. Physiological and biofoliar spraying responses of tomato micro shoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. *Plant Growth Regulation*, 51(2): 159-169.
- Smith, K.A., and Mullins, C.E. 1991. *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods*. Mullins-2nd ed., Review and Expanded.
- Soheili Movahed, S., Ismaili, M., Jabbari, F., Khorram Del, S., and Fooladi, A. 2017. Effects of water deficit on relative water content, chlorophyll fluorescence indices and seed yield in four pinto bean genotypes. *Journal of Crop Production*, 10 (1): 169-190.
- Solgi, M., and Taghizadeh, M. 2015. Disinfection of African violet *in vitro* culture by using silver nanoparticles by plant extracts. *Journal Processing of Agricultural and Horticultural Crops*, 5(17): 357-349.
- Vafabakhsh, J., Nasiri Mahalati, M., and Kouchaki, A. 2008. Effects of drought stress on radiation use efficiency and yield of winter canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1): 193-204.
- Vazan, S. 2000. Evaluation of chlorophyll fluorescence and photosynthesis efficiencies in *Beta vulgaris* genotypes under drought and non drought stress. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Oloum Tahghighat Tehran.
- 1255-1260.
- Magdy, A.S., Hazem, M.M., Alia, A.M., and Alshaima, A.I. 2012. Effect of sodium nitroprusside, putrescine and glycine betaine on alleviation of drought stress in cotton plant. *American Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 12 (9): 1252-1265.
- Marschner, H. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, 214-225.
- Mazumdar, B.C., and Majumder, K. 2003. *Methods on physcofoliar spraying analysis of fruits*. University College of Agriculture, Calcutta University, 136-150.
- Mehrabian Moghadam, N., Arvin, M., Khajouinejad, Gh., and Maghsoudi, K. 2011. Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 2-27 (1): 41-55.
- Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S., and Bharti, S. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48 (1): 16-20.
- Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M., Dietz, K.J. (2003). Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Plant Physiol.* 132(1): 272-281.
- Mohammadian, R., Rahimian, H., Moghaddam, M., and Sadeghian, S.Y. 2003. Effect of early drought stress on sugar beets chlorophyll fluorescence. *Pakistan Journal of Biology Science*, 6(1): 1763-1769.
- Mousavi, S.R., Galavi, M., and Rezaei, M. 2013. Zinc (Zn) importance for crop production, A review. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4 (1): 64-68.
- Munne-Bosch, S., Jubany-Mari, T., and Alegre, L. 2001. Drought-induced senescence is characterized by a loss of antioxidant defences in chloroplasts. *Plant, Cell Environment*, 24(12): 1319-1327.
- Nematollahi E., Jafari, A., and Bagheri, A. 2013. Effect of drought stress and salicylic acid on photosynthesis pigments and macronutrients absorption in two sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Plant Ecophysiology (Arsanjan Branch)*, 5 (12): 37-51.
- Netondo, G.W., Onyango, J.C., and Beck, E. 2004. Sorghum and salinity Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. *Crop Science*, 44(3): 797-805.

Zangani, E., Zehtab Salmasi, S., Andalibi, B., and Zamani, A.A. 2017. Exogenous sodium nitroprusside application on the antioxidant enzymes activity and active substance yield in milk thistle under drought stress. Journal of Plant Production, 24 (4): 93-110.

Zhao, G.Q., Ma, B.L., and Ren, C.Z. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. Journal of Crop Science, 41(1): 123-131.

Yaghoubian, Y., Siadat, S., Telavat, M.M., and Pirdashti, H. 2016. Quantify the response of purslane plant growth, photosynthesis pigments and photosystem II photochemistry to cadmium concentration gradients in the soil. Russian Journal of Plant Physiology, 63 (1): 77-84.

Zangani, A., Andalibi, B., and Zamani, A. 2017. Effects of sodium nitroprusside foliar application on the activity of antioxidant enzymes and the performance of the active ingredient of *Silybum marianum* under drought stress. Journal of Plant Research, 24 (4): 93-110.

Evaluation of Saffron extract and essential oil and salicylic acid treatment on germination and early growth stages of long fescue (*Festuca arundinacea* Scherb.) under sodium chloride stress

Iman Tasdighisany¹, Iman Rohollahi^{2*}, Hossein Dehghan³

1- MSc. student, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture Science, Shahed University, Tehran, Iran. (imantasdighi03@gmail.com)

2- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture Science, Shahed University, Tehran, Iran. (i.rohollahi@shahed.ac.ir)

3- Assistant Professor in Phytochemistry, Medicinal Plants Research Center, Shahed University, Tehran, Iran. (h.dehghan@shahed.ac.ir)

Received Date: 15/05/2022

Accepted Date: 07/10/2022

Abstract

Introduction: Every year, a large part of the petals of saffron flowers in Iran are unused. The dehydration of these petals can be used as a stimulant for germination and complement plant growth. In fact, the extract and essential oil of saffron flower petals contain certain amounts of Safranal, which has a chemical structure similar to beta-cycloidal (Corradi and Michelli, 1979). B-cycloidal is a valuable compound for improving product strength, especially in harsh environmental conditions (Dickinson et al., 2019). In this study, we evaluate the effects of the extract and essential oil of saffron flower petals on germination and early-stage growth of *Festuca arundinacea* Scherb under salt stress.

Material and methods: In the first experiment, pretreatment of salicylic acid on germination was evaluated in three levels (0, 0.1, and 0.5 mM). Saffron petal water, saffron flower essential oil, and saffron stigma aqueous extract (50 µL / mL) on Tall fescue seeds treated with three concentrations of sodium chloride (0, 3000, and 6000 mg /L) were conducted in a factorial test in a completely randomized design with three replications.

In the second experiment after Tall fescue seedlings establishment, irrigation was carried out regularly and fertilizer (20-20-20) with a concentration of 3% was used as a solution in the irrigation water. After 28 days and first mowing the salinity treatments (0, 3000, and 6000 mg/L) were started and continued for 4 weeks. Saffron petal juice treatments with three concentrations (control, 250, and 500 µL /100 mL) and saffron stigma essential oil (control, 40 and 125 µL /100 mL) interaction with Sodium chloride treatments (non-salt stress, 3000 and 6000 mg /L) were evaluated

Results and discussion: Salicylic acid (0.1 mM) improved germination percentage by 17.2% under salinity stress of 3000 mg /L. Stem length (67%) and root weight (60%) increased with a concentration of 50 µL /mL saffron petal juice under salinity stress compared to the control. The most suitable level of salicylic acid for improving the germination index under sodium chloride stress was pretreatment with a concentration of 0.1 mM. The interaction of 6000 mg/L salinity with saffron petal juice (SEES11) caused a significant (42%) increase in seedling length compared to the control (Figure 7). Beta-cyclocitral (safranal) in the roots of rice plants under salinity stress significantly stimulates root and stem growth and can be used in a valuable way to improve product yield, especially in harsh environmental conditions (Dickinson et al., 2019). Increasing the concentration of sodium chloride increased the amount of hydrogen peroxide and the activity of peroxidase and catalase enzymes. The use of saffron stigma essential oil treatment with a concentration of 40 µL/100 mL caused a significant decrease in the amount of hydrogen peroxide and a significant increase in the activity of catalase and peroxidase enzymes. Sodium chloride treatment increased the amount of hydrogen peroxide, catalase and peroxidase activities.

Conclusions: Petal water and the essential oil of saffron consumption significantly increased the amount of hydrogen peroxide and the activity of catalase and peroxidase enzymes. Using a longer time or higher concentrations of stigma essential oil and saffron petal juice may increase antioxidant enzyme activities, which helps establish the plant. Finally, it can improve the response of the plant to environmental stresses, especially sodium chloride stress.

Keywords: Petal juice, Root, Safranal, Sodium chloride.

ارزیابی عصاره و اسانس زعفران و تیمار سالیسیلیک اسید بر جوانه زنی و مراحل ابتدایی رشد فستوکای بلند (*Festuca arundinacea* Scherb.) تحت تنش کلرید سدیم

ایمان تصدیقی ثانی^۱، ایمان روح الهی^{*۲}، حسین دهقان^۳

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد
(imantasdighi03@gmail.com)

۲- نویسنده مسئول، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد
(i.rohollahi@shahed.ac.ir)

۳- استادیار مرکز تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شاهد
(h.dehghan@shahed.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵

چکیده

هر ساله بخش زیادی از گلبرگ‌های گل‌های زعفران در ایران بلااستفاده رها می‌شوند، می‌توان از آب‌گیری این گلبرگ‌ها به عنوان محرک جوانه‌زنی و مکمل رشد گیاهان استفاده نمود. در واقع عصاره و اسانس گلبرگ‌های گل زعفران دارای مقادیری ساfranال^۱ است و تحقیقات نشان داده است که ساختار شیمیایی مشابهی با بتا-سایکلوستیرال^۲ دارد. بتا-سایکلوستیرال ترکیبی با ارزش برای بهبود قدرت گیاهان به ویژه در شرایط سخت محیطی می‌باشد. در آزمایش اول، پیش تیمار سالیسیلیک اسید در ۳ سطح (صفر، ۰/۱ mM و ۰/۵ mM) آب گلبرگ زعفران، اسانس کلاله زعفران و عصاره آبی کلاله زعفران هر یک با غلظت ۵۰ μL/mL و سه غلظت کلرید سدیم (صفر، ۳۰۰۰ mg/L و ۶۰۰۰ mg/L) در یک آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار بررسی شد. سالیسیلیک اسید ۰/۱ mM، درصد جوانه زنی را ۱۷/۲ درصد در شرایط تنش شوری ۳۰۰۰ mg/L بهبود بخشید. طول ساقچه‌چه (۶۷٪) و وزن ریشه‌چه (۶۰٪) با غلظت ۵۰ میکرو لیتر در میلی‌لیتر آب گلبرگ زعفران در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد افزایش یافت. مناسب‌ترین سطح سالیسیلیک اسید برای بهبود شاخص جوانه‌زنی تحت تنش کلرید سدیم پیش تیمار با غلظت ۰/۱ mM بود. در آزمایش دوم پس از استقرار گیاهچه‌ها تاثیر تیمارهای آب گلبرگ زعفران با سه غلظت شاهد، ۲۵۰ μL/100mL و ۵۰۰ μL/100mL و اسانس کلاله زعفران با سه غلظت صفر، ۴۰ μL/100mL و ۱۲۵ μL/100mL تحت تنش‌های شوری صفر، ۳۰۰۰ mg/L و ۶۰۰۰ mg/L روی گیاهچه‌های فستوکای بلند مورد ارزیابی قرار گرفت. افزایش غلظت کلرید سدیم باعث افزایش مقدار پراکسید هیدروژن و فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز شد. استفاده از تیمار اسانس کلاله زعفران با غلظت ۴۰ μL/100mL باعث کاهش معنی‌دار میزان پراکسید هیدروژن و افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شد. استفاده از اسانس کلاله و آب گلبرگ زعفران در زمان یا غلظت بالاتر باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، بهبود استقرار و پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی مانند تنش کلرید سدیم خواهد شد.

کلمات کلیدی: آب گلبرگ، ریشه، ساfranال، کلرید سدیم.

مقدمه

شوری محیط یک عامل اصلی در محدود شدن جوانه زنی، قدرت گیاه و عملکرد اکثر محصولات کشاورزی می باشد (Hasanuzzaman et al., 2012). تنش شوری به علت افزایش پتانسیل اسمزی و کاهش آب در دسترس گیاه باعث تاخیر در جوانه زنی و تاخیر در ظهور ریشه چه و ساقه چه در محیط های دارای کلرید سدیم می گردد (Wahome et al., 2001).

گیاه فستوکای بلند (*Festuca arundinacea* Scherb.) گیاهی علفی، پایا با ریشه های عمیق است. این گیاه متعلق به تیره باریک برگان (Poaceae) می باشد. نظر به اهمیت این جنس از نظر علوفه ای، چمنی و سازگاری خوبی که نسبت به تنش های مختلف محیطی دارد، همواره مورد توجه محققان بوده است (Khoskhohghsima and Rohollahi, 2015).

اولین بار در سال ۱۸۳۸ از گیاه بید (*Salix alba*) اسید سالیسیلیک استخراج شد (Raskin, 1992). مطالعات مختلف در مورد عملکردهای بالقوه سالیسیلیک اسید روی جوانه زنی تحت تنش های مختلف انجام شده است، قابل ذکر است که سالیسیلیک اسید غلظت H_2O_2 را در بذره های جوانه زده تحت شوری بالا، کاهش داده و با کاهش آسیب اسمزی باعث جوانه زنی می شود. این دیدگاه همچنین با نقش سالیسیلیک اسید در مقاومت گیاه به تنش های غیرزیستی مختلف با کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از گونه های اکسیژن آزاد مطابقت دارد (Loutfy et al., 2012). استفاده از غلظت 0.05 mM اسید سالیسیلیک باعث کاهش اثرات مخرب تنش اکسیداتیو در *Catharanthus roseus* شد (Misra et al., 2014). همچنین محلول پاشی با سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ، عملکرد بیولوژیکی، پروتئین محلول، غلظت پرولین و رنگدانه های فتوسنتزی نهال های بادام زمینی شد (Kang et al., 2012). مطالعات مختلف نشان داده است که کاربرد برونزای سالیسیلیک اسید می تواند سمیت ناشی از تنش را

در گیاهان کاهش دهد (Jayakannan et al., 2015). اسیدسالیسیلیک، یک مولکول فنلی طبیعی ساده تنظیم کننده رشد است که نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان ایفا می کند. نقش سالیسیلیک اسید در کاهش اثرات تنش شوری در بسیاری از محصولات مانند جو گزارش شده است (ElTayeb et al., 2012). اسید سالیسیلیک می تواند فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاهان را تنظیم و عوارض جانبی و نامطلوب تنش خشکی را بهبود بخشد (Yavas and Unay, 2016). طی ارزیابی تاثیر سالیسیلیک اسید (0 ، $1/5$ ، 3 و $4/5$ mgr/L) روی جوانه زنی و رشد دانهال های گندم تحت تنش شوری (0 ، 50 ، 100 و 200 mM)، درصد جوانه زنی به نحو معنی داری افزایش یافت (Bahrani and Pourreza, 2012). بتا-سایکلوسیترال یک ترکیب گیاهی و فعال است که به عنوان یک پیش ماده برای سنتز متابولیت های فعال دیگر تولید می شود (Malamy and Benfey, 1997; Moreno-Risueno et al., 2010). بتا-سایکلوسیترال باعث تحریک تقسیمات سلول پیش ساز در پرموردیای (Primordia) ریشه قبل از طویل شدن سلول می شود. نتایج نشان می دهد که بتا-سایکلوسیترال باعث افزایش تقسیمات سلول های تمایز نیافته در مریستم ریشه اولیه و جانبی می شود (Moreno-Risueno et al., 2010). تجزیه و تحلیل ژن ها در آرآیدوسیس نشان داد که بتا-سایکلو سیترال برای سیستم ایمنی و ایجاد مقاومت نسبت به تنش های اکسیداتیو مهم است (Ramel, 2012). تیمار بتا-سایکلوسیترال باعث افزایش قدرت گیاه در برنج در مواجه با خاک های شور می شود، بتا-سایکلوسیترال به نحو گسترده ای محرک رشد ریشه در گیاهان تک لپه و دولپه بوده و می تواند یک تنظیم کننده رشد ارزشمند برای افزایش قدرت محصول تحت تنش های محیطی باشد (Dickinson et al., 2019). تحقیقات نشان داده که سافرانال دارای ساختار شیمیایی مشابهی با ترکیب طبیعی بتا-سایکلوسیترال است (Corradi and Michelli, 1979).

سافرانال ($C_{10}H_{14}O$) یک آلدئید مونوترپن است که در هنگام خشک کردن و ذخیره سازی در زعفران توسط هیدرولیز از پیکروکروستین ایجاد می‌شود (Iborra et al., 1992). هر ساله حجم زیادی از گلبرگ های زعفران بعد از جداسازی کلاله های گل دوریخته می شوند. با توجه به وجود سافرانال در بخش های مختلف زعفران و شباهت آن به بتا-سایکلوکسیترال، انتظار می رود که عصاره گلبرگ و اسانس زعفران را بتوان به عنوان یک محرک رشد در جوانه زنی، ریشه‌زایی و رشد ابتدایی و استقرار گیاهان برای رفع اثر تنش های غیر زیستی مورد استفاده قرار داد. برای اولین بار تلاش نمودیم تا در طی دو آزمایش مستقل تاثیر عصاره و اسانس زعفران و سالیسیلیک اسید بر جوانه-زنی بذرهای، ریشه‌زایی، رشد و استقرار گیاهچه های فستوکای بلند و پاسخ های مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی آنها تحت شرایط شوری را مورد ارزیابی قرار دهیم.

مواد و روش ها

آزمایش اول- مرحله جوانه زنی

پژوهش حاضر به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در شرایط کنترل شده در اتاق کشت (فیتوترون) با قابلیت تنظیم دما در دمای (25 ± 2) انجام شد. در آزمایش اول، پیش تیمار سالیسیلیک اسید در ۳ سطح (صفر، ۰/۱ mM و ۰/۵ mM) آب گلبرگ زعفران، اسانس کلاله زعفران و عصاره آبی کلاله زعفران هر یک با غلظت ۵۰ $\mu\text{L/mL}$ و سه غلظت کلرید سدیم (صفر، ۳۰۰۰ mg/L و ۶۰۰۰ mg/L) ارزیابی شد. بذرهای فستوکای بلند *Festuca arundinacea* Scherb. پس از ضد عفونی به مدت ۵ دقیقه با هیپوکلرید سدیم و الکل ۷۰ درصد به مدت ۳۰ ثانیه با آب مقطر شستشو داده شده و پس از آن به مدت ۲۴ ساعت در محلول های سالیسیلیک اسید (شاهد، ۰/۱ mM و ۰/۵ mM) خیسانده شدند. پس از آن بذرهای تیمار شده با سالیسیلیک اسید در ظروف پتری دیش دارای آگار یک درصد که با سطوح مختلف عصاره و

اسانس زعفران، سالیسیلیک اسید و کلرید سدیم مخلوط شده بود انتقال یافتند. برای ایجاد محیط کشت ابتدا از محلول کلرید سدیم با غلظت های (صفر، ۳۰۰۰ mg/L و ۶۰۰۰ mg/L) و آگار یک درصد تهیه و سپس آب گلبرگ زعفران SEES_{11} (Saffron extract and essential oil –) و آگار یک درصد تهیه و سپس آب گلبرگ زعفران SEES_{12} (Abbreviation: SEES) اسانس کلاله زعفران SEES_{13} عصاره آبی کلاله زعفران به میزان ۵۰ $\mu\text{L/mL}$ به هر ظرف اضافه شد. ظروف پتری دیش با پارافیلیم کاملاً بسته و به مدت ۱۴ روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در اتاقک رشد قرار گرفتند (Parmoon et al., 2014). پس از گذشت ۵ روز، شمارش تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز آغاز شد و به مدت ۲۰ روز ادامه داشت. شاخص های مورد بررسی مانند درصد جوانه زنی، طول و وزن تر و خشک ساقه چه و ریشه چه در هر پتری دیش اندازه گیری و یادداشت شد. درصد جوانه زنی از نسبت درصد تعداد بذور جوانه زده به تعداد کل بذور قرار داده شده در هر پتری دیش بدست آمد.

آزمایش دوم- ارزیابی پس از استقرار در گلدان

برای انجام این کار ۷۲ عدد گلدان متوسط (قطر ۱۹ سانتی متر) با ماسه رودخانه ای کاملاً شسته شده پر شدند و پس از چندین بار آبیاری، ۱۵۰ عدد بذر فستوکای بلند در هر گلدان کاشته و در گلخانه با میانگین دمای ۲۵ درجه سلسیوس مستقر شدند. آبیاری به صورت مرتب انجام شد و پس از سبز شدن گیاهچه ها و جهت تغذیه و پیشگیری از کمبود مواد غذایی در طول دوره رشدی از کود شیمیایی کامل ۳٪ (سیترونا ۲۰-۲۰-۲۰) به صورت محلول در آب آبیاری استفاده گردید. پس از جوانه زنی کامل بذور و استقرار اولیه و یک بار سرزنی چمن ها پس از ۲۸ روز، تیمار دهی با سطح های شوری (صفر، ۳۰۰۰ mg/L و ۶۰۰۰ mg/L) آغاز شد و به مدت ۴ هفته ادامه یافت. به لحاظ اهمیت حفظ سطوح شوری مورد نظر در بستر کاشت و دقت در انجام آزمایش بر اساس روش یار محمد کریمی و همکاران (۲۰۱۸) مقادیر ویژه EC سطوح

گلدان‌ها حفظ گردید. کسر آبشویی برای حفظ سطح شوری آب آبیاری با استفاده از فرمول زیر به کار گرفته شد (Karimi et al., 2018).

تیمارهای شوری اعمال شده در بستر کاشت با توجه به میزان EC کسر آبشویی (Leaching fraction) با افزودن آب یا غلظت نمک به میزان مورد نیاز در هر یک از

عمق آب استفاده شده در سطح / عمق زه آب در زیر ناحیه ریشه = کسر آبشویی

در هر تیمار مورد ارزیابی قرار گرفت. با هر بار آبیاری غلظت‌های شوری (صفر، ۳۰۰۰ mg/L و ۶۰۰۰ mg/L) به کار گرفته شد. بعد از یک ماه تیمار آب گلبرگ و اسانس کلالة زعفران در دو مرحله با استفاده از غلظت‌های زیر انجام شد.

بنابراین چون آب تبخیر می‌شود یا توسط گیاهان جذب می‌شود، بیشتر نمک موجود در بستر کشت در منطقه ریشه باقی خواهد ماند و سبب افزایش غلظت نمک بستر کشت می‌شود. مقدار این نمک در ناحیه ریشه را با مقدار آبشویی و تنظیم غلظت شوری تیمار ثابت نگاه داشته شد. برای اطمینان از این موضوع، شوری هر زاب گلدان‌ها

آب گلبرگ زعفران: صفر (SEES₂₁)، ۲۵۰ μL/100mL (SEES₂₂) و ۵۰۰ μL/100mL (SEES₂₃)
اسانس کلالة زعفران: صفر (SEES₂₄)، ۴۰ μL/100mL (SEES₂₅) و ۱۲۵ μL/100mL (SEES₂₆)

ارزیابی فاکتورهای شیمیایی

گردید. محلول رویی به دست آمده به عنوان عصاره آنزیمی جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز مورد استفاده قرار گرفت.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز: به یک میلی‌لیتر مخلوط، بافر فسفات پتاسیم یک مولار، پراکسید هیدروژن یک مولار و ۱۰ میکرولیتر عصاره خام اضافه گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس میزان تجزیه شدن H₂O₂ در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از ضریب خاموشی $\text{mM}^{-1} \text{cm}^{-1}$ ۳۹/۴^۱ محاسبه شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: به یک میلی‌لیتر مخلوط واکنش، بافر فسفات پتاسیم یک مولار، آسکوربات ۱۰ میلی‌مولار، پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی‌مولار و ۱۰ میکرولیتر عصاره خام اضافه گردید. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز بر اساس میزان اکسید شدن آسکوربات در طول موج ۲۹۰ نانومتر و خوانش دستگاه اسپکتوفتومتر (Analytic jena SPECORD 210, Germany) و با استفاده از ضریب خاموشی $\text{Mm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ۲۸^۱ محاسبه شد (Navarro et al., 2000).

سنجش پراکسید هیدروژن: ۰/۲ گرم از برگ گیاهی را در هاون حاوی محلول تری کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد کوبیده و عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در دور ۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم، ۱۰ میلی‌مولار با pH برابر ۷ و یک میلی‌لیتر یدید پتاسیم ۱ مولار اضافه گردید و جذب در طول موج ۳۹۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر (Nano drop, Thermo america group) خوانده شد. مقدار پراکسید هیدروژن در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد تعیین گردید (Meloni et al., 2003).

استخراج عصاره پروتئینی: برای تهیه عصاره آنزیمی ابتدا ۰/۱ گرم برگ به همراه یک میلی‌لیتر بافر شامل فسفات پتاسیم ۱۰۰ mM با pH برابر ۷ و ۱ mM EDTA و پلی-نیل‌پیرولیدین یک درصد در هاون چینی سرد و بر روی یخ سابیده و همگن شدند. سپس عصاره‌های حاصل در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد و محلول رویی حاصل جمع آوری

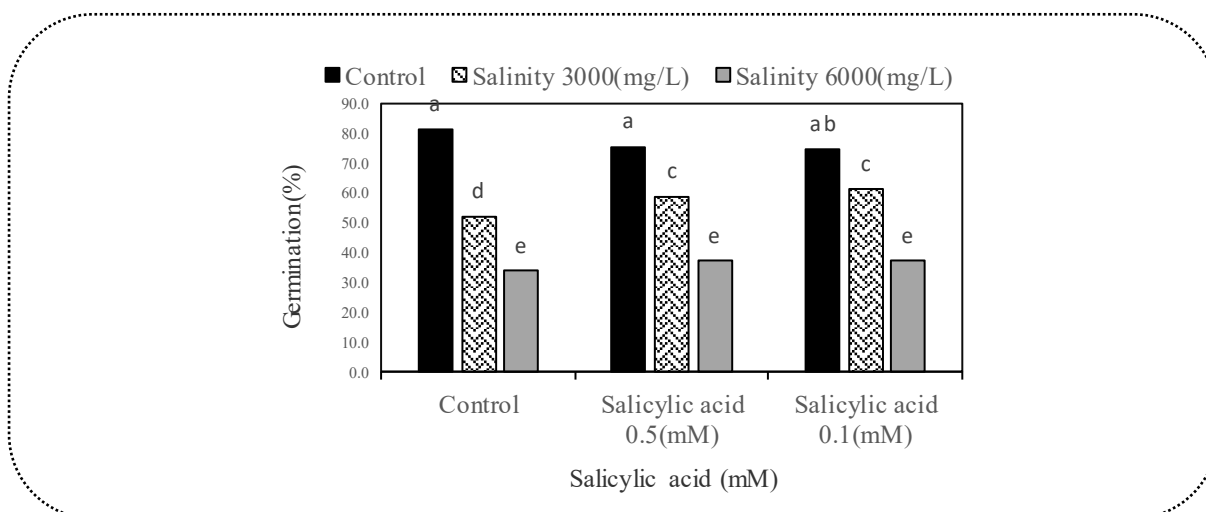
آنالیز آماری

کلیه داده‌ها در یک آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 آنالیز شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام شدند.

نتایج و بحث

درصد جوانه زنی

عصاره و اسانس زعفران تاثیر معنی‌داری روی فاکتورهای جوانه‌زنی نداشتند. بیشترین درصد جوانه زنی در تیمار بدون شوری و کمترین درصد جوانه‌زنی در تیمار شوری با غلظت ۶۰۰۰ mg/L کلرید سدیم مشاهده شد



شکل ۱- برهمکنش تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر درصد جوانه‌زنی
Figure 1. Interaction of salinity stress and salicylic acid on germination percentage

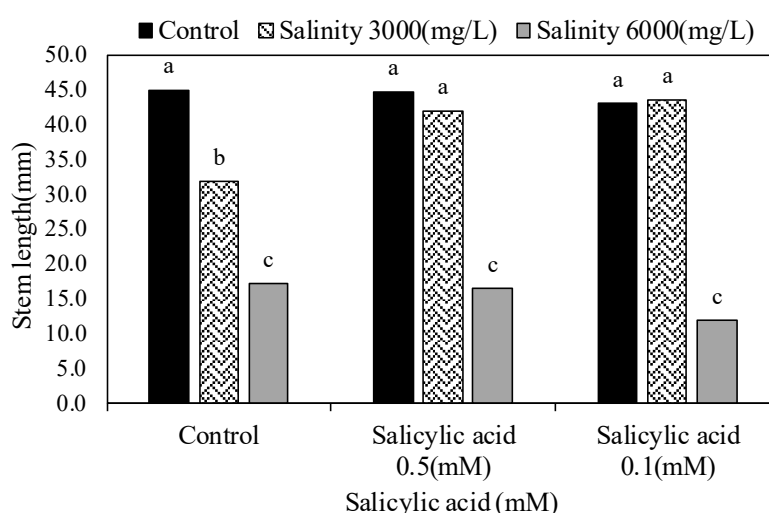
۳۰۰۰ به صورت معنی‌داری کاهش ارتفاع ساقچه را نسبت به شاهد تعدیل نموده ولی تفاوت معنی‌داری در طول ساقچه بین تیمارهای سالیسیلیک اسید مشاهده نشد (شکل ۲). تیمارهای سالیسیلیک اسید ۰/۱ mM و ۰/۵ mM به ترتیب ۲۳٪ و ۲۴٪ طول ساقچه را نسبت به شاهد در شوری ۳۰۰۰ mg/L افزایش دادند (شکل ۲). در برهمکنش تیمار شوری ۶۰۰۰ mg/L و آب گلبرگ زعفران (SEES_{II}) تیمار شوری ۵۰ μL/mL طول ساقچه به طور معنی‌داری (۴۰٪)

طول ساقچه

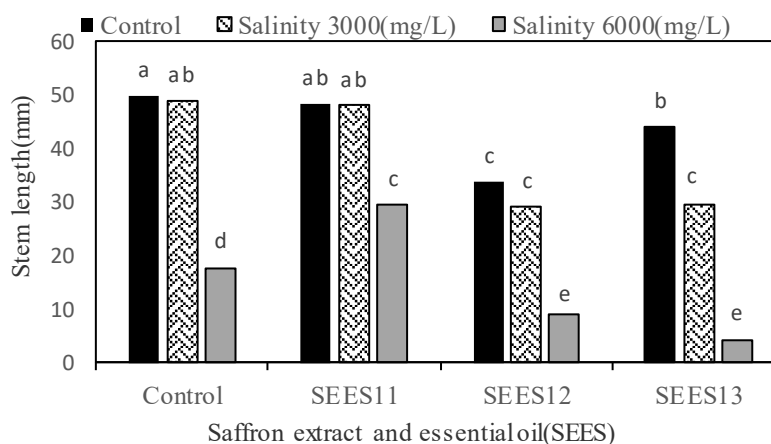
همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، با افزایش شوری ارتفاع ساقچه به صورت معنی‌داری کاهش یافته است، به‌طوری که کمترین طول ساقچه در تیمار شوری ۶۰۰۰ mg/L مشاهده شد. تیمارهای شوری ۳۰۰۰ و ۶۰۰۰ mg/L بدون سالیسیلیک اسید به ترتیب ۵۸٪ و ۵۵٪ درصد طول ساقچه را نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۲). سالیسیلیک اسید در تنش شوری ۶۰۰۰ mg/L

شوری ۶۰۰۰ mg/L و آب گلبرگ زعفران (SEES₁₁) ۵۰ µL/mL موجب افزایش معنی دار طول ساقه چه شد و سالیسیلیک اسید تاثیر معنی داری روی آن نشان نداد ولی بررسی منابع نشان داد که در گیاهان پیش تیمار شده با سالیسیلیک اسید کاهش شاخص های مورفولوژیک مانند طول ساقه چه و وزن ریشه چه تعدیل می شوند (Mahdavian, 2018).

نسبت به تیمار شوری ۶۰۰۰ mg/L در شاهد افزایش یافت (شکل ۳). عصاره آبی کلاله زعفران (SEES₁₃) ۵۰ µL/100mL بدون تیمار شوری به طور معنی داری طول ساقه چه را نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۳)، این کاهش معنی دار می تواند ناشی از غلظت بالای عصاره آبی کلاله زعفران (SEES₁₃) باشد. کمترین طول ساقه چه در برهمکنش شوری ۶۰۰۰ mg/L و تیمار عصاره آبی کلاله زعفران (SEES₁₃) مشاهده شد (شکل ۳). برهمکنش تیمار



شکل ۲- برهمکنش تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر طول ساقه چه
Figure 2. Interaction of salinity stress and salicylic acid on stem length



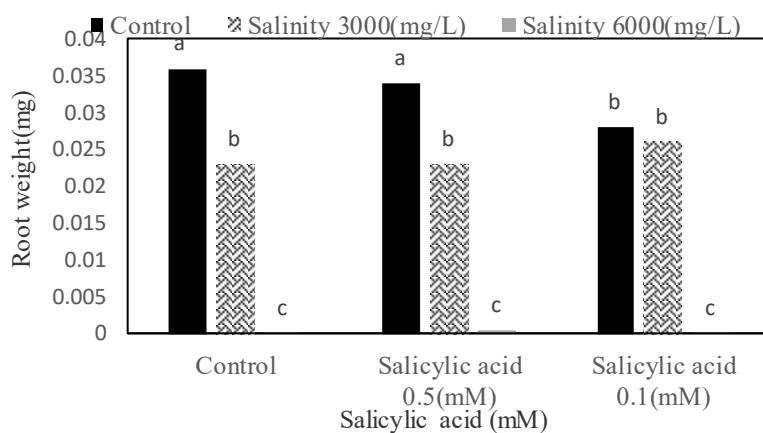
شکل ۳- برهمکنش تنش شوری و آب گلبرگ زعفران SEES₁₁، اسانس کلاله زعفران SEES₁₂ و عصاره آبی کلاله زعفران - SEES₁₃ بر طول ساقه چه

Figure 3. Interaction of salinity stress and SEES₁₁-SEES₁₂-SEES₁₃ on stem length

وزن ریشه‌چه

در برهمکنش سالیسیلیک اسید ۰/۵ mM و تنش شوری ۳۰۰۰ mg/L و ۶۰۰۰ mg/L روی وزن ریشه‌چه تفاوت معنی داری نسبت به شاهد مشاهده نشد (شکل ۴). این در حالی است که تیمار شوری به طور معنی داری وزن ریشه‌چه را کاهش داد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، بر همکنش تیمار سالیسیلیک اسید ۰/۱ mM و عدم شوری وزن ریشه‌چه را به طور معنی داری (۱۸٪) نسبت به برهمکنش سالیسیلیک اسید ۰/۵ mM و عدم شوری و برهمکنش عدم تیمار سالیسیلیک اسید و عدم شوری کاهش داد. سالیسیلیک اسید ۱/۵ mgr/L بیشترین افزایش را در طول هیپوکوتیل و ریشه باعث شد. اگرچه پرایمینگ با سالیسیلیک اسید نتوانست طول ریشه و وزن خشک ریشه را در تمام سطوح شوری بهبود بخشد، با این حال دانه‌های تیمار شده با سالیسیلیک اسید طول هیپوکوتیل بالاتری را در تمام سطوح شوری نسبت به دانه‌های تیمار نشده تولید کردند (Bahrani and Pourreza, 2012).

همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، بیشترین وزن ریشه‌چه در تیمار بدون شوری و محیط دارای آب گلبرگ زعفران (SEES_{II}) و کمترین وزن ریشه‌چه در تیمار تنش شوری ۶۰۰۰ mg/L شاهد شد (شکل ۵). برهمکنش آب گلبرگ زعفران (SESS_{II}) و سطح شوری ۳۰۰۰ mg/L و عدم شوری به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۳۸٪ و ۵۶٪ وزن ریشه‌چه نسبت به شاهد شد (شکل ۵). سافرانال در هنگام خشک کردن و ذخیره سازی زعفران توسط هیدرولیز پیکروکرو سین ایجاد می‌شود (Iborra et al., 1992)، تحقیقات نشان داده که سافرانال دارای ساختار شیمیایی مشابهی با ترکیب طبیعی بتا-سایکلوستیرال است (Corradi and Michelli, 1979). بتا-سایکلوستیرال عامل تحریک تقسیمات سلول پیش ساز در پریموردیای ریشه قبل از طویل شدن سلول (Moreno-Risueno et al., 2010) و محرک گسترده رشد ریشه در گیاهان تک لپه و دولپه برای افزایش قدرت محصول تحت تنش‌های محیطی می‌باشد (Dickinson et al., 2019).



شکل ۴ - برهمکنش تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر وزن ریشه‌چه

Figure 4. Interaction of salinity stress and salicylic acid on root weight

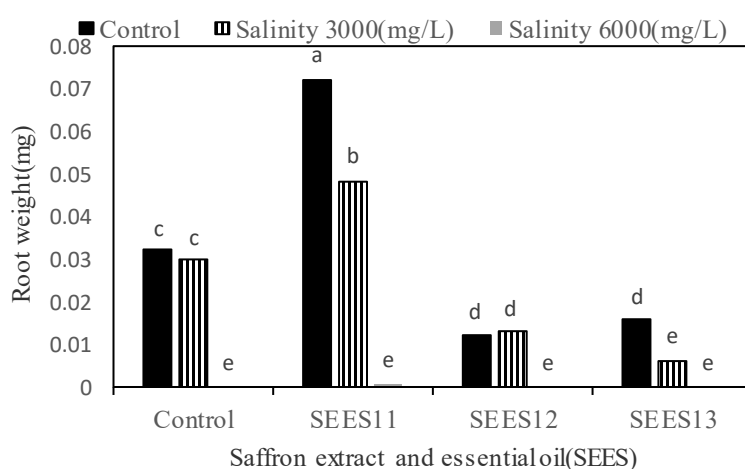
طول گیاهچه

همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، در برهمکنش تنش شوری و سالیسیلیک اسید بیشترین طول گیاهچه در تیمارهای فاقد تنش شوری و کمترین طول

گیاهچه در تیمار شوری ۶۰۰۰ mg/L مشاهده شد. در تیمار شوری ۳۰۰۰ mg/L، تیمارهای سالیسیلیک اسید ۰/۵ mM و ۰/۱ mM به طور معنی داری به ترتیب ۲۵٪ و ۳۱٪ طول گیاهچه را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۶). اما در

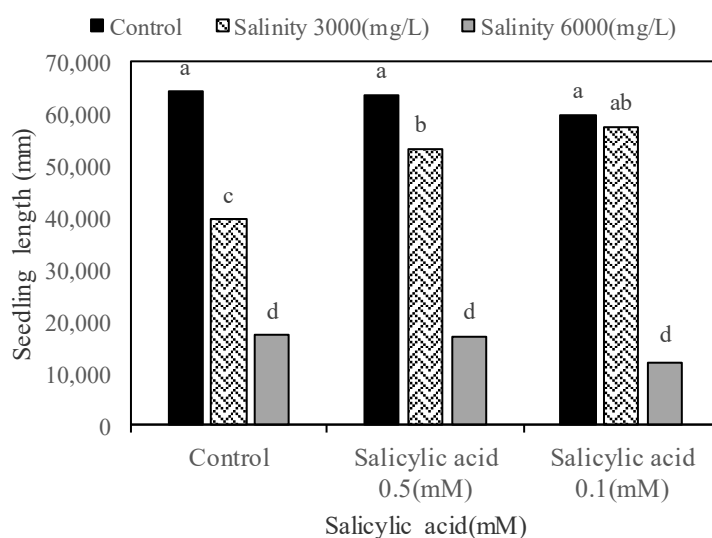
۶۰۰۰ با آب گلبرگ زعفران (SEES₁₁) موجب افزایش معنی دار (۴۲٪) طول گیاهچه نسبت به شاهد شد (شکل ۷). بتا-سایکلو سیترال (سافرانال) در ریشه گیاه برنج تحت تنش شوری به طور معنی داری رشد ریشه و ساقه را تحریک و به نحو ارزشمندی برای بهبود قدرت محصول، به ویژه در شرایط محیطی سخت قابل استفاده می باشد (Dickinson et al., 2019).

تیمار بدون شوری، غلظت های مختلف سالیسیلیک اسید تاثیر معنی داری بر طول گیاهچه نداشتند (شکل ۶). همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، بیشترین طول گیاهچه به طور معنی داری در تیمار بدون شوری و محیط بدون عصاره و اسانس زعفران و کمترین طول گیاهچه در سطح شوری ۶۰۰۰ mg/L و محیط دارای اسانس کلاله زعفران (SEES₁₂) و عصاره آبی کلاله زعفران (SEES₁₃) مشاهده شد. برهمکنش شوری mg/L



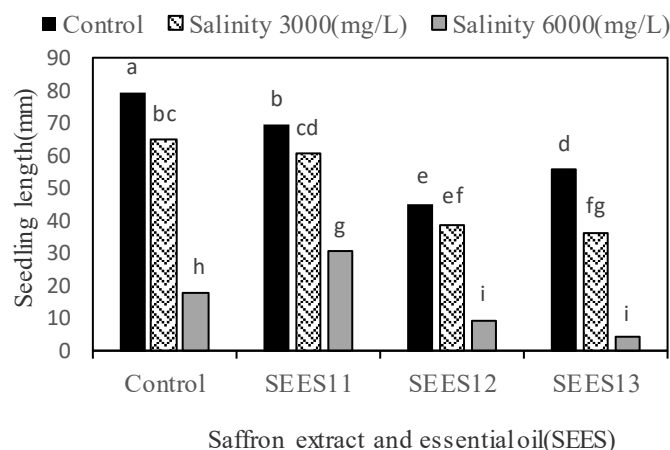
شکل ۵ - برهمکنش تنش شوری و آب گلبرگ زعفران SEES₁₁، اسانس کلاله زعفران SEES₁₂ و عصاره آبی کلاله زعفران - SEES₁₃ بر وزن ریشه

Figure 5. Interaction of salinity stress and SEES₁₁-SEES₁₂-SEES₁₃ on root weight



شکل ۶ - برهمکنش تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر طول گیاهچه

Figure 6. Interaction of salinity stress and salicylic acid on seedling length



شکل ۷ - برهمکنش تنش شوری و آب گلبرگ زعفران SEES₁₁، اسانس کلاله زعفران SEES₁₂ و عصاره آبی کلاله زعفران SEES₁₃ بر طول گیاهچه

Figure 7. Interaction of salinity stress and SEES₁₁-SEES₁₂-SEES₁₃ on seedling length

سوپر اکسید و به دنبال آن تنش اکسیداتیو در گیاه می شود (Azevedo Neto, 2006). افزایش معنی‌دار پراکسید هیدروژن در تنش شوری ۶۰۰۰ mg/L نشان دهنده حد آستانه آغاز پاسخ فستوکای بلند به تنش شوری می‌باشد. در میان گونه‌های فعال اکسیژن، پراکسید هیدروژن به دلیل نیمه عمر بالا، باعث فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی، از جمله افزایش سطح آنتی‌اکسیدان کل و بهبود رشد گیاه در شرایط خشکسالی می‌شود (Rohollahi et al., 2018).

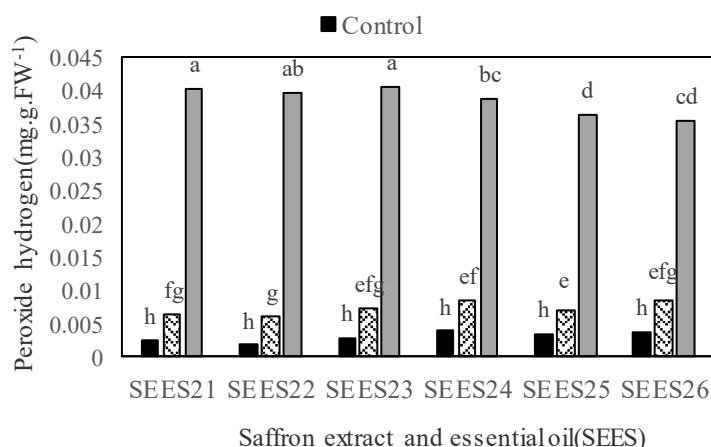
فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز

همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، فعالیت آنزیم کاتالاز در برهمکنش شوری ۶۰۰۰ mg/L و غلظت ۴۰ μL/100mL (SEES₂₅) و ۱۲۵ μL/100mL (SEES₂₆) اسانس کلاله زعفران به صورت معنی‌داری به ترتیب ۳۹٪ و ۳۰٪ نسبت به شاهد افزایش یافت. کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد (شکل ۹). بر همکنش شوری ۶۰۰۰ mg/L و آب گلبرگ زعفران با غلظت ۵۰۰ μL/100mL (SEES₂₃) به صورت معنی‌داری فعالیت آنزیم کاتالاز را ۱۸٪ نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۹).

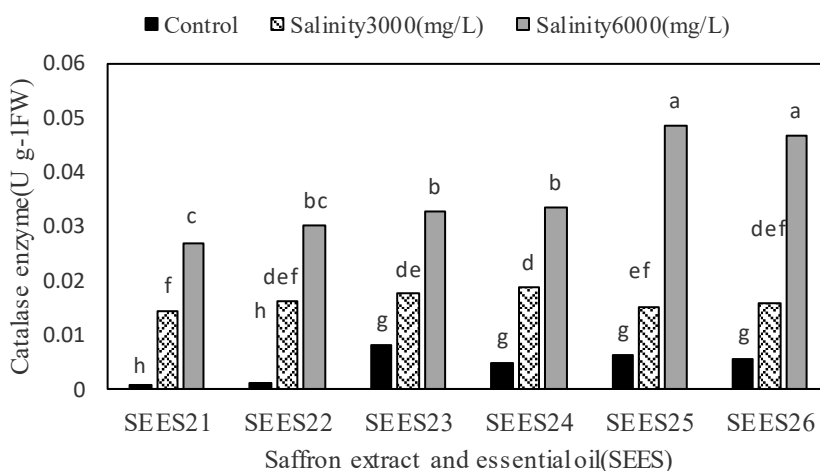
نتایج حاصل از اثرات شوری و عصاره و اسانس زعفران بر پارامترهای شیمیایی

پراکسید هیدروژن

مطابق نتایج ارائه شده در شکل ۸، بیشترین میزان پراکسید هیدروژن در برهمکنش تیمار شوری ۶۰۰۰ mg/L و آب گلبرگ زعفران: صفر (SEES₂₁)، ۶۰۰۰ μL/100mL و ۲۵۰ (SEES₂₂) و ۵۰۰ μL/100mL (SEES₂₃) و کمترین میزان پراکسید هیدروژن در تیمار بدون شوری مشاهده شد (شکل ۸). همچنین برهمکنش تیمارهای صفر (SEES₂₄)، ۴۰ μL/100mL (SEES₂₅) و ۱۲۵ μL/100mL (SEES₂₆) اسانس کلاله زعفران با شوری ۶۰۰۰ mg/L به‌طور معنی‌دار غلظت پراکسید هیدروژن بالاتری نسبت به برهمکنش اسانس کلاله زعفران و سایر سطوح شوری نشان دادند (شکل ۸). با این وجود برهمکنش غلظت ۴۰ μL/100mL (SEES₂₅) اسانس کلاله زعفران با شوری ۶۰۰۰ mg/L به‌طور معنی‌داری منجر به کاهش غلظت پراکسید هیدروژن نسبت به شاهد شد (شکل ۸). افزایش معنی‌دار غلظت پراکسید هیدروژن سیگنالی برای امادگی گیاه در جهت ایجاد مقاومت به تنش شوری خواهد بود. شوری باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن مانند پراکسید هیدروژن و



شکل ۸ - برهمکنش تنش شوری و آب گلبرگ SEES 21-23 و اسانس کلالة زعفران SEES 24-26 بر میزان پراکسید هیدروژن
Figure 8. Interaction of salinity stress and SEES 21-26 on hydrogen peroxide



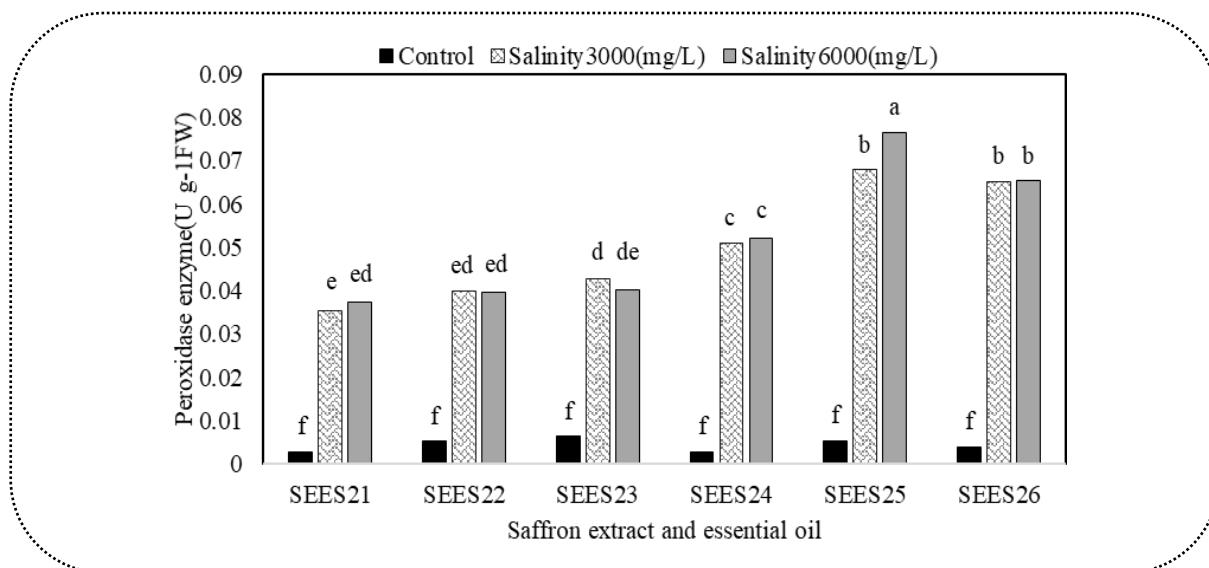
شکل ۹ - برهمکنش تنش شوری و آب گلبرگ زعفران SEES 21-23 و اسانس کلالة زعفران SEES 24-26 بر فعالیت آنزیم کاتالاز
Figure 9. Interaction of salinity stress and SEES21-26 on catalase activity

داری به ترتیب ۳۱٪ و ۲۰٪ نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۱۰). همچنین فعالیت آنزیم پراکسیداز در برهمکنش شوری ۳۰۰۰ mg/L و ۴۰ $\mu\text{L}/100\text{mL}$ (SEES₂₅) و ۱۲۵ $\mu\text{L}/100\text{mL}$ (SEES₂₆) اسانس کلالة زعفران به صورت معنی داری به ترتیب ۲۴٪ و ۲۱٪ نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۱۰). برهمکنش شوری ۶۰۰۰ mg/L و ۳۰۰۰ mg/L با آب گلبرگ زعفران به صورت معنی داری فعالیت آنزیم پراکسیداز را نسبت به تیمار شاهد

همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز به صورت معنی داری در برهمکنش تیمار شوری ۶۰۰۰ mg/L و غلظت ۴۰ $\mu\text{L}/100\text{mL}$ اسانس کلالة زعفران (SEES₂₅) و کمترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار شاهد مشاهده شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز در برهمکنش شوری ۴۰ $\mu\text{L}/100\text{mL}$ و غلظت ۴۰ $\mu\text{L}/100\text{mL}$ (SEES₂₅) و ۱۲۵ $\mu\text{L}/100\text{mL}$ اسانس کلالة زعفران به صورت معنی

(et al., 2003). همانطور که در نتایج تحقیق حاضر نشان داده شد غلظت بالای پراکسید هیدروژن به طور مستقیم باعث تحریک آنزیم کاتالاز و پراکسیداز می شود (Polidoros and Scandalios, 2002).

افزایش داد، اگر چه تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف آب گلبرگ زعفران مشاهده نشد (شکل ۱۰). تنش شوری سبب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ کلزا و کاهش اثرات مخرب تنش شوری شد Meloni



شکل ۱۰ - برهمکنش تنش شوری و آب گلبرگ زعفران SEES 21-23 و اسانس کلاله زعفران SEES 24-26 بر فعالیت آنزیم پراکسیداز
Figure 10. Interaction of salinity stress and SEES on peroxidase activity

مشابه‌ای با ترکیب طبیعی بتا-سایکلوستیرال دارد و گلبرگ-های زعفران و کلاله زعفران دارای مقادیری از سافرانال هستند که می‌توان از عصاره و اسانس گلبرگ و کلاله زعفران به عنوان محرک جوانه‌زنی و مکمل رشد ریشه استفاده نمود. نتایج آزمایش اول نشان داد که کاربرد آب گلبرگ زعفران موجب افزایش معنی‌دار ویژگی‌های مورفولوژیکی مانند طول گیاهچه (۷۰٪)، وزن ریشه‌چه (۶۰٪) و طول ساقه‌چه (۶۷٪) شد. طی آزمایش دوم، افزایش شوری تاثیر معنی‌داری در افزایش غلظت پراکسید هیدروژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز داشت. غلظت پراکسید هیدروژن در برهمکنش تنش شوری ۶۰۰۰ mg/L و آب گلبرگ زعفران و اسانس کلاله زعفران به نحو معنی‌داری افزایش یافت. حتی در غلظت صفر آب گلبرگ زعفران و اسانس کلاله زعفران غلظت پراکسید هیدروژن به نحو معنی‌داری نسبت به سایر

نتیجه‌گیری کلی

از نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان دریافت که علی‌رغم تاثیر معنی‌دار تنش شوری در کاهش ویژگی‌های مورفولوژیک مانند طول، وزن تر، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و درصد جوانه‌زنی، کاربرد سالیسیلیک اسید در بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی تاثیر معنی‌داری داشته است. اسیدسالیسیلیک، یک مولکول فنلی طبیعی ساده تنظیم‌کننده رشد، نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان ایفا می‌کند. هر دو غلظت سالیسیلیک اسید ۰/۱ mM و ۰/۵ mM اثر مشابه و معنی‌داری در بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی در شرایط تنش کلرید سدیم داشتند. بنابراین می‌توان غلظت سالیسیلیک اسید ۰/۱ mM را به منظور بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و شاخص‌های مورفولوژیک پیشنهاد نمود.

تحقیقات نشان داده است که سافرانال ساختار شیمیایی

پاسخ گیاه مانند ارتفاع گیاهچه و طول ریشه و سایر صفات پس از استقرار شود. تعیین روش مناسب عصاره و اسانس گیری از ضایعات گلبرگ های زعفران و تحقیق در جهت مشخص نمودن مدت زمان استفاده و غلظت های مناسب می تواند نتایج بهتری در آینده فراهم نماید.

منابع

Azevedo Neto, D., Prisco, J., Eneas, J., De Abreu, C. and E. Gomes. 2006. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. Environmental and experimental botany, 56, 87-94.

Bahrani, B. and J. Pourreza. 2012. Gibberlic Acid and Salicylic acid effects on seed germination and seedlings growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) Under salt stress condition. World applied sciences journal. 18 (5): 633-641

Corradi, C. and G. Michelli. 1979. Spectrophotometric determination of the coloring, American and odorous power of saffron. Bollettino chimico farmaceutico. 118: 553-562.

Dickinson, A. J., Lehner K., Mid J., Jiad K.P., Mijara M., Dinnyec J., Al-Babilid S., and P. N. Benfeya. 2019. β -Cyclocitral is a conserved root growth regulator. Proceedings of the national academy of sciences. 116 (21): 10563-10567.

ElTayeb, M.A. 2012. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation. 45: 215-224.

Godefroot, M.; Sandra, P. and M. Verzele. 1981. New method for quantitative essential oil analysis. Journal of Chromatography A. 203: 325-335.

Harris, D., Pathan, A.K., Gothkar, P., Joshi, A., Chivasa, W. and P. Nyamudeza. 2001. On-farm seed priming: Using participatory methods to revive and refine a key technology. Agriculture system. 69: 151-164.

Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A., Teixeira da Silva, J.A., and M. Fujita. 2011. Plant responses and tolerance to abiotic oxidative stress: Antioxidant defense is a key factor. Crop stress and its management: perspectives and strategies. Springer, Berlin, pp. 261-316.

سطوح تنش شوری افزایش یافت. تنها برهمکنش غلظت $40 \mu\text{L}/100\text{mL}$ (SEES₂₅) اسانس کلاله زعفران با شوری 6000 mg/L موجب کاهش معنی دار غلظت پراکسید هیدروژن نسبت به شاهد شد. همزمان فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز در برهمکنش تنش شوری 6000 mg/L و آب گلبرگ زعفران و اسانس کلاله زعفران به صورت معنی داری افزایش نشان داد. بالاترین افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در برهمکنش شوری 6000 mg/L و غلظت های $40 \mu\text{L}/100\text{mL}$ (SEES₂₅) و $125 \mu\text{L}/100\text{mL}$ (SEES₂₆) اسانس کلاله زعفران مشاهده شد و بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به برهمکنش غلظت $40 \mu\text{L}/100\text{mL}$ (SEES₂₅) اسانس کلاله زعفران با شوری 6000 mg/L بود. به نظر می رسد افزایش غلظت پراکسید هیدروژن تا غلظت $0.364 \text{ mg.g.FW}^{-1}$ در برهمکنش غلظت $40 \mu\text{L}/100\text{mL}$ (SEES₂₅) اسانس کلاله زعفران با شوری 6000 mg/L بیشترین تاثیر را در افزایش معنی دار فعالیت آنزیم پراکسیداز داشته است. پراکسید هیدروژن به دلیل نیمه عمر بالا به عنوان عامل اصلی انتقال سیگنال تنش و فعال شدن مکانیسم های دفاعی گیاه عمل می کند. گیاهان قادرند با تولید انواع ترکیبات آنزیمی مانند کاتالاز، پراکسیداز و غیر آنزیمی مانند آسکوربات و آلفا توکوفرول رادیکال های آزاد اکسیژن را حذف نمایند. در نهایت افزایش بیش از حد گونه های فعال اکسیژن و پراکسید هیدروژن موجب ایجاد تنش اکسیداتیو و آسیب به گیاه خواهد شد. در واقع افزایش پراکسید هیدروژن با وجود آب گلبرگ زعفران و اسانس کلاله زعفران باعث افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی می گردد. نتایج نشان می دهد کاربرد آب گلبرگ زعفران و اسانس کلاله زعفران در مدت زمان طولانی تر می تواند کمکی برای پاسخ به تنش های محیطی به خصوص تنش کلرید سدیم باشند. با توجه به تاثیر گذاری آب گلبرگ زعفران می توان نتیجه گرفت که استفاده طولانی تر و یا غلظت بالاتر آن ممکن است سبب بهبود

- and cell differentiation in lateral roots of *Arabidopsis thaliana*. *Development (Cambridge)*. 124 (1):33–44.
- Meloni, D. A., M. A. Oliva, Martinez, C. A. and J. Cambraia. 2003. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 15 (2): 12-21.
- Misra, N., Misra, R., Mariam, A., Yusuf k, and L. Yusuf. 2014. Salicylic acid alters antioxidant and phenolics metabolism in *Catharanthus roseus* grown under salinity stress. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 11(5), 118–25.
- Moreno-Risueno MA, Norman, J.M.V., Moreno, A., Zhang, J., Ahnert, S.E. and P.N. Benfey. 2010. Oscillating gene expression determines competence for periodic *Arabidopsis* root branching. *Science (Washington)*. 329 (5997):1306–1311.
- Navarro, J. M.; Martinez, V. and V. Carvajal. 2000. Amonium, bicarbonate and calcium effects on tomato Plants grown under saline conditions. *Plant Science*. 157: 89-96.
- Parmoon, Gh., Ebadi, A., Jahanbakhsh Godahkahriz, S. and M. Davari. 2014. Effect of seed priming by salicylic acid on the physiological and biochemical traits of aging milk thistle (*Silybum marianum*) seeds. *Journal of crop production*. 7: 223-234.
- Polidoros, A.N., and J.G. Scandalios. 2002. Role of hydrogen peroxide and different classes of antioxidants in the regulation of catalase and glutathione S-transferase gene expression in maize (*Zea mays* L.). *Physiologia plantarum*. 106 (1): 112-120.
- Ramel, F. et al. 2012. Carotenoid oxidation products are stress signals that mediate gene responses to singlet oxygen in plants. *Proc. National Academy of Sciences USA*. 109:5535–5540.
- Raskin, I. 1992. Role of Salicylic acid in plants. Annual review of plant physiology and plant molecular biology. 43: 439-463.
- Rohollahi, I., Khoshkholghsima, N.A., Nagano, H., Hoshino, Y. and T. Yamada, 2018. Respiratory burst oxidase-D expression and biochemical responses in *Festuca arundinacea* under drought stress. *Crop science*. 58:435–442.
- Iborra, J. L. Castellar, M. R. Canovas, M. and A. Manjon. 1992. TLC Preparative purification of picrocrocin, HTCC and crocin from saffron. *Journal of Food Science* 57(3): 714-716.
- Jayakannan, M., J. Bose, O. Babourina, S. Shabala, A. Massart, C. Poschenrieder and Z. Rengel. 2015. 'NPR1-dependent salicylic acid signaling pathway is pivotal for enhanced salt and oxidative stress tolerance in *Arabidopsis*. *Journal of Experimental Botany*. 66:1865-75.
- Joulain, D. 1986. Study of the fragrance given off by certain springtime flowers. *Progress in essential oil research*. Walter de Gruyter & Co., Berlin.
- Kang, G., Li, G., Zheng, B., Han, Q., Wang, C., Zhu, Y. and T. Guo. 2012. Proteomic analysis on salicylic acid-induced salt tolerance in common wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). *Biochim et Biophys Acta*, 1824(12), 1324–33.
- Karimi, I. Y. M., Kurup, S. S., Abdul Mohsen Ali Salem, M., Jaleel Cheruth, A., Thayale Purayil, F., Subramaniam, S. and M. Pessarakli. 2018. Evaluation of Bermuda and Paspalum grass types for urban landscapes under saline water irrigation, *Journal of Plant Nutrition*. 41: 888-902.
- Khoshkholghsima, N.A. and I. Rohollahi. 2015. Evaluating biochemical response of some selected perennial grasses under drought stress in Iran. *Horticulture, environment, and biotechnology*. 56: 383-390.
- Lee, S., Kim, S. G., Park, C. P. M. 2010. Salicylic acid promotes seed germination under high salinity by modulating antioxidant activity in *Arabidopsis*. *New phytologist foundation*, 188 (2): 626-637.
- Loutfy, N., El-Tayeb, M.A., Hassanen, A.M., Moustafa, M.F., Sakuma, Y. and M. Inouhe. 2012. Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of plant research*. 125(1), 173–84.
- Mahdavian, K., 2018. Effect of different concentrations of salicylic acid on salinity tolerance of barley seedling (*Hordeum vulgare* L.). *Crop physiology journal* 9(36): 121-136. [in Persian with English Abstract]
- Malamy J.E. and P.N. Benfey. 1997. Organization

Yavas, I. and A. Unay. 2016. Effects of zinc and salicylic acid on wheat under drought stress. The Journal of Animal and Plant Sciences. 26 (4): 1012-1018.

Wahome, P.K., Jesch H.H., and I. Grittner. 2001. Mechanisms of salt stress tolerance in two rose rootstocks: *Rosa chinensis* 'Major' and *R. rubiginosa*. Scientia Horticulture. 87: 207-216.

Changes in growth and nutrient concentrations of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in response to inoculation of different species of mycorrhizal fungi

Shakila Ghoroori¹, Mohammad Moghaddam^{2*}, Nasrin Farhadi³

1- MSc Student, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(shakila.ghoroori@gmail.com)

2- Corresponding Author, Associate Prof., Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(m.moghaddam@um.ac.ir)

3- PhD., Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(nasrin.farhadi88@gmail.com)

Received Date: 24/06/2022

Accepted Date: 04/10/2022

Abstract

Introduction: The use of bio-fertilizers along with the rational use of chemical fertilizers can be a good solution to reduce environmental pollution. Bio-fertilizers include microorganisms such as bacteria, fungi, cyanobacteria, etc., which improve the structure and quality of the soil and strengthen the soil in terms of nutrients. Mycorrhizal arbuscular fungi are present in many soils and coexist with the roots of most plant species (Wang et al. 2021). Due to the high importance of fenugreek in food and pharmaceutical industries and the need to reduce environmental pollution caused by the improper use of chemical fertilizers, in this study the effect of inoculation of ten species of mycorrhiza fungi of different genera on growth and some biochemical characteristics of fenugreek were investigated.

Material and methods: A pot experiment was conducted to investigate the inoculation effect of different species of mycorrhizal fungi on the growth and nutrient elements of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) based on a completely randomized design with three replications in the research greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad during 2020-2021. The treatments were included 10 species of mycorrhizal fungi *Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum*, *Glomus claroideum*, *Glomus caledonium*, *Glomus interradices*, *Glomus fasciculatum*, *Acaulospora langula*, *Scutellospora castanea*, *Glomus versiforme*, *Gigaspora margarit* and non-inoculation (control). The studied traits were morphological traits (plant height, number of branches, number of nodes, internode length, leaf length and width, fresh and dry weight of plant aerial parts, root length, fresh and dry weight of roots) and the content of macro and micro elements (N, P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, B, Cu, Zn).

Results and discussion: The results of analysis variance showed that the effect of mycorrhizal fungi on growth and the content of nutrient elements was significant at the level of 1% probability. Mycorrhiza inoculation significantly increased the height of fenugreek plants. The lowest plant height was observed in the un-treated plants and the highest plant height was related to plants inoculated with *R. castanea*. The highest leaf length and width was recorded in plants inoculated with *R. intraradices*, which were 7.06 and 31.63% higher than the control, respectively. The results showed that the highest fresh weight of plant aerial part was obtained in the inoculated plants with *R. castanea*, which was 111.66% (more than twice) higher than the un-inoculated plants. However, *F. mosseae* caused a decrease (30.88%) of fresh weight compared to the control treatment. The highest plant dry weight belonged to plants inoculated with *R. castanea*, *A. langula* and *D. versiformis* which were 133.58% higher than the un-inoculated plants. The lowest plant dry weight was obtained in the control treatment which was not significantly differed from the treatment of *C. etunicatum*. Comparison of the mean data showed that inoculation with mycorrhiza fungi effectively increased the root growth of fenugreek. Although inoculation of fenugreek with mycorrhiza fungi had a significant effect on improving the nutrient uptake, but the plant response varied depending on the studied fungus species and in some species reduction in nutrient contents was recorded. Literature survey showed that the inoculation with appropriate species of mycorrhizal fungi can effectively increase the growth and biomass of fenugreek by improving the plant physiological traits and absorption of nutrient elements (Latef and Chaoping, 2011; Baghbani arani et al., 2017).

Conclusions: According to the obtained results, the response of fenugreek to inoculation was depended on the mycorrhizal fungi species therefore determining suitable species of fungi is necessary to improve the growth and yield of this plant. Generally, inoculation of fenugreek with *C. claroideum*, *R. castanea* and *R. intraradices* can be suggested as a suitable alternative to chemical fertilizers to increase the yield of fenugreek under greenhouse and field condition.

Keywords: Biomass, Symbiosis, Nutrient elements, Root growth.

تغییر در رشد و غلظت عناصر غذایی گیاه سنبليله (*Trigonella foenum-graecum*) L. در واکنش به تلقیح گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا

شکیلا غروری^۱، محمد مقدم^{۲*}، نسرين فرهادی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(shakila.ghoroori@gmail.com)

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(m.moghadam@um.ac.ir)

۳- دکتری گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(nasrin.farhadi88@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۳

چکیده

به منظور بررسی و مقایسه تأثیر ۱۰ گونه قارچ میکوریزا متعلق به هفت جنس مختلف (*Rhizophagus Racocetra*، *Gigaspora*، *Acaulospora*، *Diversispora*، *Funneliformis*، *Claroideoglomus*، *Funneliformis*، *Diversispora*، *Gigaspora*، *Acaulospora*، *Funneliformis*، *Claroideoglomus*) بر زیست توده و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه سنبليله، پژوهشی گلدانی بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۹ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در پژوهش حاضر تغییرات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد گره، طول میانگره، طول و عرض برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه، محتوای نسبی آب برگ و غلظت عناصر غذایی پرمصرف (N, P, K, Mg, Ca) و کم مصرف (Fe, Mn, Zn, Cu, B) در گیاه سنبليله در واکنش به تلقیح میکوریزایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر قارچ‌های میکوریزا بر کلیه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. تلقیح با گونه‌های مناسب قارچ میکوریزا به‌طور کارآمد از طریق بهبود محتوای نسبی آب برگ و جذب عناصر غذایی منجر به افزایش رشد و بهبود خصوصیات رشدی از جمله زیست‌توده گیاه سنبليله گردید. گیاهان تلقیح شده با قارچ *Racocetra castanea* بیشترین عملکرد را از نظر وزن تر و خشک داشتند و بیشترین مقدار عناصر غذایی در گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های *Rhizophagus intraradices* و *C. claroideum* حاصل گردید. براساس یافته‌های حاصل، واکنش گیاه سنبليله به تلقیح با گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا متفاوت بوده و تعیین گونه مناسب قارچ جهت بهبود رشد و عملکرد این گیاه ضروری می‌باشد. طبق نتایج این مطالعه تلقیح گیاه سنبليله با قارچ‌های *R. intraradices*، *R. castanea*، *C. claroideum* می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسب کودهای شیمیایی جهت افزایش عملکرد این گیاه در سطح گلخانه و مزرعه پیشنهاد گردد.

کلمات کلیدی: زیست‌توده، همزیستی، عناصر غذایی، رشد ریشه.

مقدمه

شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) گیاه دولپه‌ای و یکساله متعلق به خانواده لگومینوز (Leguminosae)، بومی جنوب اروپا، آسیا و منطقه مدیترانه است (Sarwar et al., 2020). شنبلیله دارای شاخه های نازک و برگ‌هایی شبیه برگ‌های شبدر و دارای سه برگچه می‌باشد. این گیاه دارای یک ساقه اصلی و تعدادی شاخه با برگ‌های بدون دم‌برگ است که به ساقه متصل بوده و ارتفاع آن به ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر می‌رسد و ریشه‌ی آن تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متر در خاک نفوذ می‌کند (Siavash moghadam et al., 2017). از اثرات درمانی این گیاه می‌توان به ضد درد، ضد التهاب، ضد سرطان، کاهش دهنده کلسترول خون و کنترل کننده بیماری دیابت اشاره کرد (Mandegary et al., 2012).

استفاده از کودهای زیستی در کنار مصرف سنجیده و علمی کودهای شیمیایی می‌تواند راه‌حل مناسبی برای کاهش آلودگی‌های محیط زیست باشد (Asadirahmani et al., 2012). کودهای زیستی شامل ریزجاندارانی از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها، سیانوباکتری‌ها و غیره می‌باشند که ساختار و کیفیت خاک را بهبود می‌بخشند و خاک را از نظر مواد مغذی تقویت می‌نمایند. قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا در بسیاری از خاک‌ها وجود دارند و با ریشه اکثر گونه‌های گیاهی رابطه همزیستی برقرار می‌کنند. همزیستی قارچ‌ها با گیاهان شناخته‌شده‌ترین، گسترده‌ترین و مهم‌ترین روابط همزیستی در کره زمین است که با افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب عناصر معدنی از خاک و منابع غیرقابل دسترس گیاه، باعث بهبود عملکرد و کیفیت گیاه می‌شود (Zand et al., 2014). در حال حاضر استفاده از قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا به‌عنوان کودهای زیستی، کاربرد فراوانی در سیستم‌های کشاورزی پایدار برای افزایش کمیت و کیفیت محصولات زراعی و باغی دارند (Wang et al., 2021).

قارچ‌های میکوریزا علاوه بر رشد و نمو، در افزایش

مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. این قارچ‌ها دارای هیف‌های گسترده‌ای هستند که در شرایط کم‌آبی یا شوری می‌توانند با افزایش سطح جذب و سرعت جذب ریشه، رشد گیاهان را بهبود بخشند (Afkari, 2018). نتایج بررسی محققین نشان می‌دهد همزیستی گیاه و قارچ‌های میکوریزا، راهکار مفید برای افزایش مواد آلی خاک، تقویت جمعیت میکروبی خاک و افزایش کارایی مصرف نهاده‌های کشاورزی به‌خصوص آب آبیاری می‌باشد (Aghhavan shajari et al., 2015; Hussain et al., 2021). تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر تنوع زیستی گیاه به قدرت همزیستی بین گیاه و قارچ، پاسخ رشدی گیاه به تلقیح میکوریزا و میزان انتقال مواد مغذی از قارچ به گیاه میزبان بستگی دارد (Jiang et al., 2017).

بر اساس گزارش Rahimi و همکاران (۲۰۱۹) تلقیح با قارچ میکوریزا با تنظیم سیستم‌های آنتی‌اکسیدان موجب بهبود رشد گیاه شنبلیله شد. افزایش رشد و زیست توده گیاه شنبلیله تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزا توسط Bijani و همکاران (۲۰۱۵) و Irankhah و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش شده است. یافته‌های Azimi و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار زیست‌توده در گیاه آویشن باغی نیز شد. در حال حاضر با افزایش جمعیت جهان و لزوم تأمین منابع غذایی سالم برای این جمعیت رو به رشد، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی و جایگزینی آن‌ها با کودهای زیستی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. باتوجه به اهمیت بالای گیاه شنبلیله در صنایع غذایی و دارویی در این پژوهش اثر تلقیح ۱۰ گونه قارچ میکوریزا مربوط به جنس‌های مختلف بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌فرعی، تعداد گره، طول میانگره، طول و عرض برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه شنبلیله مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی و مقایسه اثر تلقیح ۱۰ گونه قارچ آربوسکولار مایکوریزا بر زیست توده کل و جذب عناصر غذایی گیاه شنبلیله در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. ۱۰ گونه قارچ مورد مطالعه متعلق به ۷ جنس:

Racocetra
Rhizophagus
Claroideoglomus
Funneliformis
Diversispora
Acaulospora
Gigaspora

بود. تیمارهای این آزمایش شامل تلقیح گیاه شنبلیله با گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا:

Racocetra castanea
Rhizophagus intraradices
Claroideoglomus etunicatum
Claroideoglomus claroideum
Funneliformis mosseae
Rhizophagus fasciculatus
Diversispora versiformis
Funneliformis caledonium
Acaulospora longula
Gigaspora margarita

و تیمار شاهد (خاک غیراستریل) بود. از آنجایی که هدف از این مطالعه بررسی تأثیر و مقایسه مایه‌زنی گونه‌های مختلف قارچ‌های مایکوریزا در شرایط طبیعی بود، جهت مشابهت‌سازی با شرایط مزرعه بستر کشت مورد استفاده استریل نشد. براساس بررسی‌های انجام شده بیشترین میکروارگانیسم‌های موجود در خاک مورد استفاده باکتری‌های ریزوبیوم و حل کننده فسفات بود. مایه تلقیح قارچ‌های مایکوریزا که به‌طور میانگین ۸۵ تا ۱۰۰ اسپور در هر گرم مایه تلقیح بود از شرکت زیست‌فناور توران مایکوپرسیکا در شاهرود تهیه شد. مایه تلقیح مایکوریزا قبل از کاشت بذرها با کل بستر کشت که حاوی ۱۰ کیلوگرم خاک بود به‌صورت یکنواخت مخلوط گردید. در تمام ده گونه قارچ مایکوریزای مورد مطالعه در این پژوهش مقدار

مصرف هر گونه قارچ مایکوریزا در تیمارهای آزمایشی براساس توصیه شرکت ۳۰۰ گرم برای هرگلدان با قطر دهانه ۳۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر بود. گلدان‌ها با نسبت حجمی ۱:۱:۱ از ماسه، خاک باغچه و خاک‌برگ پر گردید. پس از تهیه مخلوط خاکی، بذره‌های گیاه شنبلیله که توده بومی مشهد بوده و در منطقه مورد مطالعه کشت و کار می‌گردد، با هیپوکلریت سدیم ۳ درصد به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر فراوان آبشویی شدند. بذور در ۵ فروردین ۱۴۰۰ در گلدان‌ها کشت و گیاهان تا مرحله تولید بذر (خرداد ۱۴۰۰) نگهداری شدند.

ارزیابی خصوصیات رشدی و عملکردی

به‌منظور بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا بر خصوصیات رشدی و عملکردی شنبلیله صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد گره، طول میانگره، طول و عرض برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین این پارامترها میانگین ۳ بوته برای هر تکرار ثبت شد. اندازه‌گیری صفات در مرحله تشکیل غلاف (۹۰ روز پس از کاشت بذر) انجام گردید. جهت اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، فاصله میانگره‌ها، طول و عرض برگ و طول ریشه از خط‌کش استفاده شد. جهت تعیین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه از ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. اندام هوایی و ریشه بلافاصله بعد از برداشت وزن و برای تعیین وزن خشک، در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار داده و سپس توزین شدند.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

برای تعیین وضعیت آب گیاه، محتوای نسبی آب برگ (RWC) اندازه‌گیری شد. ابتدا نمونه‌های برگ را تهیه نموده و سپس وزن تر آن‌ها (FW) اندازه‌گیری و در مرحله بعد روی شیکر به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. بعد از ۲۴ ساعت وزن آماس (TW) نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سپس

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس یک عاملی (One way ANOVA) با استفاده از Minitab 18 برای آنالیز داده‌های جمع‌آوری شده استفاده شد. مقایسه میانگین صفات نیز با آزمون چنددامنه‌ای Bonferroni در سطح احتمال ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

ارزیابی خصوصیات رشدی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق که شامل ۱۰ گونه قارچ میکوریزا بود بر کلیه صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه در گیاه شنبلیله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تلقیح میکوریزا به‌طور معنی‌داری ارتفاع بوته‌های شنبلیله را افزایش داد. کمترین ارتفاع بوته در تیمار شاهد دیده شد و بیشترین ارتفاع بوته مربوط به گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *R. castanea* بود که ۳۷/۳۶ درصد بیشتر از گیاهان شاهد بود (جدول ۲).

بیشترین تعداد شاخه‌فرعی در گیاهان تلقیح‌شده با *F. mosseae* حاصل شد که با تیمار قارچ‌های *C. etunicatum* و *claroideum* تفاوت معنی‌داری نداشت، به‌طوری‌که تعداد شاخه‌فرعی در این تیمارها نسبت به شاهد ۳۶/۳۵ درصد افزایش داشت (جدول ۲). بیشترین فاصله میانگره در تلقیح با قارچ *R. castanea* حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۴۶/۸۵ درصد افزایش داشت، در مقابل کمترین طول میانگره در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *F. mosseae* مشاهده شد که با شاهد و قارچ‌های *R. intraradicese* و *claroideum* تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). براساس نتایج به‌دست آمده بیشترین تعداد گره مربوط به تلقیح گیاهان با قارچ *G. claroideum* بود که نسبت به تیمار شاهد ۲۹/۸۹ درصد افزایش داشت (جدول ۲).

به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری شد (Sánchez-Moreno et al., 1998). درصد محتوای نسبی آب برگ از فرمول زیر تعیین گردید:

$$RWC\% = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100$$

اندازه‌گیری غلظت عناصر در برگ شنبلیله

نیتروژن

جهت اندازه‌گیری میزان نیتروژن، ۰/۳ گرم از نمونه خشک آسیاب شده گیاه در لوله هضم ریخته شد. سپس ۱/۱ گرم کاتالیزور همراه با ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به آن افزوده شد و مخلوط حاصل در لوله آزمایش به مدت ۲ ساعت روی دستگاه هضم قرار گرفت. بعد از سردشدن محتویات لوله، مقدار ۲۰ میلی‌لیتر سود ۱۰ نرمال و ۳۰ میلی‌لیتر محلول اسید بوریک اضافه شد و سپس با اسیدسولفوریک ۰/۰۰۵ نرمال عمل تیتراسیون صورت گرفت. براساس میلی‌لیتر اسیدسولفوریک مصرف شده، میزان نیتروژن به صورت درصد نیتروژن موجود در نمونه با ماکروکجدال اندازه‌گیری شد (Emami, 1996).

پتاسیم، فسفر، منیزیم، کلسیم، آهن، روی، منگنز، مس، بور

بعد از کالبره نمودن دستگاه توسط استانداردهای مورد نیاز، مقدار عناصر پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن، کلسیم، روی، منگنز، مس و بور با دستگاه ICP (مدل ICP-OES) اندازه‌گیری شد. به این منظور ۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک غلیظ به ۰/۱۲۵ گرم از بافت خشک برگ اضافه گردید. سپس به مدت ۲۴ ساعت در زیر هود قرار داده تا هضم اسیدی صورت گیرد و در زیر هود حرارت داده شده تا بخارات اسیدی از آن خارج شود. در نهایت، حجم محلول با آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و از کاغذ صافی عبور داده شد. از محلول شفاف رویی جهت اندازه‌گیری مقدار عناصر مذکور در دستگاه ICP استفاده گردید (Asadi karam et al., 2016).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر قارچ‌های میکوریزا بر ویژگی‌های رشدی گیاه شنبلیله

Table 1- Analysis of variance effect of mycorrhiza fungi on growth characteristic of fenugreek

S.O.V	df	MS											
		Plant height	Branch number	Internode length	No. nodes	Leaf length	Leaf width	Fresh weight of aerial parts	Dry weight of aerial parts	Root length	Fresh weight of roots	Dry weight of roots	Relative water content
Mycorrhiza	10	29.1934**	0.67652**	0.58838**	3.3023**	0.06338**	0.11927**	10.8100**	1.38971**	11.1691**	0.009782**	0.001016**	438.84**
Error	22	0.1129	0.04545	0.08408	0.2341	0.01135	0.01410	0.0285	0.00125	0.0313	0.000152	0.000167	46.48
CV (%)	-	8.24	4.21	10.32	6.36	10.32	14.32	9.36	12.32	8.32	12.32	8.07	9.11

معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد**

**Significance at the 1% probability level

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر قارچ‌های میکوریزا بر خصوصیات رشدی گیاه شنبلیله

Table 2- Mean comparisons of mycorrhiza fungi effect on growth characteristics of fenugreek

Mycorrhiza fungi	Plant height (cm)	Branch number	Internode length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Fresh weight of aerial parts (g)	Dry weight of aerial parts (g)	Number of nodes	Root length (cm)	Fresh weight of roots (cm)	Dry weight of roots (cm)	Relative water content (%)
Control	26.57 ⁱ	2.75 ^c	2.71 ^c	3.11 ^{abc}	1.58 ^{bc}	4.38 ^f	1.33 ^g	9.33 ^{cd}	13.5 ^{cd}	0.22 ^{bc}	0.05 ^b	30.66 ^d
<i>F. mosseae</i>	30.16 ^{ef}	3.75 ^a	2.58 ^c	2.96 ^{bc}	1.50 ^{bc}	3.02 ^g	1.462 ^f	9.42 ^{cd}	11.5 ^f	0.14 ^e	0.04 ^b	67.67 ^{ab}
<i>C. etunicatum</i>	26.92 ⁱ	3.17 ^{abc}	3.11 ^{abc}	3.23 ^{ab}	1.50 ^{bc}	4.57 ^f	1.35 ^g	11.11 ^{ab}	14.25 ^{ab}	0.23 ^{bc}	0.05 ^b	50.40 ^{bcd}
<i>C. claroideum</i>	34.57 ^b	3.50 ^{ab}	2.88 ^c	2.87 ^c	1.43 ^{bc}	6.52 ^d	2.01 ^e	12.12 ^a	13.75 ^{bc}	0.24 ^{bc}	0.06 ^b	60.60 ^{abc}
<i>F. caledonum</i>	29.75 ^{fg}	2.66 ^{cd}	2.99 ^{bc}	3.04 ^{abc}	1.61 ^{bc}	7.16 ^c	1.97 ^e	10.36 ^{bc}	8.62 ^h	0.21 ^{cd}	0.06 ^b	52.32 ^{bc}
<i>R. intraradicese</i>	28.32 ^h	2.50 ^{cd}	2.72 ^c	3.33 ^a	2.08 ^a	8.26 ^b	2.48 ^c	9.84 ^{bcd}	13.12 ^{de}	0.16 ^{de}	0.07 ^{ab}	55.74 ^{abc}
<i>R. fasciculatum</i>	28.90 ^{gh}	2.00 ^d	3.11 ^{abc}	3.15 ^{abc}	1.39 ^c	5.69 ^e	2.66 ^b	8.66 ^d	12.75 ^e	0.21 ^c	0.07 ^{ab}	40.69 ^{cd}
<i>A. langula</i>	31.17 ^{de}	2.75 ^c	3.22 ^{abc}	3.27 ^{ab}	1.43 ^{bc}	8.39 ^b	3.05 ^a	9.33 ^{cd}	14.37 ^a	0.27 ^b	0.11 ^a	57.26 ^{abc}
<i>R. castanea</i>	36.50 ^a	3.00 ^{bc}	3.98 ^a	2.95 ^{bc}	1.45 ^{bc}	9.25 ^a	3.08 ^a	10.77 ^{abc}	11.25 ^f	0.30 ^a	0.09 ^{ab}	58.70 ^{abc}
<i>D. versiforms</i>	33.03 ^c	2.75 ^c	3.83 ^{ab}	3.16 ^{abc}	1.65 ^{bc}	6.75 ^{cd}	3.034 ^a	11.15 ^{ab}	11.25 ^f	0.30 ^a	0.08 ^{ab}	75.20 ^a
<i>G. margarita</i>	32.00 ^{cd}	2.83 ^{bc}	3.16 ^{abc}	3.245 ^{ab}	1.76 ^{ab}	5.62 ^e	2.34 ^d	10.90 ^{ab}	9.37 ^g	0.13 ^e	0.07 ^{ab}	59.40 ^{abc}

در هر ستون اعداد با حروف یکسان بر اساس آزمون بونفرونی اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

In each column, numbers with at least one similar letter based on the Bonferoni test do not differ significantly at the 1% probability level

versiform حاصل شد که ۱۴۵/۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت شد که تفات معنی داری با تیمار *G. mosseae* نداشت. کمترین مقدار این صفت در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۲).

عناصر غذایی برگ

با توجه به نتایج جدول آنالیز واریانس داده‌ها اثر گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا بر جذب عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز، مس و بور در برگ گیاه شنبلیله در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). براساس نتایج تمامی قارچ‌های مورد استفاده میزان نیتروژن را نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین میزان نیتروژن در گیاهان تیمار شده با قارچ *R. intraradicese* (۳/۸۹ درصد) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد (۲/۴۴ درصد) ۵۹/۴۲ درصد بیشتر بود (جدول ۴). بیشترین میزان جذب فسفر در برگ شنبلیله در تیمارهای *D. versiformis* و *C. clarioideum* ثبت گردید که میزان فسفر در این تیمارها ۱۶/۲۳ و ۱۴/۹۳ بیشتر از شاهد بود (جدول ۴). کاربرد مایکوریزا میزان پتاسیم برگ را نیز در گیاه شنبلیله تحت تأثیر قرار داد به طوری که بیشترین میزان پتاسیم در برگ شنبلیله در تلقیح گیاهان با قارچ‌های *R. fasciculatum*، *F. mosseae* و *C. clarioideum* بوده که به ترتیب با افزایش ۲/۰۳، ۱/۳۲ و ۰/۴۴ درصد میزان پتاسیم نسبت به شاهد همراه بودند (جدول ۴). بیشترین میزان جذب منیزیم در گیاه شنبلیله در تلقیح گیاهان با قارچ *F. mosseae* بوده که نسبت به تیمار شاهد ۱۱/۳۹ درصد بیشتر بود (جدول ۴). میزان کلسیم در گیاهان تیمار شده با قارچ *R. castanea*، ۲۰/۱۹ درصد بیشتر از شاهد بود که نشان دهنده تأثیر این قارچ بر جذب عناصر غذایی گیاه میزبان است (جدول ۴). بیشترین میزان عنصر آهن در تیمار با قارچ *D. versiformis* حاصل شد. مقدار آهن به جز دو گونه قارچ *R. castanea* و *A. langula* در تمامی گونه‌های دیگر نسبت به شاهد افزایش داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد

بیشترین طول و عرض برگ در گیاهان تلقیح شده با قارچ *R. intraradicese* ثبت شد که نسبت به شاهد به ترتیب ۷/۰۶ و ۳۱/۶۳ درصد بیشتر بود (جدول ۲). نتایج حاکی از آن بود که بیشترین وزن تر اندام هوایی مربوط به گیاهان تلقیح شده با قارچ *R. castanea* بود که ۱۱۱/۶۶ درصد (بیش از دو برابر) نسبت به شاهد بیشتر بود. در صورتی که قارچ *F. mosseae* موجب کاهش ۳۰/۸۸ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۲). بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های *R. castanea*، *A. langula* و *D. versiformis* بود که ۱۳۳/۵۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشتند. کمترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار شاهد حاصل شد که تفاوت معنی داری با تیمار قارچ *C. etunicatum* نداشت (جدول ۲).

مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر آن بود که تلقیح با قارچ‌های مایکوریزا به طور مؤثری طول ریشه گیاه شنبلیله را افزایش داده است. بیشترین طول ریشه در تلقیح با قارچ *A. langula* مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۶/۴۳ درصد افزایش داشت (جدول ۲). بیشترین وزن تر ریشه مربوط به تیمار گیاهان با قارچ‌های *R. castanea* و *D. versiform* با افزایش ۳۶/۳۵ درصد وزن تر ریشه نسبت به شاهد بودند. کمترین وزن تر ریشه در تیمار با قارچ‌های *G. margarita* و *F. mosseae* ثبت شد که ۴۰/۹۱ و ۳۶/۳۵ درصد کمتر از شاهد بود (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار گیاهان با قارچ *A. langula* با افزایش ۱۲۰ درصد وزن تر ریشه نسبت به شاهد بود و در مقابل کمترین وزن خشک ریشه در گیاهان تیمار شده با قارچ *F. mosseae* ثبت گردید (جدول ۲).

محتوای نسبی آب برگ

تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده اثر معنی دار تلقیح با قارچ‌های مایکوریزا بر محتوای نسبی آب برگ در گیاه شنبلیله بود (جدول ۱). بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۷۵/۲۰ درصد) در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G.*

رویشی گیاه بالا می‌رود (Nadeem et al., 2014; Zolfaghari et al., 2014; Mbusango et al., 2019). در واقع طی همزیستی با مایکوریزا حدود ۸۰ درصد از نیتروژن و فسفر میزبان فراهم می‌شود و این نشان‌دهنده این است که این قارچ‌ها یک جزء ضروری در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی هستند و عاملی مهم در بهبود جذب و رشد مواد مغذی گیاه میزبان می‌باشند (Van der heijden et al., 2015; Zang et al., 2020). البته این همزیستی براساس ریشه میزبان و ویژگی‌های مورفولوژیک قارچ همزیست متفاوت بوده و بر میزان جذب عناصر تأثیرگذار است (Aghababiyi et al., 2011). در میان مواد مغذی، نیتروژن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار بوده زیرا در ساختار برخی از ترکیبات ماکرو و میکرو آلی گیاهی شامل کلروفیل، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه وجود دارد. در نتیجه عاملی تأثیرگذار در عملکرد گیاه بوده و میزان جذب آن در اثر تلقیح با قارچ‌های مایکوریزا افزایش می‌یابد و در نهایت رشد گیاه را باعث می‌شود که در تولید محصول، بیش از سایر عناصر غذایی مورد نیاز است (Latef and Chaoping, 2017; Baghbani arani et al., 2011). تأثیر کاربرد قارچ مایکوریزا در گیاه کاسنی، تنباکو، آویشن باغی و همیشه-بهار نشان داد که صفات رشدی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌فرعی، شاخه گل‌دهنده و وزن خشک گل، تعداد شاخ و برگ، وزن خشک برگ، سطح برگ و وزن خشک ساقه، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، طول ریشه و جذب عناصر معدنی در اثر همزیستی بهبود یافته است. زیرا مایکوریزا با بیشتر در دسترس قرار دادن میزان فسفر، منگنز و آهن در اندام هوایی میزبان باعث بهبود رشد آن می‌شود (Yazdan panah gohari et al., 2012; Dolatabadi et al., 2019; Kheyri et al., 2020; Mesbah et al., 2021).

که بیشترین میزان روی در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *clarideum* حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۷۶/۰۵ درصد افزایش داشت و به جز گونه فوق، سایر گونه‌ها میزان روی را نسبت به شاهد کاهش دادند (جدول ۴). در تمامی گونه‌های تلقیح‌شده با شنبلیله به جز *G. margarita* میزان منگنز نسبت به شاهد افزایش داشت. بیشترین میزان منگنز در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *D. versiformis* مشاهده شد (جدول ۴).

میزان عنصر مس در تلقیح با تمامی قارچ‌ها نسبت به شاهد افزایش داشت. بیشترین میزان مس در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. margarita* حاصل شد که میزان مس را ۱۸۲/۱۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۴). همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا به‌طور معنی‌داری میزان بور را در گیاه شنبلیله تحت تأثیر قرار داد. بیشترین بور در گیاهان تلقیح شده با *F. mosseae* و کمترین میزان آن در تلقیح با قارچ *D. versiformis* حاصل شد که به‌ترتیب همراه با افزایش ۷۳/۱۸ و کاهش ۷۷/۵۷ درصدی این عنصر نسبت به شاهد بود (جدول ۴).

قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا (AMF) از مهم‌ترین کودهای زیستی هستند که در اغلب مناطق وجود دارند و با ریشه اکثر گونه‌های گیاهی رابطه همزیستی دارند (Sadhana et al., 2014). هیف مایکوریزا به داخل سلول‌های قشر ریشه نفوذ می‌کند و ساختاری تحت عنوان آربوسکول را تشکیل می‌دهند که واسطه‌ای برای تبادل متابولیت‌ها بین قارچ و سیتوپلاسم میزبان است. نتایج یک مطالعه نشان داد که در بین گونه‌های مختلف مایکوریزا، گونه *F. mosseae* و گونه *R. intraradices* به‌ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر افزایش شاخص‌های رویشی داشته‌اند، زیرا این قارچ‌ها از طریق گسترش عملکرد سیستم ریشه گیاه، در به دست آوردن آب اهمیت بسزایی دارند و با ایجاد همزیستی بر روی ریشه میزبان، سطح تماس ریشه با خاک را افزایش داده و در اثر افزایش جذب عناصر خصوصاً عناصر غیرقابل دسترس برای ریشه، رشد

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر قارچ‌های میکوریزا بر میزان جذب عناصر غذایی گیاه شنبلیله
Table 3- Analysis of variance effect of mycorrhiza fungi on absorption of nutrients of fenugreek

S.O.V	df	MS									
		N	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Mycorrhiza	10	29.1934**	0.009782**	11.1691**	3.3023**	1.38971**	10.8100**	0.06338**	0.11927**	0.58838**	0.67652**
Error	22	0.1129	0.000152	0.0313	0.2341	0.00125	0.0285	0.01135	0.01410	0.08408	0.04545
CV (%)	-	8.11	10.34	6.65	7.41	9.07	12.74	5.98	6.87	14.30	16.07

معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد
** Significance at the 1% probability level

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر قارچ‌های میکوریزا بر میزان جذب عناصر غذایی در برگ گیاه شنبلیله
Table 4- Mean comparisons of mycorrhiza fungi effect on absorption of nutrients of fenugreek

Mycorrhiza fungi	N	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	%					mg kg ⁻¹ DW				
Control	2.44 ^b	0.15 ^d	1.13 ^a	0.79 ^c	5.01 ^c	144.86 ⁱ	65.57 ^f	379.20 ^b	143.68 ^h	211.20 ^g
<i>F. mosseae</i>	1.75 ^{ef}	0.06 ^j	1.14 ^a	0.88 ^a	5.65 ^b	160.77 ^h	92.66 ^b	316.12 ^f	163.45 ^g	365.77 ^a
<i>C. etunicatum</i>	1.67 ^{ef}	0.13 ^g	0.99 ^b	0.70 ^e	5.08 ^c	294.36 ^d	65.72 ^f	256.95 ^g	282.04 ^e	295.57 ^b
<i>C. claroideum</i>	1.89 ^{de}	0.18 ^a	1.14 ^a	0.73 ^d	5.62 ^b	367.46 ^c	83.19 ^c	667.60 ^a	213.87 ^e	295.56 ^b
<i>F. caledonum</i>	2.40 ^d	0.13 ^f	0.76 ^d	0.80 ^{bc}	5.72 ^b	197.91 ^f	73.43 ^d	327.04 ^e	157.67 ^g	254.21 ^d
<i>R. intraradices</i>	3.89 ^a	0.16 ^b	0.83 ^c	0.65 ^f	5.25 ^c	614.92 ^b	73.81 ^d	172.63 ^j	243.93 ^d	231.47 ^f
<i>R. fasciculatum</i>	2.70 ^b	0.12 ^h	1.153 ^a	0.62 ^g	5.12 ^c	177.76 ^g	72.32 ^e	368.08 ^c	167.20 ^{fg}	209.49 ^h
<i>A. langula</i>	2.52 ^b	0.16 ^c	1.11 ^a	0.64 ^{fg}	5.01 ^c	102.59 ^j	63.39 ^g	349.02 ^d	356.69 ^b	257.74 ^c
<i>R. castanea</i>	2.17 ^{cd}	0.15 ^e	1.04 ^b	0.82 ^b	6.03 ^a	108.68 ^j	72.49 ^e	204.04 ⁱ	175.73 ^f	235.12 ^e
<i>D. versiformis</i>	1.65 ^{ef}	0.18 ^a	0.54 ^e	0.33 ⁱ	0.98 ^e	1918.35 ^a	96.73 ^a	221.70 ^h	162.58 ^g	47.36 ^j
<i>G. margarita</i>	1.51 ^f	0.09 ⁱ	0.72 ^d	0.52 ^h	3.84 ^d	275.35 ^e	60.61 ^h	126.58 ^k	405.39 ^a	163.81 ⁱ

در هر ستون اعداد با حروف یکسان بر اساس آزمون بونفرونی اختلاف معنی‌داری با هم ندارند
In each column, numbers with at least one similar letter based on the Bonferoni test do not differ significantly at the 1% probability level.

مشاهده شد که احتمالاً به این دلیل است که مایکوریزا با برقراری همزیستی با گیاه میزبان پیوندهای همزیستی مفیدی برقرار نموده که باعث اصلاح سیستم ریشه و افزایش تحرک و جذب چندین عنصر ضروری شده در نتیجه نقش حیاتی در رشد گیاه دارند و تعداد گره و میزان لگ هموگلوبین این گیاه در شرایط تیمار با مایکوریزا نسبت به شاهد چه در شرایط تنش و چه در شرایط عادی بالاتر می‌رود (Hashem et al., 2016) و با پژوهش حاضر هم‌خوانی داشته به‌طوری‌که تلقیح با *F. mosseae* تعداد شاخه‌فرعی و تلقیح با *A. langula* طول ریشه و وزن خشک ریشه را نسبت به شاهد افزایش داد. طبق گزارش Moteszarezhadeh et al. (2017) بیشترین وزن خشک اندام هوایی و مواد مغذی فسفر، آهن و روی در تیمار گیاه ذرت علوفه‌ای با *R. intraradice* نسبت به *F. mosseae* به‌دست آمد. همچنین مشخص شد بین همزیستی مایکوریزایی و مقدار جذب عناصر فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز گیاه با برخی از شاخص‌های رشد ذرت مانند عملکرد خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع، سطح برگ و قطر ساقه رابطه مستقیمی وجود دارد و این همزیستی باعث بهبود جذب عناصر غذایی می‌شود (Bustani and Farkhonejad, 2018). به‌طورکلی استفاده از کودهای زیستی به‌طور قابل توجهی باعث بهبود رشد رویشی و زایشی و همچنین جذب مواد مغذی در شنبلیله شد. بنابراین برای گیاه شنبلیله کود زیستی توصیه می‌شود؛ زیرا این کودها سیستم ریشه‌ای را بهبود بخشیده و ریشه‌های عمیق‌تر و فراوان‌تری ایجاد کرد و باعث جذب بهتر مواد مغذی در نتیجه بهبود خصوصیات رشدی این گیاه می‌شود (Chiachi et al., 2015).

نتیجه‌گیری کلی

قارچ‌های مایکوریزا از مهم‌ترین کودهای بیولوژیک هستند که امروزه کاربرد فراوانی در نظام‌های کشاورزی پایدار دارند. این قارچ‌ها به‌منظور افزایش کیفیت و پایداری

طی پژوهش Poralی و همکاران (۲۰۱۴) روی گیاه آلئوئورا نشان داد که کاربرد گونه *R. intraradices* مایکوریزا بر شاخص‌هایی نظیر وزن تر و خشک گیاه، وزن تر و خشک ریشه، حجم ریشه، سطح برگ اثر دارد؛ زیرا جذب عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن در گیاه آلئوئورا تحت تأثیر قرار داده و زمانی که این قارچ توأم با دو سویه باکتری *Pseudomonas fluorescens* و *Pseudomonas* به کار برده شد صفات مزبور و کمیت و کیفیت گیاه به شدت تحت تأثیر قرار گرفت و نسبت به شاهد تأثیر معنی‌داری داشت. این مطالعه با نتایج حاصل از این پژوهش هم‌خوانی داشت و همزیستی با *R. intraradices* میزان وزن تر و خشک گیاه، وزن تر و خشک ریشه را با افزایش محتوای نسبی آب و جذب بیشتر عناصر غذایی نسبت به شاهد بهبود بخشید. طبق گزارش Sohrabi و همکاران (۲۰۱۸) در اثر تلقیح نخود با سه گونه قارچ *D. versiformis*، *R. intraradices* و *C. etunicatum* چه در شرایط تنش و چه بدون تنش، گیاهان تلقیح‌شده دارای رشد و عملکرد بهتری در مقایسه با شاهد بودند. زیرا مایکوریزا با افزایش جذب آب و عناصر غذایی، سبب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاه نخود گردید و راهکاری مناسب جهت افزایش عملکرد است. در پژوهش حاضر هم نتایج نشان‌دهنده آن است که در اثر تلقیح با قارچ‌های *A. langula*، *R. castaneae* و *D. versiformis* وزن تر و خشک گیاه نسبت به شاهد افزایش چشم‌گیری داشته است. زیرا محتوای نسبی آب گیاه و جذب عناصر غذایی در این تیمارها نسبت به شاهد بهبود یافته است.

Mazarei و همکاران (۲۰۱۷)، طی پژوهشی تأثیر سه گونه قارچ مایکوریزا *D. versiformis*، *R. intraradices* و *F. mosseae* بر گیاه دارویی خارمریم روی صفاتی شامل تعداد برگ، وزن خشک برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه-فرعی، وزن خشک ساقه، طول و وزن خشک ریشه نشان دادند و بالاترین میزان این صفات در تلقیح با *F. mosseae*

Iran: Opportunities and Challenges 26(1): 77 – 87.

Azimi, R., Warrior, M. and Asghari, H. R. 2013. The effect of mycorrhizal fungus inoculation on the initial establishment and morphological characteristics of the medicinal plant *Thyme* in the natural field. *Agricultural Research of Iran* 11 (4): 666-676.

Baghbani Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojari, M. and A. Mokhtassi Bidgoli. 2017. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops and Products* 109: 346-357.

Bijhani, M., Yadollahi, P., Asgharipour, M. R. and Heydari, M. 2015. The effect of mycorrhizal inoculation of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) on its yield and some physiological characteristics under drought conditions. *Journal of Crop Ecophysiology* 9 (3): 337-352.

Bustani, H.R. and A. Farkhondejad. 2018. Effect of growth-promoting bacteria, mycorrhizal fungus salinity stress on the uptake of some nutrients by maize (*Zea mays* L.). *Plant Process and Function* 7(24): 39-52.

Chaichi, M. R., Dadresan, M., Hosseini, M. B., Pourbabaie, A., Yazdani, D. and Zandvakili, O. R. 2015. Effect of bio fertilizers on the growth, productivity and nutrient absorption of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *International Journal of Agriculture Innovations and Research* 3(5): 2319-1473.

Dolatabadi, H., Mohammadi Goltapeh, E., Moieni, A. and Varma, A. 2012. Evaluation of different densities of auxin and endophytic fungi (*Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera*) on *Mentha piperita* and *Thymus vulgaris* growth. *Journal of Biotechnology* 11(7): 1644-1650.

Emami, A. 1996. Plant decomposition methods. Soil and Water Research Institute Publications, Tehran.

Hashem, A., Abd Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Al-Huqail, A. A., Wirth, S. and D. Egamberdieva. 2016. The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of *Acacia gerrardii* under salt stress. *Frontiers in Microbiology* 7: 1089.

Hussain, H. A., Qingwen, Z., Hussain, S., Hongbo, L., Waqqas, A. and Li, Z. 2021. Effects of Arbuscular mycorrhizal fungi on maize growth, root colonization, and root exudates varied with inoculum and application method. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 21(2): 1577-1590.

عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی و باغی به‌ویژه در گیاهان دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرند. باتوجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان چنین اظهار نمود که میان اکثر گونه‌های قارچ میکوریزای مورد استفاده در این تحقیق با ریشه گیاه شنبلیله، همزیستی بالایی برقرار شد، به‌گونه‌ای که صفات اندازه‌گیری شده در اغلب تیمارهای تلقیح‌شده با گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری داشتند؛ که علت آن را می‌توان ناشی از بهبود روابط آبی گیاه و جذب بهتر عناصر غذایی توسط قارچ‌های میکوریزا دانست که منجر به افزایش رشد و بهبود خصوصیات رشدی از جمله وزن تر و خشک گیاه شنبلیله گردید. طبق نتایج این مطالعه تلقیح گیاه شنبلیله با قارچ‌های *R. castanea*, *C. claroideum* و *R. intraradices* می‌تواند شرایط را جهت بهبود عملکرد و کیفیت گیاه سبزی-دارویی شنبلیله فراهم نموده و به-عنوان کود بیولوژیک، جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی گردند.

منابع

Afkari, A. 2019. Investigation of the coexistence of mycorrhizal arbuscular fungi on some physiological traits of Single Cross 704 hybrid maize under water stress. *Journal of Developmental Biology* 11(3): 86-75.

Aghababaei, F., Raisi, F. and H. Nadia, 2011. The effect of mycorrhizal symbiosis on nutrient uptake by some commercial almond genotypes in a sandy loam soil. *Soil Research* 25(2): 138-147.

Aghwani Shajari, M., Rezvani Moghadam, P., Ghorbani, R. and M. Nasiri Mahallati. 2015. Effects of application of organic fertilizers, science. *Biochemical on quantitative and qualitative yield of coriander (Coriandrum sativum)*, *Horticultural Sciences* 29(4): 486-500.

Asadi Karam, A., Asrar, Z. and B. Keramat. 2016. The effect of methyl jasmonate application on proline content and uptake of copper, iron, zinc and magnesium in *Lepidium sativum* under copper toxicity. *Journal of Plant Research* 29(2): 253-243.

Asadi Rahmani, H., Khavazi, K., Asgharzadeh, A., Rajali, F. and M. Afshari. 2012. Biofertilizers in

- colonization and some characteristics of stevia root in soilless cultivation system. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 29(2): 189-204.
- Motesharezadeh, B., Ahmadiyan, E., Alikhani, H. A. and Azarnivand, H. 2017. The use of coal gangue as a cultivation bed conditioner in forage maize inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48(11): 1266-1279.
- Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A. and Ashraf, M. 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances* 32(2): 429-448.
- Pour Ali, Sh., Hatamzadeh, A. and Ehteshami, S. M. R. 2015. Investigation of mycorrhizal symbiosis and growth-promoting bacteria on quantitative and qualitative characteristics of *Aloe vera*. *Iranian Seed Science and Research* 2(2): 61-70.
- Rahimi, A., Dovlati, B., Amirnia, R. and Heydarzade, S. 2019. Effect of application of mycorrhizal fungus and *Azotobacter* on physiological characteristics of *Trigonella foenum-graecum* L. under water stress conditions. *Iranian Journal of Plant Biology* 11(4): 1-18.
- Sadhana, B. 2014. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) as a biofertilizer-a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 3(4): 384-400.
- Sarwar, S., Hanif, M. A., Ayub, M. A., Boakye, Y. D. and Agyare, C. 2020. Fenugreek. In *Medicinal Plants of South Asia* (pp. 257-271). Elsevier.
- Siavash Moghadam, S., Rahimi, A., Heidarzadeh, S., Moradzadeh, S. and Hasanlu, M. 2017. The symbiotic effect of mycorrhiza on yield and biochemical properties of fenugreek. *Journal of Medicinal Plants Biotechnology* 3(1): 40-52.
- Sohrabi, Y., Visani, W., Heidari, Gh. R., Mohammadi, Kh. and Ghasemi Golazani, Gh. 2018. The effect of several species of mycorrhiza fungi on the growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences* 12(2): 507-524.
- Van der Heijden, M. G., Martin, F. M., Selosse, M. A. and Sanders, I. R. 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist* 205(4): 1406-1423.
- Wang, Y. H., Zhang, N. L., Wang, M. Q., He, X. B., Jiang, J., Moore, J. A., Priyadarshi, A. and Classen, A. T. 2017. Plant-mycorrhizal interactions mediate plant community coexistence by altering resource demand. *Ecology* 98(1): 187-197.
- Irankhah, S., Ganjali, A., Lahoti, M. and Mashreghi, M. 2016. Investigating the effect of *Pseudomonas putida* bacteria and *Glomus intraradices* fungus on some morphological and biochemical traits of fenugreek plant. *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries)* 30(1): 112-121.
- Khevari, Z., Moghaddam, M. and Moradi, M. 2020. Study the effect of different mycorrhizal fungi on some growth indices, photosynthetic pigments, flavonoids and carotenoid content of pot marigold flower. *Journal of Horticultural Plant Nutrition* 3(1): 37-50.
- Latef, A. A. H. A. and Chaoxing, H. 2011. Arbuscular mycorrhizal influence on growth, photosynthetic pigments, osmotic adjustment and oxidative stress in tomato plants subjected to low temperature stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 33(4): 1217-1225.
- Mandegary, A., Pournamdari, M., Sharififar, F., Pournourmohammadi, Sh., Fardiar, R. and Shooli, S. 2012. Alkaloid and flavonoid rich fractions of fenugreek seeds (*Trigonella foenum-graecum* L.) with antinociceptive and anti-inflammatory effects. *Journal Food and Chemical Toxicology* 50: 2503-2507.
- Mazarei, A., Sirus Mehr, A. R. and Babaei, Z. 2017. The effect of mycorrhiza on some morphological and physiological characteristics of *Silybum marianum* L. under drought stress. *Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research* 33 (4): 620-635.
- Mbusango, A., Nurbaiti, A., Fitriatin, B. N., Solihin, M. A. and Istifadah, N. 2019. Arbuscular mycorrhiza increased N, P, K, and Fe uptake, growth and yield of vegetables grown on Andisols with different rates of NPK fertilizers. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 393(1): 012009.
- Mesbah, R., Ardakani, M. R., Moghaddam, A. and Rafiei, F. 2021. Correlation and path analysis of Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) yield vs root traits and relative water content as affected by *Azotobacter*, mycorrhizal symbiosis and biochar application under dry-land farming conditions. *International Agrophysics* 35(4): 319-329.
- Mohammadi, S. N., Barmaki, M. and Judgment, M. 2019. The effect of mycorrhizal culture media and symbiosis on leaf yield, percentage of root

growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L). Journal of Saffron Research 2(2): 141-151.

Zhang, R., Mu, Y., Li, X., Li, S., Sang, P., Wang, X., and Xu, N. 2020. Response of the arbuscular mycorrhizal fungi diversity and community in maize and soybean rhizosphere soil and roots to intercropping systems with different nitrogen application rates. Science of the Total Environment 740: 139810.

Zolfaghari, M., Nazeri, W., Sefidkan, F., and Rajali, F. 2014. The effect of different species of mycorrhiza on the growth characteristics and the amount of essential oil of basil (*Ocimum basilicum* L.) Plant Production 37(4): 47-56.

Lv, Z. Q., Wei, J. and Li, Y. 2021. Sex-specific differences in the physiological and biochemical performance of arbuscular mycorrhizal fungi-inoculated mulberry clones under salinity stress. Frontiers in Plant Science 12.

Yazdanpanah Gohari, A., Ghanbari Jahromi, M. and Zarrinia, V. 2019. The effect of coexistence with mycorrhiza species on quantitative and qualitative traits of chicory seed masses in greenhouse conditions. To Agriculture, <https://dx.doi.org/10.22059/jci.2021.314730.2484>.

Zand, A., Riahi, H., Shariatmadari, Z. and Zanganeh, S. 2014. The effect of coexistence with mycorrhizal fungus *Funneliformis mosseae* on the

Silicon foliar feeding efficiency and its effect on yield of tomato

Mohammad Hasan Fallah Kiapey¹, Seyed Jalal Tabatabaei², Kamran Ghasemi^{3*}

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
(hasanfallahkiapey59@gmail.com)

2- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
(tabatabaei@shahed.ac.ir)

3- Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences,
Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(k.ghasemi@sanru.ac.ir)

Received Date: 29/04/2022

Accepted Date: 24/10/2022

Abstract

Introduction: Although beneficial effects of silicon for plants were well documented (Liang et al., 2015), leaf uptake efficiency of this element in most of plants including tomato remains to be explored. So, this experiment aimed to evaluate penetration of silicon into the tomato leaf mesophyll.

Material and methods: This pot experiment was conducted hydroponically in a completely randomized design with 7 treatments, 3 replications and 2 samples in research greenhouse of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Treatments comprised potassium silicate (K_2SiO_3), sodium silicate (Na_2SiO_3), and orthosilicic acid (H_4O_4Si), each of them in two concentrations of 1 and 2 mM, along with a control. All treatments were applied weekly as foliar spray. Evaluated parameters included yield, photosynthetic pigments (Carter and Knapp, 2001), leaf silicon concentration (Elliott and Snyder, 1991), and silicon distribution among mesophyll profiles. The later parameter was determined in three different points of the transverse section of the leaf (near adaxial, middle of mesophyll, near abaxial) using Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX).

Results and discussion: All of the silicon treatments resulted in an increase in leaf silicon concentration compared to the control. However, the application of potassium silicate at 2 mM led to the highest silicon concentration, which was not significantly different from potassium silicate at 1mM. Evaluation of the middle of mesophyll elemental profile showed that only two treatments, orthosilicic acid at 1 mM and sodium silicate at 2 mM, resulted in a higher silicon ratio than the control in the whole mesophyll and near abaxial point. The other treatments showed no significant differences from the control. The Silicon ratio at the near adaxial point was significantly higher under potassium silicate treatment compared to the control. The highest yield was recorded under orthosilicic acid at 2 mM, which was not significantly different from sodium silicate at 1 mM concentration.

Conclusions: Overall, the results of this research confirmed that silicon can infiltrate tomato leaves, indicating that silicon fertilizers can be safely applied via foliar spray. Furthermore, an important finding from this experiment was that there is no correlation between leaf silicon concentration and tomato yield in normal conditions.

Keywords: Silica, Mono silicic acid, Leaf penetration, Energy dispersive X-ray.

کارایی تغذیه برگی سیلیسیم و تاثیر آن بر عملکرد گیاه گوجه فرنگی

محمدحسن فلاح کیاپی^۱، سید جلال طباطبایی^۲، کامران قاسمی^{۳*}

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد
(hasanfallahkiapey59@gmail.com)

۲- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد
(tabatabaei@shahed.ac.ir)

۳- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(k.ghasemi@sanru.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۹

چکیده

باوجود اثبات مفید بودن سیلیسیم برای گیاهان، هنوز کارایی جذب برگی این عنصر در گیاهانی مانند گوجه فرنگی مشخص نیست، لذا در این آزمایش محلولپاشی سیلیکات پتاسیم (K_2SiO_3)، اسید مونوسیلیسیک (H_4O_4Si) و سیلیکات سدیم (Na_2SiO_3)، هر سه تیمار در دو غلظت ۱ و ۲ میلی مولار، در قالب طرح کاملاً تصادفی و در گلخانه پژوهشی دانشگاه کشاورزی ساری، مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات مورد ارزیابی در این آزمایش شامل عملکرد میوه، غلظت سیلیسیم برگ و درصد سیلیسیم در ترکیب عناصر سازنده مزوفیل (با استفاده از اسپکتوفتومتری پراکنده کننده انرژی اشعه ایکس) بود. نتایج به دست آمده نشان داد که تمامی تیمارهای استفاده شده برای محلولپاشی سیلیسیم موجب افزایش سیلیسیم برگ نسبت به شاهد شدند؛ با این حال سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار بیشترین افزایش سیلیسیم برگ را نشان داد، هرچند اختلاف آن با تیمار سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار معنی دار نبود. میزان عنصر سیلیسیم در میانه مزوفیل برگ نشان داد که اسید مونوسیلیسیک ۱ میلی مولار، بیشترین نفوذ را به داخل برگ گوجه فرنگی داشته است و بعد از آن سیلیکات سدیم ۲ میلی مولار در رتبه بعدی قرار گرفت. از نظر عملکرد کل بوته، تنها دو تیمار سیلیکات سدیم ۱ میلی مولار با عملکرد ۲۳۴۹ گرم و اسید مونوسیلیسیک ۲ میلی مولار با عملکرد ۲۲۲۲ گرم، نسبت به شاهد برتری معنی داری نشان دادند، ولی سایر تیمارهای بکارفته نسبت به شاهد اختلاف معنی داری نداشتند. با اینکه عملکرد گوجه فرنگی در بوته تحت تاثیر محلولپاشی سیلیسیم قرار گرفت، ولی این افزایش بر اثر افزایش تعداد میوه نبود بلکه به دلیل افزایش اندازه میوه بود، زیرا تعداد میوه تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده قرار نگرفت. از نظر افزایش اندازه میوه، تیمار اسید مونوسیلیسیک ۱ و ۲ میلی مولار و سیلیکات سدیم ۱ میلی مولار، وزن تک میوه بیشتری نسبت به شاهد داشتند. در مجموع می توان گفت که عنصر سیلیسیم می تواند نفوذ برگی در گیاه گوجه فرنگی داشته باشد، لذا محلولپاشی کودهای سیلیسمی در گیاه گوجه فرنگی امکان پذیر است.

کلمات کلیدی: اسید مونوسیلیسیک، پراکنده کننده انرژی اشعه ایکس، سیلیس، نفوذ برگی.

مقدمه

سیلیسیم یک شبه فلز چهار ظرفیتی می باشد که در همه جا حضور داشته و دومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن در خاک محسوب می گردد. با اینکه تقریباً ۲۸ درصد از پوسته خارجی زمین را سیلیسیم تشکیل می دهد، بیش تر سیلیسیم خاک به صورت آلومینیوم سیلیکات های متبلور است، که نامحلول بوده و به طور مستقیم قابل استفاده برای گیاه نیست. شکل قابل دسترس این عنصر برای گیاه اسید منوسیلیسیک (H_4SiO_4) است که در محلول خاک وجود داشته و ریشه های گیاه را با غلظت معمول ($0/1$ تا $0/6$ میلی مولار) تحت تاثیر قرار می دهد و مقدار آن تقریباً دو برابر بیش تر از غلظت فسفر در محلول خاک می باشد (Liang et al., 2015).

گوجه فرنگی زراعی *Solanum lycopersicom* از تیره بادمجانیان (Solanaceae) است، که جذب فعالی برای عنصر سیلیسیم نداشته و جزء گیاهان تجمع دهنده این عنصر محسوب نمی شود. با این حال، پژوهش های زیادی نقش عنصر سیلیسیم را در کاهش تنش های مختلف زنده و غیرزنده در گوجه فرنگی اثبات نموده اند. در یک پژوهش تاثیر سیلیسیم و نانوسیلیسیم بر تحمل به شوری گیاه گوجه فرنگی گیلاسی مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی سیلیسیم و نانوسیلیسیم، اثرات تقریباً یکسانی بر تحمل به شوری و فاکتورهای کیفی و کمی گوجه فرنگی داشتند و این نشان دهنده نقش معنی دار سیلیسیم در حفاظت از سامانه فتوسنتزی گیاه گوجه فرنگی در برابر اثرهای مخرب شوری است (Haghighi and Pessarakli, 2013).

افزون بر خواص ضد تنش سیلیسیم، این عنصر در شرایط بدون تنش نیز می تواند موجب افزایش رشد و عملکرد گوجه فرنگی گردد. مشاهده شده است که محلول پاشی هر دو شکل آلی و معدنی سیلیسیم توانست رشد نشای گوجه فرنگی را زیاد کرده و وزن تک میوه را افزایش دهد، ولی این افزایش رشد و عملکرد توسط سیلیسیم معدنی خیلی بیش تر بود (Xue et al, 2012).

پژوهشگران اثر سطوح مختلف سیلیسیم بر رشد و تبادلات آب و دی اکسید کربن گوجه فرنگی را در شرایط آب کشتی مطالعه کرده و دریافتند که تیمار $0/6$ و $1/2$ میلی مولار سیلیسیم به طور معنی داری ارتفاع گیاه و ماده خشک ریشه، ساقه و برگ را افزایش داد، همچنین میزان رنگیزه های فتوسنتزی نیز با تیمار سیلیسیم در این دو سطح افزایش یافت، اما غلظت های بالاتر سیلیسیم موجب افزایش رشد گیاه یا رنگیزه های فتوسنتزی نشد (Cao et al., 2013). طی آزمایشی اثر سه منبع سیلیسیم (سیلیکات کلسیم، سیلیکات پتاسیم، سیلیکات سدیم) روی عملکرد گوجه فرنگی بررسی شد و نتایج حاکی از آن بود که استفاده از دو منبع کلسیم سیلیکات و سیلیکات پتاسیم باعث افزایش غلظت سیلیسیم در برگ گیاه گوجه فرنگی شد، درحالی که با افزایش غلظت سیلیکات سدیم کاهش میزان سیلیسیم در برگ رخ داد (Marodin et al., 2014).

علی رغم وجود ترکیبات تجاری فراوان حاوی سیلیسیم در بازار، هنوز مشخص نیست که میزان جذب برگ گیاهان در گوجه فرنگی به چه میزان است. کمبود اطلاعات از چگونگی جذب برگ گیاه و انتقال این عنصر در گیاه گوجه فرنگی و تاثیر آن بر مقدار عملکرد این گیاه موجب شد تا این پژوهش با هدف بررسی جذب برگ گیاه کودهای مختلف سیلیسیم و تاثیر آن ها بر عملکرد گیاه گوجه فرنگی طرح ریزی و اجرا گردد.

مواد و روش ها

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار، ۳ تکرار و ۲ نمونه در هر تکرار، به صورت گلدانی در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. تیمارهای محلول پاشی از منابع مختلف سیلیسیم شامل شاهد، سیلیکات پتاسیم (K_2SiO_3)، اسید منوسیلیسیک ($H_4O_4Si_1$) و سیلیکات سدیم (Na_2SiO_3) هر سه تیمار با دو غلظت ۱ و ۲ میلی مولار بودند. بذر گوجه فرنگی از نوع بذور F1، به نام سیرو از

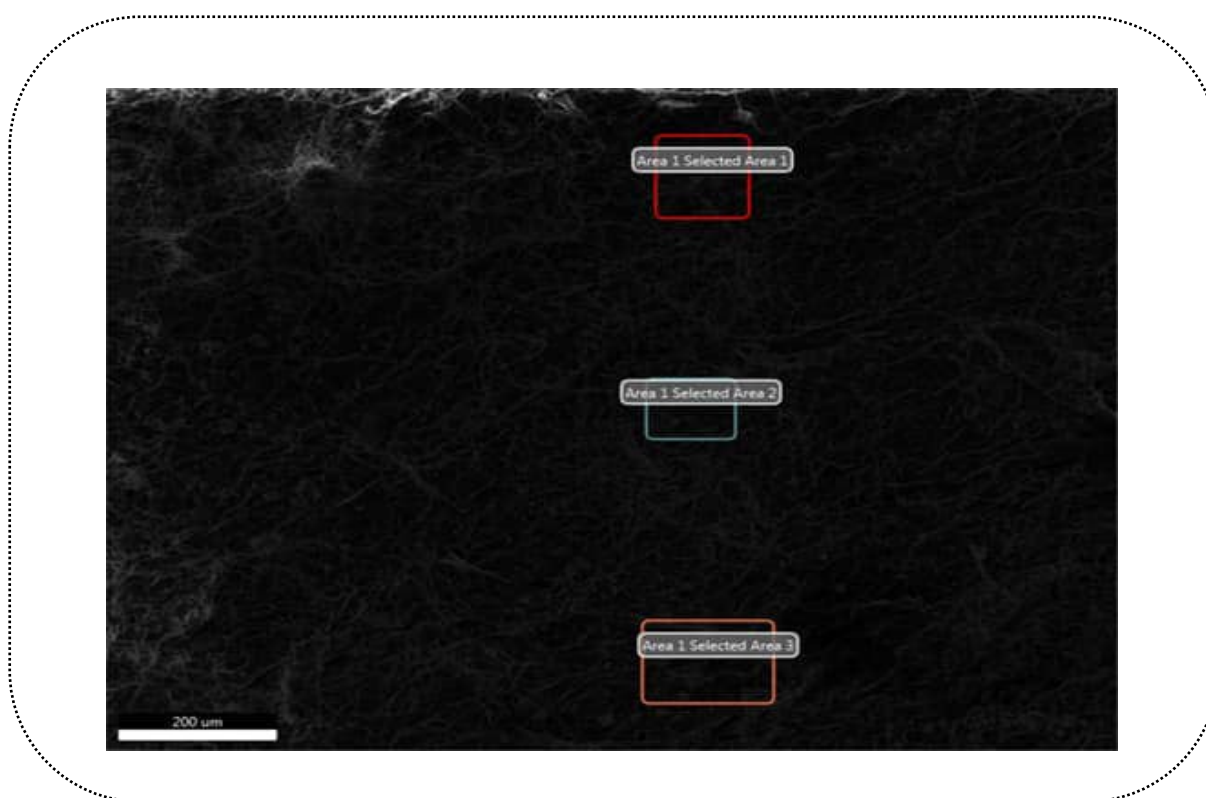
گرفته شد (جدول ۱). حدود ۳۵ روز بعد از نشاکاری و پس از ورود گیاه به مرحله زایشی، انواع تیمارهای سیلیسیم، محلول پاشی شدند. به طور متوسط ۲۰۰ میلی لیتر محلول روی هر بوته اسپری شد و در طول دوره، هر هفت روز یک مرتبه و در کل ۱۰ مرتبه، محلول پاشی با تیمارهای مختلف سیلیسیم روی بوته ها انجام گرفت.

موسسه فلاند - ایتالیا در سینی نشا کاشته شده و بعد از آماده شدن نشا به بستر به گلدان هایی به ارتفاع ۱۹/۵ و قطر دهانه ۲۲ سانتی متر، با بستر کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۶۰ به ۴۰، منتقل گردید. طی انجام آزمایش فضای گلخانه با رطوبت نسبی متوسط ۶۰ درصد و دمای حدود ۲۱ تا ۲۸ درجه سلسیوس بود و برای تمامی گلدان ها محلول غذایی گوجه فرنگی فلوریدا به عنوان برنامه کودی پایه در نظر

جدول ۱- غلظت عناصر موجود در محلول غذایی (میلی گرم بر لیتر)

Table 1. Concentration of elements in nutrient solution (mg / l)

Elements	N	P	K	Ca	S	Mg	B	Fe	Mn	Zn	Cu	Mo
(mg/kg)	150	50	200	150	60	50	0.7	2.8	0.8	0.3	0.2	0.05



شکل ۱- عکس برداری با اشعه ایکس از نقاط مختلف بالا، پایین و وسط برگ (برش عرضی برگ) گوجه فرنگی توسط دستگاه

EDX

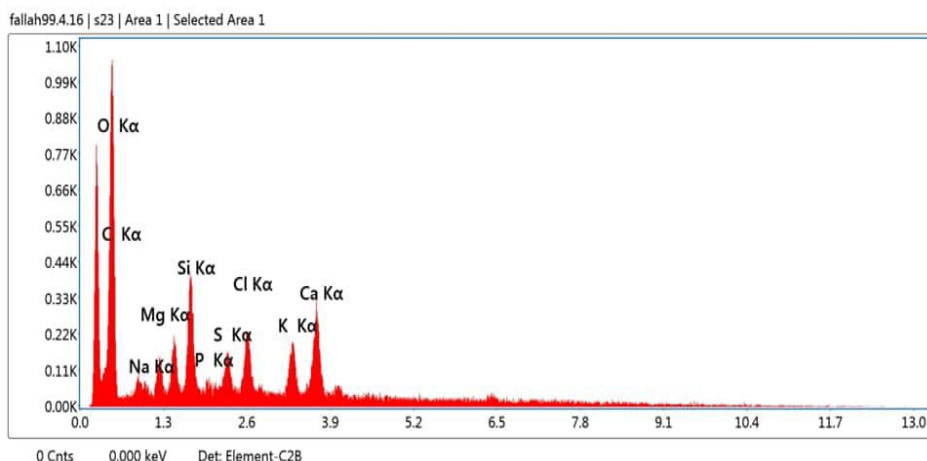
Figure 1. An X ray photo taken by EDX from adaxial, abaxial and middle of the cross section of tomato leaf

برگ، مقدار کل سیلیسیم برگ، پارامترهای فتوسنتزی، میزان رنگیزه های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و

در این آزمایش، وزن تر و خشک برگ و ساقه با ترازوی دیجیتال اندازه گیری شد. همچنین، غلظت سیلیسیم

تعیین میزان سیلیسیم در برش عرضی برگ با دستگاه اسپکترومتری پراکنده کننده انرژی اشعه ایکس EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) صورت گرفت. برای تهیه برش عرضی، از برگ‌های بالغ و کاملاً توسعه یافته، توسط تیغ تیز برش عرضی گرفته شد، سپس برش عرضی برگ به دستگاه EDX انتقال داده شد و عبور اشعه X از سه نقطه بالا، وسط و پایین برگ اندازه‌گیری انجام گرفت که میزان درصد عناصر مختلف از جمله سیلیسیم در بین عناصر اندازه‌گیری شده به صورت پیک مشخص گردید (شکل ۱ و ۲).

کارتونیدها)، میزان سیلیسیم در برش عرضی برگ، تعداد میوه، وزن هر میوه و عملکرد کل بوته اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری سیلیسیم، به طور خلاصه، ۱۰۰ میلی گرم از نمونه‌های گیاهی در لوله پلی اتیلن ۲۵۰ میلی لیتری قرار داده شد. سپس، ۲ میلی لیتر H_2O_2 پنجاه درصد و ۴/۵ میلی لیتر NaOH پنجاه درصد (وزنی/وزنی) به آن اضافه گردید. سوسپانسیون به دست آمده در اتوکلاودر در فشار ۱۳۸ (۲۰۰) کیلوپاسکال (دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد) به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده و در سپس فیلتر شد و در نهایت مقدار سیلیسیم از روش رنگ سنجی به دست آمد (Elliott and Snyder, 1991).



شکل ۲- نمودار تعیین میزان عناصر مختلف در برش عرضی برگ‌های گوجه فرنگی توسط دستگاه EDX
Figure 2. Percentage of elements in the cross section of tomato leaf measured by EDX device

در سطح احتمال یک درصد معنی دار شدند (جدول ۲). نتایج به دست آمده نشان داد که تمامی تیمارهای استفاده شده برای محلول پاشی سیلیسیم موجب افزایش سیلیسیم برگ نسبت به شاهد شدند (تا ۳/۳ برابر بیشتر از شاهد)؛ با این حال سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار بیشترین افزایش سیلیسیم برگ را نشان داد، هرچند اختلاف آن با تیمار سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار معنی دار نبود (شکل ۳).

نتایج و بحث

سیلیسیم برگ

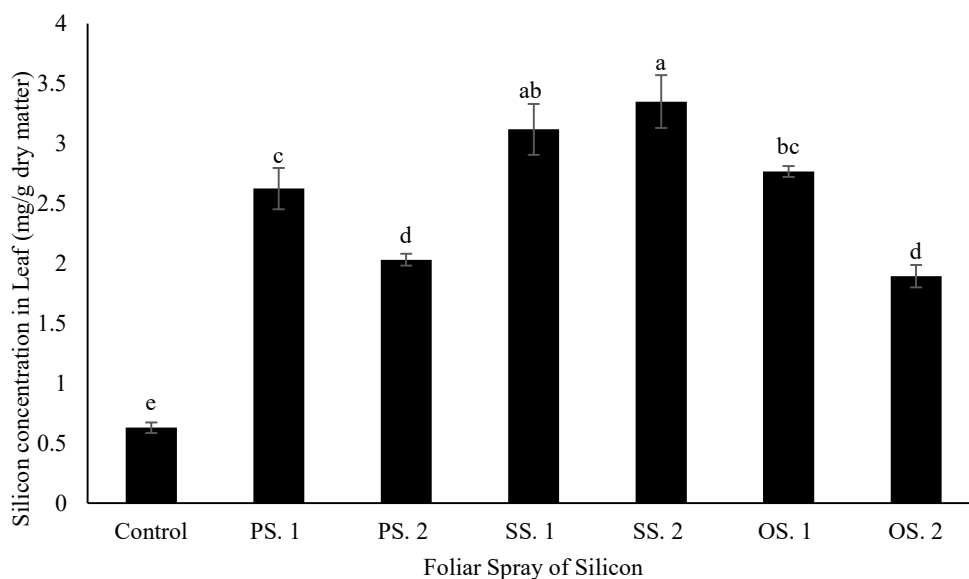
همانطور که جدول آنالیز واریانس نشان می دهد، تاثیر تیمارهای به کار رفته در این آزمایش بر تمامی صفات مرتبط با غلظت سیلیسیم برگ، از نظر آماری معنی دار بوده است (جدول ۲). بر این اساس، غلظت کل سیلیسیم برگ و درصد سیلیسیم در بخش های رویی، میانه و زیرین مزوفیل، همگی

جدول ۲- جدول آنالیز واریانس میزان سیلیسیم برگ تحت تاثیر محلول پاشی کودهای مختلف سیلیسیم

Table 2. Analysis of variance for leaf silicon as affected by various silicon sources spray

منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی Degree of Freedom	غلظت سیلیسیم برگ Silicon leaf concentration	درصد سیلیسیم سطح رویی برگ Silicon percentage in the leaf adaxial	درصد سیلیسیم سطح زیری برگ Silicon percentage in the middle of leaf	درصد سیلیسیم سطح میانی برگ Silicon percentage in the leaf abaxial
سیلیسیم Silicon	6	**2.5512	**3.0515	**4.0615	**1.3473
خطا Error	14	0.05934	0.0558	0.0630	0.0353
ضریب تغییرات Coefficient of Variation	-	10.39	12.49	16.46	15.48

ns و * و ** به ترتیب، غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد
ns, *, and **: non-significant, significant at 0.05% and 0.01% probability level respectively



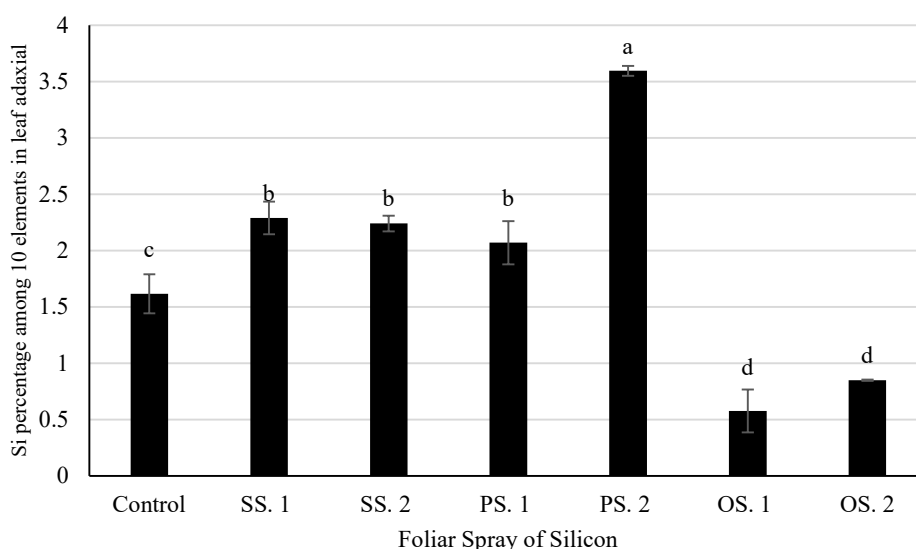
شکل ۳- اثر محلول پاشی سیلیسیم بر غلظت سیلیسیم برگ گوجه فرنگی. PS1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، PS2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار، SS1: سیلیکات سدیم ۱ میلی مولار، SS2: سیلیکات سدیم ۲ میلی مولار، MA1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، MA2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار (ستون‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی داری باهم ندارند)

Figure 3. Effect of silicon spray on the silicon concentration of tomato leaf. PS1: Potassium silicate 1 mM, PS2: Potassium silicate 2 mM, SS1: Sodium silicate 1 mM, SS2: Sodium silicate 2 mM, OS1: Orthosilicic acid 1 mM, OS2: Orthosilicic acid 2 mM (all columns with the same letter are not significantly different from each other)

میزان سیلیسیم در برش عرضی برگ با دستگاه EDX

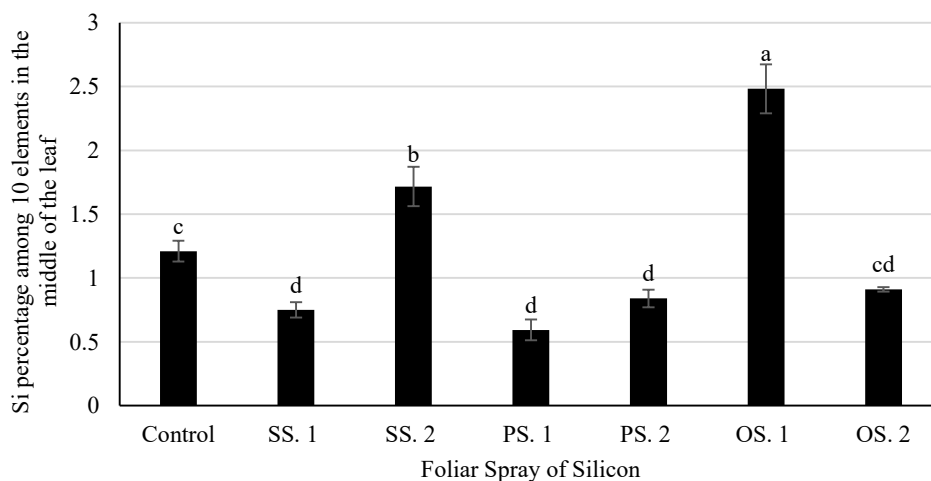
اندازه‌گیری کمی سیلیسیم برگ در سه نقطه مزوفیل توسط دستگاه EDX، در واقع درصد سیلیسیم را در بین ده عنصر (کربن، اکسیژن، فسفر، پتاسیم، سدیم، منیزیم، کلسیم، گوگرد، سیلیسیم و کلر) نشان داد (شکل ۱ و ۲). از آنجایی که، سه نقطه مزوفیل برگ شامل نزدیک سطح رویی برگ، نزدیک سطح زیرین برگ و همچنین وسط مزوفیل به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند، نتایج گویای آن بود که سیلیکات پتاسیم به راحتی از سطح رویی برگ وارد مزوفیل شده و ترکیب عناصر تشکیل دهنده مزوفیل در نزدیکی سطح رویی برگ را تغییر داده است (شکل ۴)، بالاین حال این نفوذ به داخل برگ چندان عمیق نبوده و

نتوانست در میانه مزوفیل برگ تفاوتی ایجاد نماید (شکل ۵). میزان عنصر سیلیسیم در میانه مزوفیل برگ نشان داد که اسید مونوسیلیسیک ۱ میلی مولار، بیشترین نفوذ را به داخل برگ گوجه فرنگی داشته است و بعد از آن سیلیکات سدیم ۲ میلی مولار در رتبه بعدی قرار گرفت، این در حالی بود که سایر تیمارها نتوانستند میزان سیلیسیم میانه مزوفیل را نسبت به شاهد افزایش دهند (شکل ۵). در نفوذ از زیر سطح برگ، دو تیمار سیلیکات سدیم ۲ میلی مولار و اسید مونوسیلیسیک ۱ میلی مولار به خوبی عمل کردند و نتوانستند به داخل برگ نفوذ بالایی داشته باشند، به طوری که، این دو تیمار تنها تیمارهایی بودند که نسبت به شاهد برتری معنی داری را نشان دادند (شکل ۶).



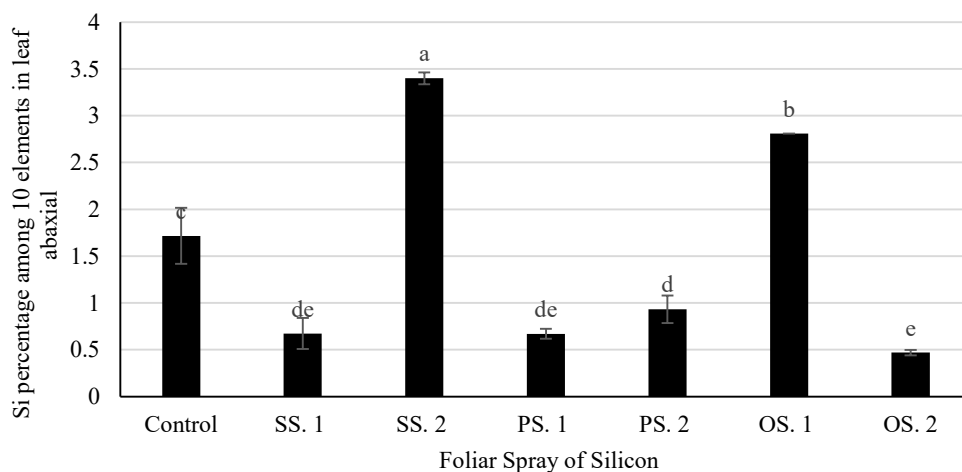
شکل ۴- تاثیر محلول پاشی سیلیسیم بر درصد سیلیسیم در نقطه نزدیک سطح رویی برگ در میان ده عنصر مورد مطالعه. PS1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، PS2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار، SS1: سیلیکات سدیم ۱ میلی مولار، SS2: سیلیکات سدیم ۲ میلی مولار، MA1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، MA2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار (ستون‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی داری باهم ندارند)

Figure 4. Effect of silicon spray on silicon percentage among 10 evaluated elements in the adaxial of tomato leaf. PS1: Potassium silicate 1 mM, PS2: Potassium silicate 2 mM. SS1: Sodium silicate 1 mM. SS2: Sodium silicate 1 mM. OS1: Orthosilicic acid 1 mM, OS2: Orthosilicic acid 2 mM (all columns with the same letter are not significantly different from each other)



شکل ۵- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای مختلف سیلیسیم بر درصد سیلیسیم در نقطه وسط مزوفیل برگ در میان ده عنصر مورد مطالعه. PS1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، PS2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار، SS1: سیلیکات سدیم ۱ میلی مولار، SS2: سیلیکات سدیم ۲ میلی مولار، MA1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، MA2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار (ستون‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی داری باهم ندارند)

Figure 5. Effect of silicon spray on silicon percentage among 10 evaluated elements in the middle of tomato leaf. PS1: Potassium silicate 1 mM, PS2: Potassium silicate 2 mM, SS1: Sodium silicate 1 mM, SS2: Sodium silicate 1 mM, OS1: Orthosilicic acid 1 mM, OS2: Orthosilicic acid 2 mM (all columns with the same letter are not significantly different from each other)



شکل ۶- تاثیر محلول پاشی سیلیسیم بر درصد سیلیسیم در نقطه نزدیک سطح زیرین برگ در میان ده عنصر مورد مطالعه. PS1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، PS2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار، SS1: سیلیکات سدیم ۱ میلی مولار، SS2: سیلیکات سدیم ۲ میلی مولار، MA1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، MA2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار (ستون‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی داری باهم ندارند)

Figure 6. Effect of silicon spray on silicon percentage among 10 evaluated elements in the abaxial of tomato leaf. PS1: Potassium silicate 1 mM, PS2: Potassium silicate 2 mM, SS1: Sodium silicate 1 mM, SS2: Sodium silicate 1 mM, OS1: Orthosilicic acid 1 mM, OS2: Orthosilicic acid 2 mM (all columns with the same letter are not significantly different from each other)

زیست توده و عملکرد

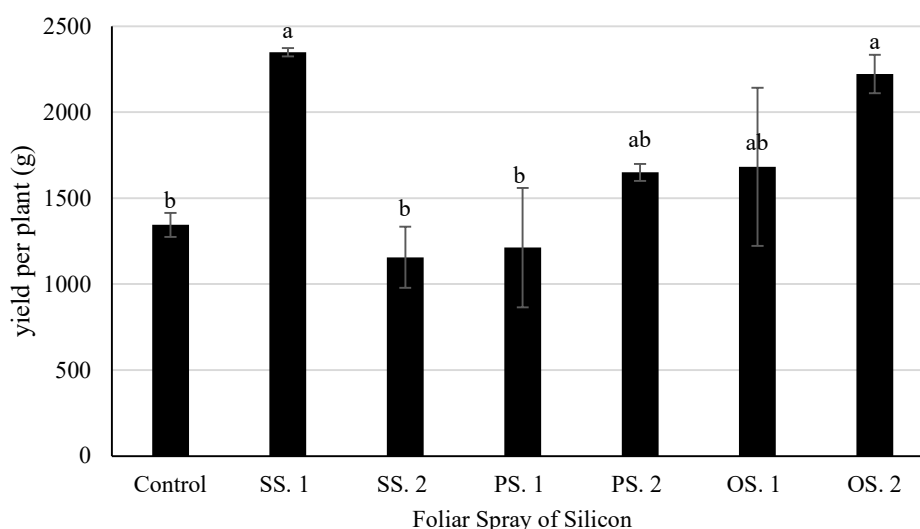
به شاهد اختلاف معنی داری نداشتند (شکل ۷). با اینکه عملکرد گوجه فرنگی در بوته تحت تاثیر محلول پاشی سیلیسیم قرار گرفت، ولی این افزایش بر اثر افزایش تعداد میوه نبود بلکه به دلیل افزایش اندازه میوه بود، زیرا تعداد میوه تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده قرار نگرفت. از نظر افزایش اندازه میوه، تیمار اسید مونوسیلیسیک ۱ و ۲ میلی مولار و سیلیکات سدیم ۱ میلی مولار، وزن تک میوه بیشتری نسبت به شاهد داشتند (شکل ۸).

آنالیز واریانس صفات مرتبط با عملکرد میوه نشان داد که اثر تیمارهای سیلیسیمی بر عملکرد کل بوته و تعداد میوه در بوته، به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد، معنی دار شد، این در حالی است که اثر آن بر صفت وزن تک میوه از نظر آماری معنی داری را نشان نداد (جدول ۳). از نظر عملکرد کل بوته، تنها دو تیمار سیلیکات سدیم ۱ میلی مولار با عملکرد ۲۳۴۹ گرم و اسید مونوسیلیسیک ۲ میلی مولار با عملکرد ۲۲۲۲ گرم، نسبت به شاهد برتری معنی داری نشان دادند، ولی سایر تیمارهای بکارفته نسبت

جدول ۳- جدول آنالیز واریانس میزان عملکرد گوجه فرنگی تحت تاثیر محلول پاشی کودهای مختلف سیلیسیمی
Table 2. Analysis of variance for tomato yield as affected by various silicon sources spray

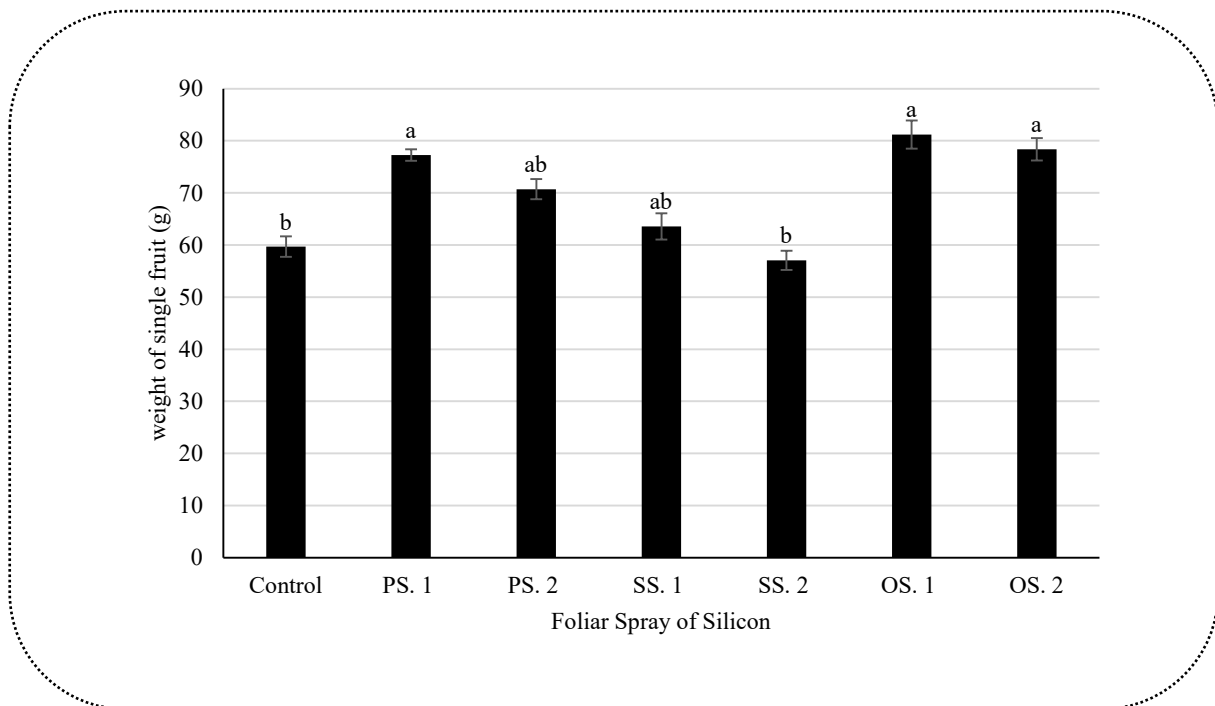
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد میوه در بوته	تعداد میوه در بوته	وزن تک میوه
Source of Variation	Degree of Freedom	Yield per plant (g)	Fruit number per plant	Single fruit weight (g)
سیلیسیم	6	632195.492**	47.4048*	185.2762 ^{ns}
Silicon				
خطا	14	164804.000	43.0595	260.0846
Error				
ضریب تغییرات	-	24.26	21.95	25.85
Coefficient of Variation				

^{ns} و * و ** به ترتیب، غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد
^{ns}, *, and **: non-significant, significant at 0.05% and 0.01% probability level respectively



شکل ۷- تاثیر محلول پاشی سیلیسیم بر میزان عملکرد در بوته گوجه فرنگی. PS1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، PS2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار، SS1: سیلیکات سدیم ۱ میلی مولار، SS2: سیلیکات سدیم ۲ میلی مولار، MA1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، MA2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار (ستون‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی داری باهم ندارند)

Figure 7. Effect of silicon spray on yield of tomato. PS1: Potassium silicate 1 mM, PS2: Potassium silicate 2 mM, SS1: Sodium silicate 1 mM, SS2: Sodium silicate 2 mM, OS1: Orthosilicic acid 1 mM, OS2: Orthosilicic acid 2 mM (all columns with the same letter are not significantly different from each other)



شکل ۸- تاثیر محلول پاشی سیلیسیم بر میزان وزن تک میوه گوجه فرنگی. PS1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، PS2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار، SS1: سیلیکات سدیم ۱ میلی مولار، SS2: سیلیکات سدیم ۲ میلی مولار، MA1: سیلیکات پتاسیم ۱ میلی مولار، MA2: سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار (ستون‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی داری باهم ندارند)

Figure 8. Effect of silicon spray on wight of single tomato fruit. PS1: Potassium silicate 1 mM, PS2: Potassium silicate 2 mM, SS1: Sodium silicate 1 mM, SS2: Sodium silicate 2 mM, OS1: Orthosilicic acid 1 mM, OS2: Orthosilicic acid 2 mM (all columns with the same letter are not significantly different from each other)

تنش کاسته و از این راه موجب افزایش نسبی عملکرد می‌گردد.

تفسیر نتایج به دست آمده از نفوذ سیلیسیم به داخل برگ نشان داد برخلاف برخی گزارشات، نفوذ برگ کودهای سیلیسمی صورت می‌گیرد، هرچند در میزان این نفوذ بین کودها و غلظت‌های مختلف تفاوت وجود داشت. نکته جالب اینکه، دو تیماری که نفوذ عمیق‌تر سیلیسیم را داشتند (سیلیکات سدیم ۲ و اسید مونوسیلیسیک ۱ میلی مولار)، هردو در سطح زیرین برگ هم سیلیسم زیادی را نشان دادند، لذا این احتمال وجود دارد که این دو تیمار از سطح زیرین برگ، جذب بهتری داشته باشند، این درحالی است که جذب سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار از سطح رویی برگ بیشتر بود. شاید نفوذ بیشتر سیلیکات

هرچند غلظت سیلیسیم برگ در هر دو غلظت

سیلیکات پتاسیم ۱ و ۲ میلی مولار، به طور معنی داری نسبت به شاهد بیشتر بود، ولی این مسئله تاثیری بر عملکرد نداشت، به طوری که میزان عملکرد کل در بوته، در این دو تیمار، با شاهد اختلاف معنی داری نداشت. علت این مسئله احتمالا به ویژگی ضدتنشی سیلیسیم برمی گردد، که با فعال سازی سیستم دفاع آنتی اکسیدانی و مقاومتی گیاه موجب می شود تا آسمیلات‌ها به سمت تولید متابولیت‌های ثانویه بروند، لذا سیلیسیم در شرایط نرمال و بدون تنش نتوانست افزایش عملکرد را رقم بزند. در شرایط تنش، تاثیر سیلیسیم ممکن است متفاوت باشد، زیرا تنش موجب ضعف گیاه و اختلال در سیستم فتوسنتزی می گردد، در حالی که سیلیسیم با ایجاد مقاومت از اثر منفی

سدیم و اسید مونوسیلیسیک به نقطه نم‌پذیری بالای آنها مربوط باشد. از آنجایی که سطح زیرین برگ رطوبت نسبی بالاتر است و تعداد روزنه بیشتری نیز دارد، لذا امکان جذب کودهایی با نقطه نم‌پذیری بالا راحت‌تر صورت می‌گیرد. در پژوهشی روی برنج گزارش شد که تغذیه ریشه‌ای سیلیسیم موجب افزایش این عنصر در هر دو قسمت نزدیک سطح رویی و نزدیک سطح زیرین برگ گردید، ولی در محلول‌پاشی تنها سطح رویی برگ سیلیسیم بالایی را نشان داد (Puppe and Sommer, 2018)، که این نتایج با یافته‌های ما مطابقت ندارد. به هر شکل، اینکه چگونه سیلیکات سدیم ۱ و اسید مونو سیلیسیک ۲ میلی‌مولار توانستند بدون افزایش در غلظت سیلیسیم برگ، موجب افزایش عملکرد گوجه فرنگی شوند روشن نیست، ولی قطعاً این تأثیر مستقل از سیلیسیم بوده و شاید به تأثیرات فیزیکی این ترکیبات مربوط باشد.

اگرچه در مقایسه با برنج که یک انباشت‌کننده سیلیسیم است، گوجه فرنگی گونه گیاهی سیلیسیم‌دوست محسوب نمی‌شود (Nikolic et al., 2007)، ولی گزارش شده است که تغذیه سیلیسمی رشد و عملکرد آن را افزایش می‌دهد (Liang et al., 1993; Liu et al., 2011). گزارش شده است که افزودن ۵۰ میکروگرم سیلیسیم در لیتر به محلول غذایی، عملکرد گوجه فرنگی را تا ۶۲ درصد افزایش داد. افزون بر این، آزمایشات مزرعه‌ای بیانگر آن است که تغذیه سیلیسیم، عملکرد گوجه فرنگی را ۱۵ تا ۳۰ درصد زیاد کرد، که این افزایش ناشی از افزایش تعداد و اندازه میوه بود (Liang et al., 1993). میوه‌های گوجه فرنگی بر اثر تغذیه سیلیسمی، در مقایسه با شاهد، چهار روز زودتر و با عملکرد تجاری بالاتری رسیدند (Liang et al., 1993).

در پژوهش‌های چندین آزمایش مزرعه‌ای برای ارزیابی اثر سیلیسیم و کلسیم بر رشد، عملکرد و کیفیت گوجه فرنگی انجام گرفت. نتایج نشان داد که مصرف سیلیسیم به طور معنی‌داری مقاومت گوجه فرنگی به بیماری‌ها، اندازه میوه و در نتیجه عملکرد را افزایش داد (Liu, 1997). همه این گزارشات با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارند، هرچند این افزایش عملکرد وابسته به نوع منبع و غلظت سیلیسیم مورد استفاده بود. مشاهده شده است که محلول‌پاشی هر دو شکل آلی و معدنی سیلیسیم توانست رشد نشای گوجه فرنگی را زیاد کرده و وزن تک میوه را افزایش دهد، ولی این افزایش در مصرف سیلیسیم معدنی خیلی بیشتر بود (Xue et al., 2012)، بنابراین منبع تامین سیلیسیم می‌تواند بسیار مهم باشد، که نتایج پژوهش ما نیز همین مسئله را تایید می‌کند.

در خصوص جذب برگی سیلیسیم در گیاه گوجه فرنگی باید گفت که نفوذ برگی این عنصر، هرچند به میزان ناچیز، صورت می‌گیرد، ولی نفوذ عمیق که بتواند غلظت عنصر سیلیسیم در میانه مزوفیل برگ را تغییر دهد، رخ نداده است. در مواردی که غلظت سیلیسیم برگ بالا بوده، ولی EDX نفوذ را نشان نمی‌دهد، باید گفت دو احتمال وجود دارد: اول آنکه، سیلیسیم بدون هیچگونه نفوذی، تنها روی سطح برگ رسوب داشته و در آنالیز برگ خود را نشان داد و احتمال دوم آنکه، نفوذ به شدت سطحی بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

مهمترین نتیجه این پژوهش این است که عنصر سیلیسیم می‌تواند نفوذ برگی در گیاه گوجه فرنگی داشته

نسبت با شاهد ایجاد نماید. حتی نفوذ سیلیسیم به داخل مزوفیل نیز ارتباط مثبتی با عملکرد گوجه فرنگی نداشت. با این حال، این نتایج در شرایط نرمال و بدون تنش به دست آمده و در شرایط وجود تنش زنده یا غیرزنده، ممکن است نتایج متفاوتی حاصل شود.

باشد، لذا استفاده از روش محلول پاشی برای کودهای سیلیسمی در گیاه گوجه فرنگی امکان پذیر است. با این حال، میزان نفوذ برگ سیلیسیم تحت تاثیر غلظت و منبع سیلیسیم مورد استفاده قرار می گیرد. نتیجه مهم دیگر این بود که غلظت بالای سیلیسیم برگ که در تیمار سیلیکات پتاسیم حاصل شد، نتوانست افزایش عملکرد معنی داری

منابع

- Liang, Y., M., Nikolic, R., Bélanger, H., Gong, and A., Song. 2015. *Silicon in Agriculture*. Dordrecht: Springer.
- Lichtenthaler, H.K., and C., Buschmann. 2001. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. Unit F4.3.1-F4.3.8.
- Liu, H.Y. 1997. Preliminary report on effect of Si fertilizer on tomato growth. Journal of Guizhou Agricultural Collage. 16:76-7.
- Marodin, J.C., J.T., Resende, R.G., Morales, M.L., Silva, A.G., Galvão, and D.S., Zanin. 2014. Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. Horticultura Brasileira. 32, 220-224
- Nikolic, M., N., Nikolic, Y., Liang, E.A. Kirkby, and V., Römhild. 2007. Germanium-68 as an adequate tracer for silicon transport in plants. Characterization of silicon uptake in different crop species. Plant Physiology. 143:495-503
- Puppe, D. and Sommer, M. 2018. Chapter One - Experiments, Uptake Mechanisms, and Functioning of Silicon Foliar Fertilization-A Review Focusing on Maize, Rice, and Wheat, Editor(s): Donald L. Sparks, Advances in Agronomy, Academic Press, 152: 1-49.
- Xue, G., G., Zhang, Y., Sun, S. Liao, and Y., Chen. 2012. Influences of spraying two different forms of silicon on plant growth and quality of tomato in solar greenhouse. Chinese Agricultural Sciences Bulletin. 28(16): 272-276.
- Cao, B.L., K., Xu, J., Shi, G.F., Xin, C.Y., Liu, and X., Li. 2013. Effects of silicon on growth, photosynthesis and transpiration of tomato. Plant Nutrition and Fertilizer Science. 19:354-60.
- Carter, G.A., and A.K., Knapp. 2001. Leaf optical properties in highest plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. American Journal of Botany. 88(4): 677-684.
- Elliott, C.L. and G.H., Snyder. 1991. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 39:1118-9.
- Emadi, S.M., and K., Ghasemi. 2018. Silicon in Agriculture. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publications.
- Haghighi, M., and M. Pessarakli. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia horticulture. 161C 111-117.
- Lee S.K., E.Y., Sohn, M., Hamayun, J.Y., Yoon, and I.J., Lee. 2010. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. Agroforestry Systems. 80:333-40.
- Liang, Y.C., X.H., Chen, T.S., Ma, Z.J., Qian, and L.R., Liu. 1993. Effect of Si on the growth, yield and quality of tomato. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences. 4:48-50.

Investigating the morphological and biochemical reactions of two species of chicory (*Cichorium* sp.) in the application of different amounts of ammonium sulfate

Saeideh Mohtashami^{1*}, Mahmoud Esmailpour², Askar Ghani³

1- Corresponding Author, Assistant Professor of Horticultural Science, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran
(mohtashamis@yahoo.com)

2- Former MSc student of Horticultural Science, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
(mahmoud.esmailpour@gmail.com)

3- Associate Professor of Horticultural Science, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran
(askar.ghani11@yahoo.com)

Received Date: 29/04/2022

Accepted Date: 14/10/2022

Abstract

Introduction: Chicory is one of the perennial and important medicinal plants of the Asteraceae family. In addition to having many nutritious compounds, chicory is potentially a rich source of bioactive substances for strengthening human food due to its polyphenol compounds (Petropoulos et al., 2017). Nitrogen is one of the most important elements required by plants, which participates in various processes, and its deficiency or excess significantly affects the growth, yield and quality of products (Yaghoobi et al., 2018). Due to the high importance of nutrition in the performance and quality of the active substances of medicinal plants and the fact that so far a little research has been done in chicory plant; Also, since ammonium sulfate is an acid-forming fertilizer suitable for the alkaline soils of southern Iran and causes better absorption of other nutrients; therefore, the present study was conducted with the aim of the effect of different levels of ammonium sulfate on the growth indexes and some biochemical factors of two species of chicory (*Cichorium intybus* and *Cichorium pumilum*) in Jahrom climatic conditions.

Material and methods: In this research, the effect of different amount of ammonium sulfate on growth and yield traits, chlorophyll contents and some biochemical properties of two *Cichorium* species were studied. In this purpose, the experience was conducted on factorial based on randomized complete block design (RCBD) with two factors and three replications. The first factor, ammonium sulfate concentration includes 5 levels: 50, 100, 150, and 200 kg/h and control (soil without fertilizer) and the second factor, two *Cichorium* species including *C. intybus* and *C. pumilum*. The most important factors inclusive leaf number, leaf length and width, plant fresh weight, yield of dry matter, length and diameter of tuberous root, fresh weight and dry weight of root and chlorophyll contents (a, b, total and carotenoid). Also, biochemical properties of leaf extract (flavone and flavonol, total flavonoid, phenolic compounds and antioxidant activity) were measured at two times (middle and end of growth period).

Results and discussion: The results showed the significant effect of the treatments on some measured traits. In relation to most of the morphological factors and yield indicators in *C. pumilum*, the best result was obtained in the 150 kg of ammonium sulfate treatment, while in *C. intybus*, the application of 100 kg of ammonium sulfate had a greater effect, which showed that *C. pumilum* has more fertilizer tolerance properties than *C. intybus* species. In *C. pumilum*, the highest amount of flavone and flavonol (2.93 mg/g), total flavonoid (7.30 mg/g) and phenolic compounds (10.06 mg/g) in the 50 kg of ammonium sulfate treatment was observed in the second harvest while in relation to *C. intybus* species, the maximum amount of total flavonoids (12.14 mg/g) and phenolic compounds (13.67 mg/g) in the first harvest by usage of 100 kg of ammonium sulfate and in the second harvest in the 200 kg of ammonium sulfate treatment (7.14 and 10.26 mg/g respectively) were measured. Previous findings showed that in some plants, including *Ocimum basilicum* (Radusiene et al., 2019) and *Stevia rebaudiana* (Barroso et al., 2018), the high availability of nutrient elements leads to an increase in plant growth and development and a decrease in secondary metabolites production. While in some other plants such as *Marrubium vulgare* (Kheiry et al., 2020), *Cichorium* sp. and *Artemisia annua* (Jha et al., 2011) by increasing the amount of fertilizer, an increase in active substances has been observed.

Conclusions: In totally, application of 100-150 kg/h Amuniom sulphate fertilizer for Chicory species recommends.

Keywords: Phenolic compounds, Antioxidant activity, Flavonoids, Yield and Chicory.

بررسی واکنش‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی دو گونه کاسنی (*Cichorium* sp.) به کاربرد سطوح مختلف سولفات آمونیوم

سعیده محتشمی^{*۱}، محمود اسماعیل پور^۲، عسکر غنی^۳

۱-نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران
(mohtashamis@yahoo.com)

۲- دانش آموخته گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(mahmoud.esmaeilpour@gmail.com)

۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران
(askar.ghani11@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۹

چکیده

در این پژوهش، اثر مقادیر مختلف سولفات آمونیوم بر ویژگی‌های رشد و عملکرد، میزان کلروفیل و برخی صفات بیوشیمیایی دو گونه کاسنی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول میزان سولفات آمونیوم شامل ۵ سطح: ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و شاهد (خاک بدون اضافه کردن کود) و فاکتور دوم، دو گونه کاسنی شامل کاسنی پابلند (*Cichorium intybus*) و کاسنی پاکوتاه (*Cichorium pumilum*) بود. مهمترین صفات مورد بررسی شامل تعداد برگ، طول و عرض برگ، وزن تر بوته، عملکرد ماده خشک، طول و قطر ریشه غده‌ای، وزن تر و خشک ریشه و میزان کلروفیل (a، b، کل و کاروتنوئید) بود. همچنین خصوصیات بیوشیمیایی عصاره برگ (فلاون و فلاونول، فلاونوئید کل، ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی) در دو زمان (اواسط و اواخر دوره رشد) اندازه‌گیری شد. نتایج، نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار تیمارها بر برخی صفات اندازه‌گیری شده بود. در ارتباط با بیشتر صفات مورفولوژیک و شاخص‌های عملکرد در گونه پاکوتاه، بهترین نتیجه در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم به دست آمد در حالی که در گونه پابلند، تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم تاثیر بیشتری داشت که نشان داد کاسنی پاکوتاه خاصیت کودپذیری بیشتری نسبت به کاسنی پابلند دارد. در کاسنی پاکوتاه، بیشترین میزان فلاون و فلاونول (۲/۹۳ میلی‌گرم در گرم)، فلاونوئید کل (۷/۳۰ میلی‌گرم در گرم) و ترکیبات فنلی (۱۰/۰۶ میلی‌گرم در گرم) در تیمار ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در برداشت دوم مشاهده شد در حالی که در رابطه با کاسنی پابلند بیشترین میزان فلاونوئید کل (۱۲/۱۴ میلی‌گرم در گرم) و ترکیبات فنلی (۱۳/۶۷ میلی‌گرم در گرم) در برداشت اول در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم و در برداشت دوم در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم (به ترتیب ۷/۱۴ و ۱۰/۲۶ میلی‌گرم در گرم) اندازه‌گیری شد.

کلمات کلیدی: ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئیدها، عملکرد، کاسنی.

مقدمه

از زمان‌های قدیم، گیاهان با هدف کاربردشان در داروهای سنتی و همچنین در صنایع غذایی به منظور بهبود مزایای سلامتی و پایداری محصولات غذایی مختلف مطالعه شده‌اند (Perovic et al., 2021). کاسنی یکی از گیاهان چندساله و دارویی مهم تیره چتریان (Asteraceae) می‌باشد. کاسنی به عنوان یک گیاه دارویی خودرو چندساله از گذشته‌های دور در بین مردم کشورهای مختلف موارد استفاده فراوانی داشته است که شهرت درمانی اصلی آن در رفع بیماری‌های کبدی است. در ایران و به ویژه مناطق جنوبی دو گونه نامبرده کاسنی مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. جنس کاسنی دارای شش گونه می‌باشد که در بین گونه‌ها، کاسنی پابلند (*Cichorium intybus*) از همه شناخته شده تر می‌باشد و بیشتر تحقیقات بر روی این گونه انجام شده است. ارتفاع این گونه تا حدود یک متر نیز می‌رسد و در بسیاری از مناطق به صورت رویشگاهی رشد کرده که به عنوان یک گیاه دارویی یا سبزی صحرایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی دیگر از گونه‌های این جنس، به عنوان کاسنی پاکوتاه (*C. pumilum* Jacq.) نامگذاری شده است دارای ارتفاع کوتاه‌تری می‌باشد. این گونه دارای ریشه ذخیره‌ای بزرگتری می‌باشد و به صورت زراعی چندان کشت نشده است و بنابراین اطلاعات زیادی در رابطه با نیازهای کودی و زراعی این گیاه در دسترس نمی‌باشد (Gholami et al., 2018). کاسنی علاوه بر داشتن ترکیبات مغذی فراوان، به‌طور بالقوه یک منبع غنی از مواد زیست‌فعال برای تقویت غذای انسان نیز می‌باشد که ترکیبات آن شامل اینولین، سزکوئی‌ترین لاکتون‌ها (لاکتوسین، لاکتوکوپیکرین، ۸-داکسی‌لاکتوسین)، گلیکوزیدهای گوانینولید، مشتقات کافئیک اسید، شیکوریک اسید، کلروژنیک اسید، ایزوکلروژنیک اسید، دی کافنویل تارتاریک اسید، چربی‌ها، پروتئین‌ها، هیدروکسی کومارین‌ها، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، استروئیدها، ترپنوئیدها، روغن‌ها، ترکیبات معطر، ویتامین‌ها (آلفا و گاما

توکوفرول)، بتاکاروتن، زآ زانتین و مواد معدنی می‌باشد (Al-Snafi, 2016; Petropoulos et al., 2017). کاسنی به عنوان یک گیاه دارویی خودرو چندساله از گذشته‌های دور در بین مردم کشورهای مختلف موارد استفاده فراوانی داشته‌است از این گیاه به عنوان تقویت کننده معده، مدر، صفرابر، ضد التهاب، تقویت سیستم ایمنی بدن، کاهش چربی خون، ضد سرطان و تصفیه کننده خون استفاده می‌گردد (Bahmani et al., 2015; Al-Snafi, 2016) ولی شهرت درمانی آن در رفع بیماری‌های کبدی است (Doaei et al., 2018).

از آنجا که عناصر غذایی موجود در خاک نقش مهمی در تعیین میزان رشد و عملکرد گیاه و همچنین بهبود کیفیت محصول تولیدی دارند، می‌توانند نقش مهمی در تولید گیاهان دارویی داشته باشند. نیتروژن مهمترین عنصر حاصلخیزی خاک بوده و بخش اصلی مصرف کودهای شیمیایی خاک را تشکیل می‌دهد. همچنین با توجه به این‌که نیتروژن بیشترین غلظت را در بین عناصر غذایی در گیاهان دارد، نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاهان نیز دارد (Rahimzadeh, et al., 2013). تامین نیتروژن به اندازه کافی در عملکرد کمی و کیفی گیاهان از جمله کاسنی و همچنین حفظ محیط زیست سالم ضروری و مهم است. کاربرد مقادیر بیش از حد کودهای نیتروژنی منجر به آبسویی نیترات می‌شود به‌طوری که عموماً گیاهان فقط حدود ۵۰ درصد نیتروژن بکار برده را مصرف می‌کنند. نیتروژن به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر رشد گیاه تأثیر دارد، با این وجود رفتارهای فیزیولوژی گیاهان نسبت به منابع نیتروژن کاملاً متفاوت بوده و به توانایی آن‌ها در جذب و تثبیت آن بستگی دارد (Shafea et al., 2011). نیتروژن از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز گیاه است که در فرآیندهای مختلف شرکت می‌کند و کمبود یا بیش‌بود آن رشد، عملکرد و کیفیت محصولات را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Yaghoobi et al., 2018). با اینکه یون نیترات معمول‌ترین منبع نیتروژن برای رشد گیاه می‌باشد،

در افزایش عملکرد اقتصادی و ویژگی‌های کیفی گیاه دارویی فراسیون^۱ موثرتر از کاربرد تنهایی آن‌ها باشد. محلول پاشی ۲۵ میلی‌مولار (غلظت‌های کم) سولفات آمونیوم بر رشد رویشی، عملکرد و ویژگی‌های کیفی خیار نیز موثر گزارش شده است (Yaghoobi et al., 2018).

با توجه به اهمیت بالای تغذیه در عملکرد و کیفیت مواد موثره گیاهان دارویی و نظر به اینکه تاکنون تحقیقات بسیار کمی در رابطه با گیاه کاسنی انجام شده است؛ و همچنین از آنجا که سولفات آمونیوم یک کود اسیدزا و مناسب خاک‌های قلیایی جنوب ایران بوده و موجب جذب بهتر سایر عناصر غذایی می‌گردد لذا پژوهش حاضر با هدف تاثیر سطوح مختلف سولفات آمونیوم بر شاخص‌های رشد و برخی فاکتورهای بیوشیمیایی دو گونه کاسنی پابلند (*Cichorium pumilum*) و پاکوتاه (*Cichorium intybus*) در شرایط آب و هوایی جهرم انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی موجود در روستای محمد آباد شهرستان جهرم واقع در استان فارس (۲۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض جغرافیایی، ۱۰۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا) انجام شد. ویژگی‌های کمی و کیفی خاک منطقه مورد کشت در جدول ۱ ارائه شده است. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با ده تیمار و سه تکرار انجام شد. فاکتورها عبارتند از: فاکتور اول، سطوح مختلف کود شیمیایی سولفات آمونیوم با پنج سطح (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار شاهد شامل خاک معمولی بدون کود دهی) و فاکتور دوم، دو گونه کاسنی شامل کاسنی پابلند (*Cichorium intybus*) و کاسنی پاکوتاه (*Cichorium pumilum*) بود. بذر گونه‌های نامبرده از توده‌های محلی منطقه سیمکان (بخش سیمکان که یکی از مراکز اصلی کشت این گیاه در استان فارس محسوب می‌گردد) تهیه شده و در اواخر اسفند ماه (دهه

ولی به نظر می‌رسد به دلیل این که یون نترات ابتدا به یون آمونیوم احیا می‌شود، جذب و آسیمیلایسیون این یون از لحاظ متابولیکی انرژی بیشتری نسبت به جذب و آسیمیلایسیون یون آمونیوم نیاز داشته باشد (Tabatabaei, 2014). سولفات آمونیوم یکی از کودهای مرسوم بوده که نیتروژن آن به فرم آمونیوم بوده و علاوه بر آن حاوی گوگرد نیز می‌باشد؛ به‌طوری که این کود حاوی سولفور بیشتری نسبت به نیتروژن موجود در آن است (۲۱ درصد نیتروژن و ۲۴ درصد گوگرد). آمونیوم و گوگرد موجود در این کود به اسیدی شدن خاک کمک می‌کنند. پس از انحلال سولفات آمونیوم، یون‌های آمونیوم و سولفور به داخل محلول خاک آزاد می‌شوند. یون‌های آمونیوم در فرآیند نیتریفیکاسیون به نترات تبدیل شده و یون H^+ را آزاد می‌کند که منجر به کاهش pH خاک می‌شود (Babalar and Pirmoradian, 2006). از سوی دیگر فیزیولوژی و مورفولوژی گیاهان به میزان زیادی تحت تاثیر فرم‌های آمونیومی و نیتراتی نیتروژن و نوع کودهای بکار رفته قرار می‌گیرد. گزارش‌ها حاکی از تاثیر مثبت کود سولفات آمونیوم بر میزان اسانس مرزه است، به‌طوری که با افزایش سطوح مختلف سولفات آمونیوم تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار درصد و عملکرد اسانس افزایش می‌یابد (Babalar et al., 2015). همچنین در تحقیق دیگری بیان شده است که کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم علاوه بر شاخص‌های رشد گیاه مرزه، میزان کارواکرول و رزمارینیک اسید که از شاخص‌های کیفی مواد موثره مرزه می‌باشند را نیز افزایش داده است (Babalar et al., 2020). در گیاه ریحان نیز کاربرد سولفات آمونیوم موجب افزایش عملکرد پیکر رویشی، زیست‌توده برگ تر و عملکرد اسانس شده است در حالی که تاثیری بر نسبت برگ به ساقه، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه جانبی نداشته است (Sifola and Barbieri, 2006). در تحقیق انجام شده توسط Kheiry و همکاران (2020)، نتایج نشان داد که مصرف توام کود زیستی نیتروکسین و سولفات آمونیوم، می‌تواند

1. *Marrubium vulgare* L.

سوم) جهت کشت بهاره در کرت‌های با ابعاد ۲×۲ متر و فاصله بین کرت‌ها ۴۰ سانتی‌متر استفاده شدند. جوانه‌زنی بذرها حدود یک هفته بعد انجام شد و در اواسط فروردین سال بعد (حدود چهار هفته بعد از کشت) پس از رشد مناسب گیاهان، تراکم بوته‌های کاسنی به فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (بوته‌های اضافی به صورت دستی حذف شدند) و اعمال تیمار کودی در دو زمان، یکبار در مرحله‌ای که گیاهان حدود ۵ برگ داشتند و مرحله دوم حدود سه هفته بعد به صورت سرک انجام شد (رشد گیاهان کاسنی تا قبل از گلدهی به صورت رزت و فاقد ساقه می‌باشد). طی رشد، انجام عملیات داشت مانند مبارزه با علفهای هرز، آبیاری و غیره برای کلیه تیمارها به صورت یکسان انجام شد. به منظور بررسی برخی مواد موثره (فلاون و فلاونول‌ها، فلاونوئید کل، میزان ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی) موجود در برگ گیاه کاسنی طی رشد، در هفته چهارم اردیبهشت ماه در هر تیمار، برداشت برگ (هر بوته حدود پنج برگ) از بیست بوته انجام شد و پس از خشک کردن برگ‌ها در شرایط آزمایشگاه (۲۰±۳ درجه سلسیوس) داخل پاکت و درون یخچال نگهداری شدند. در پایان آزمایش (قبل از مرحله

گلدهی) که مصادف با اواخر خرداد ماه بود برداشت کامل بوته‌ها در اوایل صبح انجام شد. در هر کرت ده بوته انتخاب شدند (هر کدام به عنوان یک قرائت) و صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی اندازه‌گیری شد. صفات مورفولوژیک و شاخص‌های عملکرد شامل تعداد برگ، طول و عرض برگ، وزن تر بوته (مجموع وزن تر کل برگ‌ها)، عملکرد ماده خشک، طول و قطر ریشه غده‌ای (قطر ریشه در دو ناحیه نزدیک به طوقه و دیگری وسط ریشه اندازه‌گیری شد و میانگین این دو عدد به عنوان قطر ریشه در نظر گرفته شد)، وزن تر و خشک ریشه غده‌ای اندازه‌گیری شد. همچنین برخی صفات بیوشیمیایی مربوط به مواد موثره موجود در عصاره برگ کاسنی شامل: میزان فلاون و فلاونول، فلاونوئید کل، میزان ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در هر دو برداشت اندازه‌گیری شد. همچنین میزان کلروفیل (a، b، کل و کاروتنوئید کل) نمونه‌های برگ اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری محتوی کلروفیل بر اساس روش Dere و همکاران (1998) با استفاده از حلال استون خالص و قرائت میزان جذب در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۲ نانومتر انجام شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی و برخی عناصر غذایی موجود در خاک مربوط به منطقه کشت دو گونه کاسنی

Table 1. Physicochemical analysis and some nutrient element exist in soil related to cultivation area of two chicory species

اسیدیته	هدایت الکتریکی	رطوبت اشباع خاک	نیتروژن کل	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده
Soil pH	EC (ds/m)	Saturated soil moisture (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
7.93	0.66	29.44	0.60	5.13	144.86
شن	لای	رس	بافت خاک	مواد آلی	کربنات کلسیم معادل
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture	OM (%)	Caco ₃
47	41	12	loam	0.60	73

به منظور سنجش دیگر فاکتورهای بیوشیمیایی، عصاره گیری از نمونه‌های خشک برگ با استفاده از حلال متانولی ۷۰ درصد به نسبت ۵ به ۱ (حجمی - وزنی) به روش خیساندن^۱ انجام شد (Wojdylo et al., 2007). برای تمامی

تیمارها میزان ۵ گرم نمونه خشک برگ توزین گردید و به لوله فالکون انتقال یافت و سپس میزان ۲۵ میلی‌لیتر حلال به آنها اضافه گردید و مدت ۲۴ ساعت روی شیکر با دور ۲۰۰ دور در دقیقه (rpm) قرار داده شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند و قسمت

1 . Maceration

(AOA%) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:
 = درصد فعالیت آنتی اکسیدانی
 ۱۰۰ × (عدد جذب شاهد / (عدد جذب نمونه - عدد جذب شاهد))
 آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab نسخه ۱۹
 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی
 (Tukey) انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های رشد و عملکرد

بر اساس نتایج مربوط به تجزیه واریانس داده‌ها
 (جدول ۲)، تاثیر تیمارها بر برخی از شاخص‌های رشد و
 عملکرد معنی‌دار شده است که در ادامه به شرح آن
 پرداخته می‌شود.

تعداد برگ، طول و عرض برگ

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که تاثیر میزان
 کود سولفات آمونیوم و اثر متقابل گونه و سولفات آمونیوم
 بر تعداد برگ معنی‌دار شده است (جدول ۲). همان‌طور که
 در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در کاسنی پاکوتاه بیشترین و
 کمترین تعداد برگ (۷۵/۱۷ و ۱۹/۱۱) به ترتیب مربوط به
 تیمارهای ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات آمونیوم و
 شاهد بود. در گونه پابلند نیز بیشترین و کمترین تعداد برگ
 (۸۳/۲۶ و ۳۸/۵۱) به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱۰۰
 کیلوگرم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات آمونیوم بود.
 در ارتباط با طول و عرض برگ، تنها اثر اصلی سولفات-
 آمونیوم معنی‌دار شده است به‌طوری که بیشترین و کمترین
 طول برگ (۲۵/۵۳ و ۱۸/۸۱ سانتی‌متر) به ترتیب مربوط به
 تیمارهای ۱۵۰ کیلوگرم و ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم
 بود. همچنین بیشترین و کمترین عرض برگ (۲/۴۵ و
 ۱/۸۰ سانتی‌متر) به ترتیب در تیمارهای ۱۵۰ کیلوگرم و ۵۰
 کیلوگرم سولفات آمونیوم مشاهده گردید (شکل ۱). در
 ارتباط با هر دو صفت طول و عرض برگ، اختلاف
 معنی‌داری از نظر آماری بین سطوح ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰
 کیلوگرم سولفات آمونیوم وجود نداشت.

روشناور صاف گردید و به عنوان عصاره جهت انجام
 آزمایش‌های بعدی در دمای ۲۰- درجه سلسیوس
 نگهداری شدند. میزان فلاون و فلاونول به روش Popova
 و همکاران (2004) با اندکی تغییر اندازه‌گیری شد و نتایج
 به صورت میلی گرم اکسی‌والانت کوثرستین در گرم وزن
 خشک بیان شد. در ادامه برای رسم منحنی استاندارد، از
 غلظت‌های مختلف کوثرستین استفاده شد. اندازه‌گیری
 میزان فلاونوئید کل با استفاده از معرف کلرید آلومینیوم
 انجام شد. تبدیل داده‌های حاصل از جذب به غلظت‌های
 مختلف کوثرستین با رسم منحنی استاندارد کوثرستین
 (غلظت‌های ۰ تا ۴۰۰ میلی گرم در لیتر) انجام شد و نتایج
 بر اساس میلی گرم کوثرستین در گرم وزن خشک بیان شد
 (Menichini et al., 2008). ترکیبات فنلی کل با استفاده از
 معرف فولین سیوکالتو^۱ در طول موج ۷۶۵ نانومتر
 اندازه‌گیری شد. غلظت‌های مختلف گالیک اسید به عنوان
 استاندارد مورد استفاده قرار گرفت و داده‌ها به صورت
 میلی گرم گالیک اسید در گرم وزن خشک بیان شد
 (Wojdylo et al., 2007). اندازه‌گیری فعالیت آنتی اکسیدانی
 عصاره‌ها بر اساس آزمون DPPH^۲ با اعمال تغییرات
 جزئی بر اساس روش Oke و همکاران (2009) انجام شد.
 فعالیت آنتی اکسیدانی به وسیله روش اسپکتروفتومتری بر
 پایه کاهش رادیکال‌های آزاد انجام شد. در این روش میزان
 ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره تیمارهای مختلف به ۵ میلی لیتر
 محلول DPPH (با غلظت ۰/۰۰۴ درصد) اضافه شد. در
 محلول شاهد (بلانک) به جای عصاره، ۱۰۰ میکرولیتر
 متانول اضافه شد. محلول‌ها به مدت ۱۰ ثانیه به شدت تکان
 داده شدند و سپس به مدت ۳۰ دقیقه جهت واکنش در
 دمای اتاق و در محیط تاریک نگهداری شدند و سپس در
 طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت
 شدند. اعداد جذب پایین‌تر نشان دهنده فعالیت
 آنتی اکسیدانی بیشتر بود. درصد فعالیت آنتی اکسیدانی

1. Folin Ciocalteu Sigma-Aldrich
 2. 2,2-diphenylpicrylhydrazyl, Sigma, Aldrich

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر کود سولفات آمونیوم و گونه بر ویژگی‌های ظاهری و شاخص‌های عملکرد گیاه کاسنی
 Table 2. Analysis of variance of the effect of Ammonium sulfate fertilizer and species on morphological properties and yield index of Chicory

Mean square					
Source of variation	df	Leaf number	Leaf length	Leaf width	Plant fresh weight
Fertilizer (Ammonium sulfate)	4	6673.09**	52.67**	1.33*	11489.30**
Species	1	44.21ns	13.09ns	0.39ns	2118.50**
Fertilizer* Species	4	621.32**	6.93ns	0.36ns	1963.00**
Error	18	21.63	4.52	0.31	113.31
CV	-	34.19	15.12	17.44	57.14
Source of variation	Yield of dry matter	Root length	Root diameter	Root fresh weight	Root dry weight
Fertilizer (Ammonium sulfate)	48.20**	8.68**	0.19**	40.35**	2.44**
Species	106.33**	3.22ns	0.001ns	2.38ns	0.01ns
Fertilizer* Species	23.60**	9.84**	0.04*	18.30**	1.44*
Error	0.95	1.14	0.01	1.27	0.34
CV	54.04	12.48	21.31	39.73	46.03

* و **: به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار
 * and ** Significant difference at 5 and 1 percent probability level, respectively, ns: Non significant

جدول ۳. تأثیر سطوح مختلف سولفات آمونیوم بر تعداد برگ، وزن تر بوته و عملکرد ماده خشک دو گونه کاسنی
 Table 3. The effects of different ammonium sulfate on leaf number, plant fresh weight and yield of dry matter of two chicory species

	Leaf number (n)		Plant fresh weight (g/plant)		Yield of dry matter (g/plant)	
	Chicory species		Chicory species		Chicory species	
Ammonium sulfate levels (kg/h)	<i>Ch. pumilum</i>	<i>Ch. intybus</i>	<i>Ch. pumilum</i>	<i>Ch. intybus</i>	<i>Ch. pumilum</i>	<i>Ch. intybus</i>
Control	19.11 ^e	39.70 ^d	25.91 ^d	22.15 ^d	3.63 ^d	3.29 ^d
50	49.95 ^{bcd}	38.51 ^d	49.75 ^d	31.54 ^d	7.22 ^c	4.26 ^d
100	54.95 ^{bc}	83.26 ^a	81.52 ^c	116.66 ^b	8.47 ^c	10.09 ^c
150	75.17 ^a	60.29 ^b	157.10 ^a	95.39 ^{bc}	18.13 ^a	8.31 ^c
200	55.11 ^{bc}	44.66 ^{cd}	119.82 ^b	84.33 ^c	12.96 ^b	7.63 ^c

* وجود حرف مشترک در هر ردیف و ستون در رابطه با هر صفت نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی می‌باشد.
 *: Means followed by the same letters are not significantly different at 0.05 level according to Tukey test

وزن تر و عملکرد ماده خشک بوته

گردید. در هر دو گونه، افزایش میزان کود سولفات آمونیوم تا ۲۰۰ کیلوگرم باعث کاهش عملکرد گردید (جدول ۳). بیشترین میزان عملکرد ماده خشک بوته (۱۸/۱۳ گرم در بوته) در گونه پاکوتاه مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم کود سولفات آمونیوم و در گونه پابلند نیز بیشترین میزان (۱۰/۰۹ گرم) مربوط به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات - آمونیوم بود و کمترین میزان نیز در هر دو گونه مربوط به تیمار شاهد بود. البته لازم به ذکر است که میانگین وزن

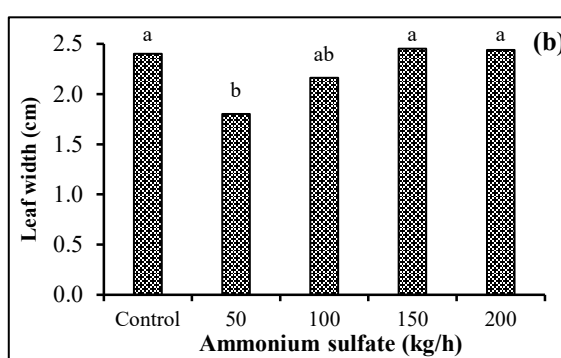
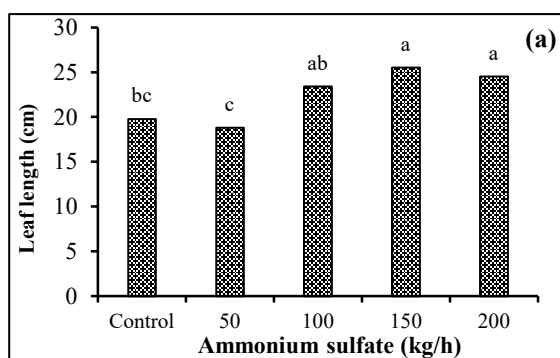
تأثیر مقادیر مختلف سولفات آمونیوم، گونه و اثر متقابل تیمارها بر دو صفت بالا معنی‌دار شد (جدول ۲). در رابطه با وزن تر بوته، بیشترین میزان (۱۵۷/۱۰ گرم در بوته) در گونه پاکوتاه در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم و کمترین میزان در تیمار شاهد (۲۵/۹۱ گرم) اندازه‌گیری شد در حالی که در گونه پابلند، بیشترین و کمترین میزان (۱۱۶/۶۶ و ۲۲/۱۵ گرم) به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم و شاهد مشاهده

خشک گونه پاکوتاه بیشتر از گونه پابلند بود (جدول ۳).

طول، قطر و وزن تر و خشک ریشه‌ها

برخی از گونه‌های کاسنی دارای ریشه‌های غده‌ای می‌باشند که به دلیل داشتن ترکیبات فنلی از جمله اینولین دارای کاربردهای غذایی و دارویی می‌باشد. در پژوهش حاضر، تاثیر سطوح مختلف سولفات آمونیوم و اثر متقابل سولفات آمونیوم و گونه بر صفات مربوط به ریشه معنی‌دار شد در حالی که اثر ساده گونه تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بالاترین میزان طول و قطر ریشه در گونه پاکوتاه (به ترتیب ۱۸/۵۶ و ۱/۱۱ سانتی‌متر) مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم و کمترین میزان در تیمار شاهد (به ترتیب ۱۳/۹۵ و ۰/۶۲ سانتی‌متر) مشاهده شد؛ درحالی که در گونه پابلند کاسنی، بیشترین میزان طول ریشه (۱۶/۷۲ سانتی‌متر) در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم مشاهده شد. گرچه اختلاف آماری معنی‌داری با تیمارها ۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم کود سولفات آمونیوم نداشت. در این گونه، بیشترین میزان قطر ریشه (۱/۰۷ سانتی‌متر) در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم اندازه‌گیری شد که با تیمارهای ۱۰۰ و

۲۰۰ کیلوگرم در یک گروه آماری قرار داشتند و کمترین مقادیر نیز مربوط به تیمارهای ۵۰ کیلوگرم سولفات - آمونیوم و شاهد بود (جدول ۴). اثرات متقابل تیمارها بر وزن تر و خشک ریشه‌ها معنی‌دار گردید؛ به‌طوری که در گونه پاکوتاه بالاترین مقدار در رابطه با هر دو صفت (به ترتیب ۱۱/۷۳ و ۳/۰۰ گرم در بوته) در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم اندازه‌گیری شد و کمترین میزان نیز مربوط به تیمار شاهد بود. در این گونه افزایش میزان سولفات آمونیوم باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه‌ها گردید. در گونه پابلند کاسنی، بیشترین میزان وزن تر (۱۰/۷۳ گرم) در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم و کمترین میزان مربوط به تیمار شاهد بود. ولی از نظر وزن خشک ریشه، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت و همگی در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۴). به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که گونه پاکوتاه کاسنی در ارتباط با افزایش کود سولفات آمونیوم در مقایسه با گونه پابلند واکنش مثبت‌تری نشان می‌دهد که احتمالا می‌تواند ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی و نیازهای غذایی آن‌ها باشد.



شکل ۱. تاثیر مقادیر مختلف سولفات آمونیوم (اثرات ساده) بر طول برگ (a) و عرض برگ (b) گیاه کاسنی
Figure 1. The effect of different amount of ammonium sulfate on leaf length (a) and leaf width (b) in chicory

جدول ۴. اثر متقابل سولفات آمونیوم و گونه بر ویژگی‌های ریشه گیاه کاسنی

Table 4. Interaction effect of ammonium sulfate and species on chicory root properties

	Root length (cm)		Root diameter (cm)		Root fresh weight (g)		Root dry weight (g)	
	Chicory species		Chicory species		Chicory species		Chicory species	
Ammonium sulfate Concentration (kg/h)	<i>C. pumilum</i>	<i>C. intybus</i>	<i>C. pumilum</i>	<i>C. intybus</i>	<i>C. pumilum</i>	<i>C. intybus</i>	<i>C. pumilum</i>	<i>C. intybus</i>
Control	13.95 ^c	14.05 ^c	0.62 ^d	0.71 ^{cd}	2.83 ^e	3.92 ^{de}	0.63 ^c	1.04 ^{bc}
50	15.41 ^{bc}	15.80 ^{abc}	0.85 ^{a-d}	0.68 ^d	6.07 ^{cde}	6.40 ^{bc}	1.90 ^{abc}	1.48 ^{abc}
100	14.05 ^c	16.72 ^{abc}	0.83 ^{bcd}	1.03 ^{ab}	5.88 ^{cde}	10.73 ^a	1.47 ^{abc}	2.67 ^{ab}
150	18.41 ^{ab}	15.62 ^{abc}	1.08 ^{ab}	1.07 ^{ab}	9.79 ^a	9.39 ^{ab}	2.50 ^{ab}	1.74 ^{abc}
200	18.56 ^a	14.91 ^c	1.11 ^a	0.96 ^{abc}	11.73 ^a	8.68 ^{abc}	3.00 ^a	2.40 ^{ab}

* وجود حرف مشترک در هر ردیف و ستون در رابطه با هر صفت نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی می‌باشد.

*: Means followed by the same letters are not significantly different at 0.05 level according to Tukey test

رشد سریعی داشته و زیست توده قابل توجهی تولید نماید. به دلیل نقش اساسی نیتروژن در سنتز کلروفیل و پروتئین‌ها، افزایش آن در شرایط مطلوب تا حد معینی موجب افزایش پروتئین و در نتیجه شاخص‌های رشد گیاه می‌شود. در حالی که کاهش یا کمبود نیتروژن موجب کاهش مقدار کلروفیل‌ها و فعالیت آنزیم روبیسکو شده و رشد و نمو و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (Zare et al., 2016; Singh et al., 2013). از آنجا که سولفات آمونیوم علاوه بر نیتروژن حاوی گوگرد نیز می‌باشد، انتظار می‌رود پاسخ گیاهان نسبت به سطوح مختلف این کود ناشی از اثرات هر دو عنصر باشد. گزارش‌هایی در رابطه با افزایش ویژگی‌های رشد و عملکرد در پی کاربرد گوگرد در گیاهان مختلف از جمله بادرنجبویه (Yadegari and Barzegar, 2010)، کتان روغنی (Shabani et al., 2016)، گندم (Mousavi et al., 2019) و کلزا (Safari Zargani et al., 2021) نیز منتشر شده است. محققین بیان کرده‌اند که کاربرد گوگرد از طریق تاثیر بر آنزیم روبیسکو، موجب افزایش تولیدات فتوسنتزی و افزایش سرعت رشد محصول می‌شود (Mousavi et al., 2019). همچنین بیان شده است که کاهش موضعی pH خاک حاصل از مصرف گوگرد، شرایط را برای افزایش رشد رویشی و زیست توده با تاثیر مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش جذب سایر عناصر غذایی فراهم می‌کند (Mousavi et al., 2019).

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، کاربرد سولفات آمونیوم در هر دو گونه کاسنی پاکوتاه و پابلند موجب افزایش ویژگی‌های رشد و عملکرد شد، اما پاسخ آن‌ها به سطوح مختلف سولفات آمونیوم متفاوت بود؛ به‌طوری که گونه پاکوتاه در واکنش به افزایش سولفات - آمونیوم پاسخ مثبت‌تری نسبت به گونه پابلند داشت. در گونه پاکوتاه کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم و در گونه پابلند کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سطح بهینه سولفات آمونیوم بود. گزارش‌های متعددی مبنی بر افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد گیاهان مختلف از جمله مرزه (Babalar et al., 2013; Zare et al., 2020)، ریحان (Sifola and Barbieri, 2006)، فراسیون (Kheiry et al., 2020)، خیار (Yaghoobi et al., 2018)، شنبلیله (Baghbani Arani et al., 2017)، مریم‌گلی (Hazrati et al., 2020) و اسفناج (Ramezanifar et al., 2021) نسبت به کاربرد کودهای نیتروژنی از جمله سولفات آمونیوم وجود دارد که منطبق با نتایج این تحقیق می‌باشد. در این زمینه اظهار شده است که با توجه به اینکه نیتروژن بطور مستقیم یا غیر مستقیم در بزرگ شدن و تقسیم سلول‌های جدید و تولید بافت‌هایی که به نوبه خود مسئول افزایش ویژگی‌های رشد می‌شوند، دخالت دارد؛ سبب افزایش رشد رویشی و شاخه‌دهی در گیاهان می‌شود. همچنین زمانی که مقدار کافی نیتروژن در خاک موجود باشد، میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد و موجب می‌شود گیاه

میزان کلروفیل (کلروفیل a، b، کل و میزان کاروتنوئید)

نتایج نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار تیمارها بر برخی رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌باشد. اثر ساده گونه در هیچ کدام از صفات تحت تاثیر تیمارها قرار نگرفت. در حالی که اثر ساده تیمار (سطوح سولفات آمونیوم) و اثرات متقابل سولفات آمونیوم و گونه در رابطه با میزان کلروفیل a، b و کل معنی‌دار بود و در رابطه با میزان کاروتنوئید کل نیز تنها اثر ساده سولفات آمونیوم معنی‌دار گردید (جدول ۵). در رابطه با میزان کلروفیل a، b و کل همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، در گونه پاکوتاه کاسنی، بالاترین میزان (به ترتیب ۱۶/۲۸، ۱۴/۰۸ و ۳۰/۳۶ میلی‌گرم در گرم نمونه خشک) مربوط به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات آمونیوم بود. در گونه پابلند کاسنی، نیز بالاترین میزان کلروفیل a، b و کل (به ترتیب ۱۶/۵۶، ۱۴/۲۴ و ۳۰/۸۰ میلی‌گرم در گرم نمونه خشک) در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات آمونیوم اندازه‌گیری شد در حالی که کمترین میزان مربوط به تیمارهای شاهد، ۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم کود سولفات آمونیوم بود (جدول ۶). همان‌طور که پیشتر اشاره شد، میزان کاروتنوئید فقط تحت تاثیر تیمارهای سولفات آمونیوم قرار گرفت که در این رابطه کمترین میزان (۱/۰۱ میلی‌گرم در گرم نمونه خشک) مربوط به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات آمونیوم بود و سایر تیمارها در یک گروه قرار داشتند (شکل ۲-الف). به طور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم بیشترین میزان کلروفیل حاصل شد در حالی که در این تیمار، کاهش میزان رابطه معکوس مشاهده شده بین میزان کلروفیل و کاروتنوئید در این تحقیق، در پژوهش انجام شده بر آویشن باغی تحت کمبود نیتروژن نیز توسط محققین گزارش شده است (Asle Mohammadi et al., 2021). با توجه به این‌که جرانیل جرانیل پیروفسفات (GGPP) به عنوان یک ترکیب حد واسط برای بیوسنتز زنجیره فیتول کلروفیل و کاروتنوئید شناخته شده‌است، می‌تواند رابطه معکوس بین کلروفیل و کاروتنوئید را بهتر

نشان بدهد؛ به‌طوری که گزارش شده است که در طی رشد گیاه زمانی که ترکیب GGPP به سمت تولید کلروفیل می‌رود طبیعتاً سنتز کاروتنوئید کمتر می‌شود و بالعکس (Trudel and Ozgun, 1970). همچنین گزارش شده است که مقدار کلروفیل a و b در گیاهان کاهو و اسفناج تغذیه شده با آمونیوم بسیار بیشتر از گیاهان تغذیه شده با نترات می‌باشد (Rousta, 2010). استفاده از گوگرد در گیاه دارویی سیاه دانه (*Nigella sativa L.*) باعث افزایش کلروفیل a شد، اما اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل b نداشت (Heidari and Rezapour, 2011). تعداد زیادی از ترکیبات رنگدانه‌ای در گیاهان دارای ساختار نیتروژنی می‌باشند و از آنجایی که گوگرد و منابع گوگردی می‌تواند کارایی مصرف نیتروژن را در گیاهان افزایش دهد، از این رو می‌توان گفت استفاده از گوگرد میزان سنتز کلروفیل را در گیاهان بهبود می‌بخشد.

ویژگی‌های بیوشیمیایی

بر اساس جدول آنالیز واریانس داده‌های بیوشیمیایی، واکنش گونه‌ها و اثرات متقابل گونه و کود سولفات آمونیوم در ارتباط با کلیه صفات به‌جز فلاون‌ها و فلاونول‌ها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در اواسط دوره رشد معنی‌دار گردید. در حالی که تاثیر سطوح مختلف سولفات آمونیوم بر کلیه صفات بیوشیمیایی به‌جز ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در اواسط دوره رشد معنی‌دار گردید (جدول ۵).

فلاون‌ها و فلاونول‌ها

در برداشت اول (اواسط دوره رشد)، تنها تاثیر سطوح مختلف سولفات آمونیوم معنی‌دار گردید (جدول ۵). به‌طوری که بیشترین میزان (۲/۴۲ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم نمونه خشک) مربوط به تیمار شاهد بود که با سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نداشت و کمترین میزان، مربوط به تیمارهای ۲۰۰ و ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم بود (شکل ۲-ب). در حالی که اثر متقابل سولفات آمونیوم و گونه بر میزان فلاون‌ها و فلاونول‌ها در برداشت دوم معنی‌دار

گردید (جدول ۵)؛ به طوری که بیشترین میزان (۲/۹۳ میلی گرم) مربوط به تیمار ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در گونه پاکوتاه (*C. pumilum*) و کمترین میزان (۱/۳۹ میلی گرم) مربوط به سطح ۱۵۰ کیلوگرم در گونه پابلند (*C. intybus*) بود. در گونه پاکوتاه به جز تیمار ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم که در بیشترین میزان قرار داشت، بین سایر سطوح اختلاف معنی داری وجود نداشت. همچنین در گونه پابلند تیمارهای مختلف در یک گروه قرار داشتند (شکل ۳).

جدول ۵. تجزیه واریانس تأثیر سولفات آمونیوم و گونه بر میزان کلروفیل و برخی ویژگی های بیوشیمیایی برگ گیاه کاسنی (*Cichorium sp.*)

Table 5. Analysis of variance of the effect of Ammonium sulfate fertilizer and species on chlorophyll content and some biochemical properties of Chicory leaf (*Cichorium sp.*)

Mean square							
Source of variation	df	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Carotenoid content	Flavone and flavonol (first harvest)	Flavone and flavonol (second harvest)
Fertilizer (Ammonium sulfate)	4	1.41ns	0.01ns	1.23ns	0.04ns	0.17ns	2.89**
Species	1	24.86**	37.62**	122.89**	0.35*	0.23*	0.29**
Fertilizer* Species	4	3.10**	3.98*	13.95*	0.12ns	0.15ns	.32**
Error	18	0.61	1.23	3.23	0.09	0.05	0.05
CV	-	15.20	24.77	19.10	24.60	14.33	24.33
Source of variation	df	Total flavonoid (first harvest)	Total flavonoid (second harvest)	Phenol content (first harvest)	Phenol content (second harvest)	Antioxidant activity (first harvest)	Antioxidant activity (second harvest)
Fertilizer (Ammonium sulfate)	4	132.47**	9.66**	145.28**	21.90**	1.44ns	2052.50**
Species	1	14.44**	5.01**	18.03**	14.65**	6.09ns	236.40**
Fertilizer* Species	4	12.43**	7.15**	25.90**	15.91**	1.18ns	105.65**
Error	18	1.56	0.51	0.87	1.00	3.34	11.36
CV	-	34.99	31.40	33.95	37.26	1.91	13.85

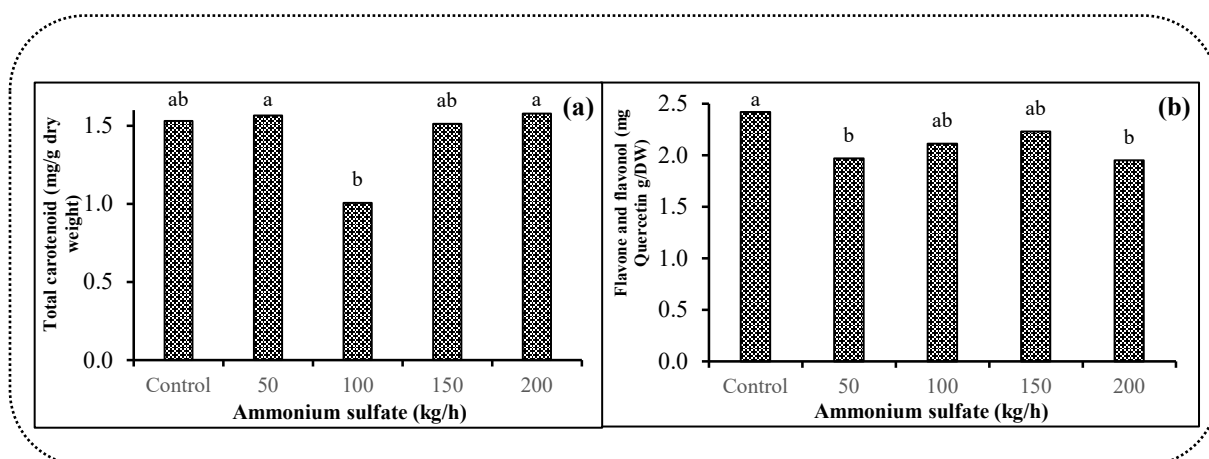
ns: عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، * و **: به ترتیب وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: Non significant , * and ** Significant difference at 5 and 1 percent probability level, respectively , Df: Degree of freedom

جدول ۶. تغییر در محتوی کلروفیل برگ دو گونه کاسنی (*Cichorium sp.*) تحت تأثیر سطوح مختلف سولفات آمونیوم

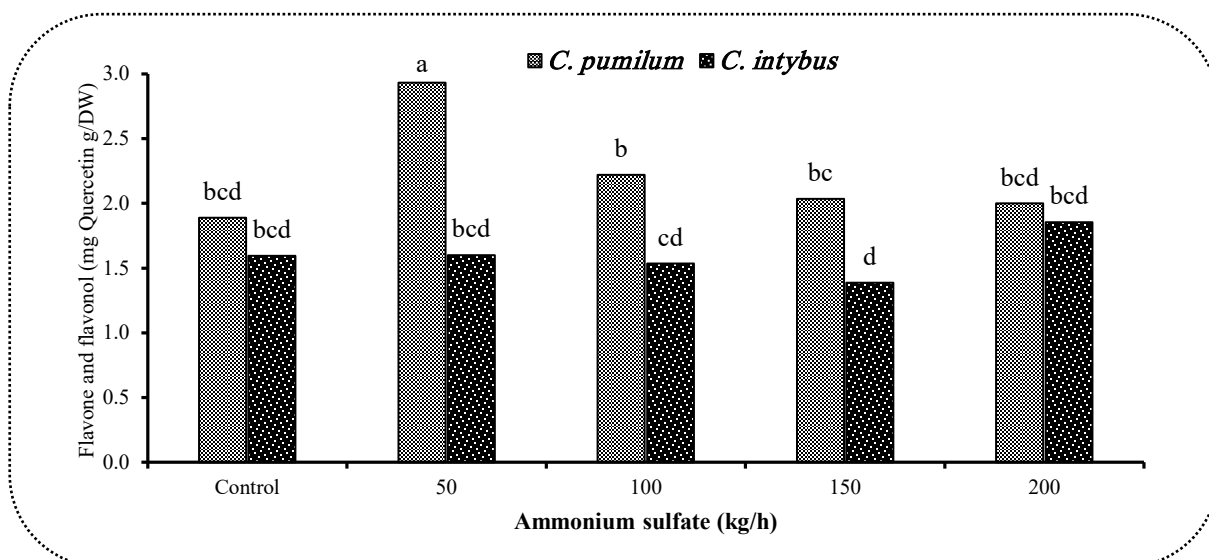
Table 6. Change in chlorophyll content of chicory leaf (*Cichorium sp.*) influenced by ammonium sulfate

Ammonium sulfate Concentration (kg/h)	Chlorophyll a (mg/g dry weight)		Chlorophyll b (mg/g dry weight)		Total Chlorophyll (mg/g dry weight)	
	<i>C. pumilum</i>	<i>C. intybus</i>	<i>C. pumilum</i>	<i>C. intybus</i>	<i>C. pumilum</i>	<i>C. intybus</i>
Control	13.53 ^b	13.20 ^b	10.32 ^{bc}	9.44 ^c	23.86 ^b	22.65 ^b
50	12.38 ^b	11.79 ^b	8.76 ^c	7.78 ^c	21.14 ^b	19.56 ^b
100	16.28 ^a	16.56 ^a	14.08 ^a	14.24 ^a	30.36 ^a	30.80 ^a
150	11.52 ^b	11.40 ^b	8.76 ^c	7.59 ^c	20.28 ^b	18.99 ^b
200	13.43 ^b	16.37 ^a	10.13 ^{bc}	12.86 ^{ab}	23.56 ^b	29.23 ^a

* وجود حرف مشترک در هر ردیف و ستون در رابطه با هر صفت نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون توکی می باشد.
*: Means followed by the same letters are not significantly different at 0.05 level according to Tukey test



شکل ۲. تاثیر مقادیر مختلف سولفات آمونیوم بر میزان کاروتنوئید (a) و فلاون و فلاونول (b) برگ گیاه کاسنی
Figure 2. The effect of different amount of ammonium sulfate on carotenoid content (a) and flavone and flavonol (b) in chicory leaf



شکل ۳. اثر متقابل سطوح مختلف سولفات آمونیوم و گونه بر میزان فلاون و فلاونول برگ گیاه کاسنی در برداشت دوم
Figure 3. The Interaction effect of different amount of ammonium sulfate and plant species on flavone and flavonol content in chicory leaf at second harvest

سطوح مختلف سولفات آمونیوم اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت.

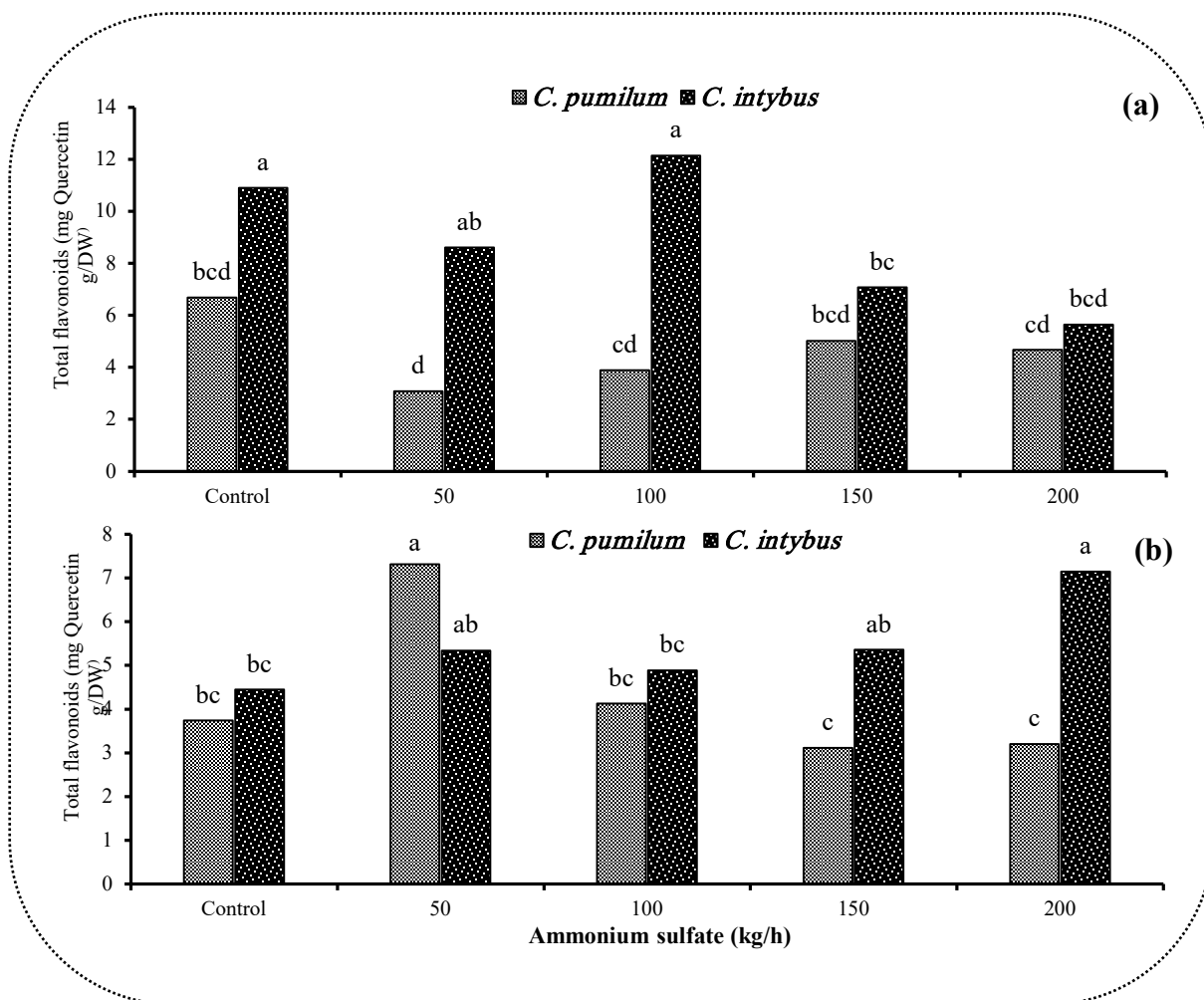
در گونه پابلند نیز، بین تیمارهای ۵۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت (شکل ۴-الف). در برداشت دوم بیشترین میزان فلاونوئید کل (۷/۳۰ میلی گرم) مربوط به کاربرد ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در گونه پاکوتاه بود که با تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در گونه پابلند در یک گروه قرار داشتند. در گونه پاکوتاه،

فلاونوئید کل

اثرات متقابل سولفات آمونیوم و گونه بر میزان فلاونوئید کل در برداشت‌های اول و دوم معنی‌دار گردید (جدول ۵). در برداشت اول، بیشترین میزان (۱۲/۱۴ میلی گرم کوئرستین بر گرم نمونه خشک) مربوط به کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در گونه پابلند و کمترین میزان (۳/۰۸ میلی گرم) مربوط به کاربرد ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در گونه پاکوتاه بود. در گونه پاکوتاه، بین شاهد و

افزایش میزان سولفات آمونیوم، فلاونوئیدها افزایش یافتند و بیشترین میزان (۷/۱۴ میلی گرم) در کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم مشاهده شد (شکل ۴ ب).

تا سطح ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم میزان فلاونوئید کل افزایش یافت و با افزایش غلظت سولفات آمونیوم این ترکیبات کاهش یافتند؛ در حالی که در گونه پابلند با



شکل ۴. تغییرات میزان فلاونوئید کل موجود در برگ دو گونه کاسنی تحت تاثیر سطوح مختلف سولفات آمونیوم در دو زمان برداشت. (a): برداشت اول، (b): برداشت دوم

Figure 4. Changes in total flavonoids of chicory leaf affected by different amount of ammonium sulfate at two harvest time. (a): first harvest, (b): second harvest

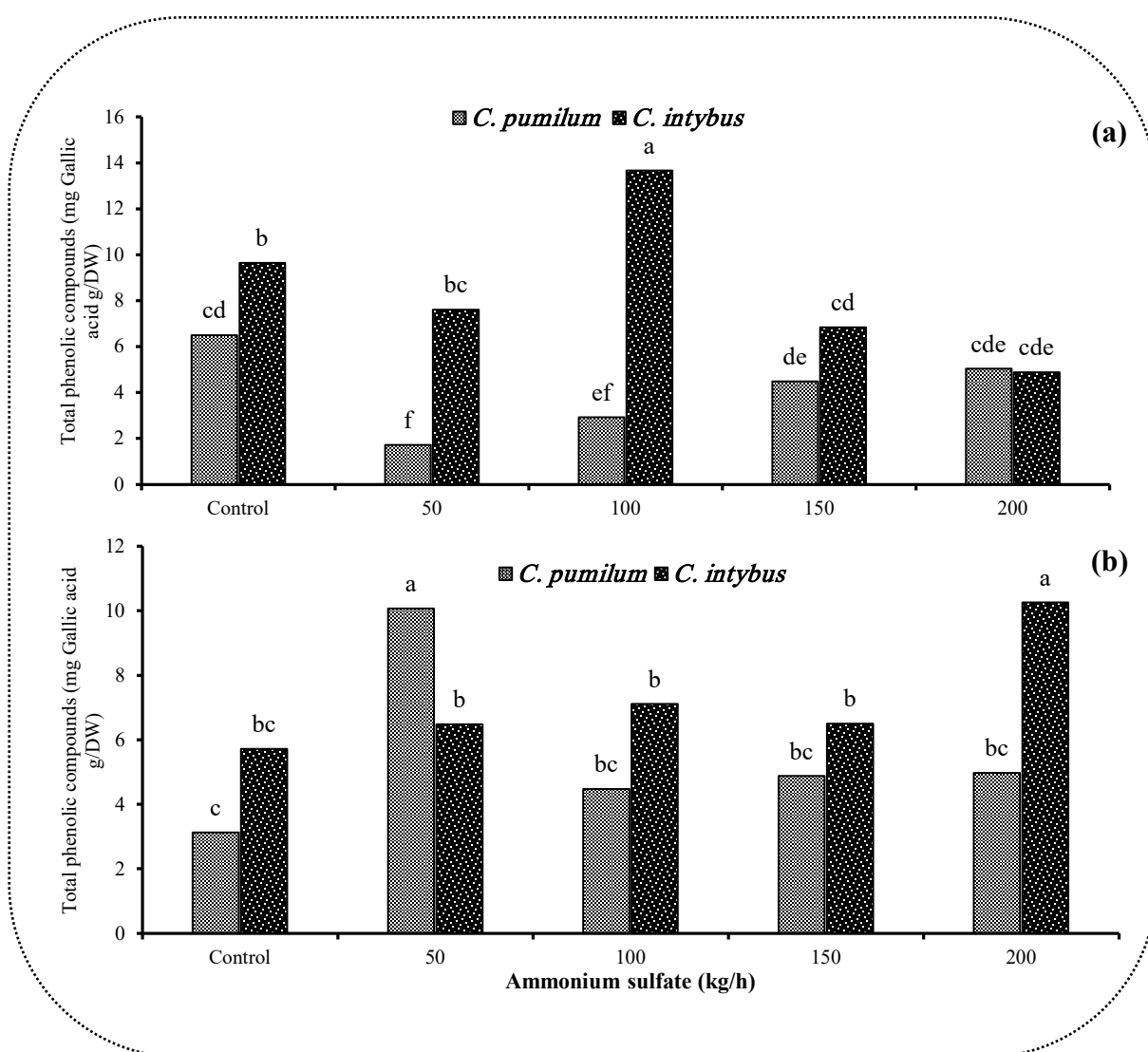
بر گرم نمونه خشک) مربوط به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در گونه پابلند بود در حالی که کمترین میزان (۱/۷۱ میلی گرم) مربوط به تیمار ۵۰ کیلوگرم در گونه پاکوتاه اندازه گیری شد. در گونه پاکوتاه، مقدار ترکیبات فنلی در تیمار شاهد در مقایسه با سایر سطوح سولفات آمونیوم بالاتر بود و با افزایش غلظت سولفات- آمونیوم مقدار این ترکیبات افزایش یافت. به طوری که

ترکیبات فنلی کل

مقایسه میانگین مربوط به ترکیبات فنلی کل در برداشت اول و دوم نشان دهنده تاثیر معنی دار گونه، سولفات آمونیوم و اثر متقابل آن‌ها در این صفت بود (شکل ۴) که نتایج مربوط به اثرات متقابل آن‌ها در شکل ۵ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود در برداشت اول، بیشترین میزان ترکیبات فنلی (۱۳/۶۷ میلی گرم گالیک اسید

کیلوگرم سولفات آمونیوم در کاسنی پابلند و ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در کاسنی پاکوتاه بود و کمترین میزان (۳/۱۲ میلی گرم) مربوط به تیمار شاهد در کاسنی پاکوتاه بود. در کاسنی پابلند، بیشترین میزان در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم مشاهده شد و تفاوت معنی داری بین سایر تیمارها وجود نداشت. در کاسنی پاکوتاه، بیشترین میزان در کاربرد ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم اندازه گیری شد و سایر تیمارها در یک گروه آماری قرار داشتند (شکل ۵-ب).

اختلاف معنی داری بین تیمار ۲۰۰ کیلوگرم و شاهد وجود نداشت. در کاسنی پابلند، با افزایش غلظت کود تا سطوح ۱۰۰ کیلوگرم میزان ترکیبات فنلی به بالاترین مقدار (۱۳/۶۷ میلی گرم) رسید و با افزایش میزان سولفات آمونیوم، مقدار این ترکیبات کاهش یافت (شکل ۵-الف). نتایج مربوط به برداشت دوم با برداشت اول تفاوت محسوسی داشتند؛ به طوری که بیشترین میزان (۱۰/۲۶ و ۱۰/۰۶ میلی گرم) به ترتیب مربوط به تیمارهای ۲۰۰



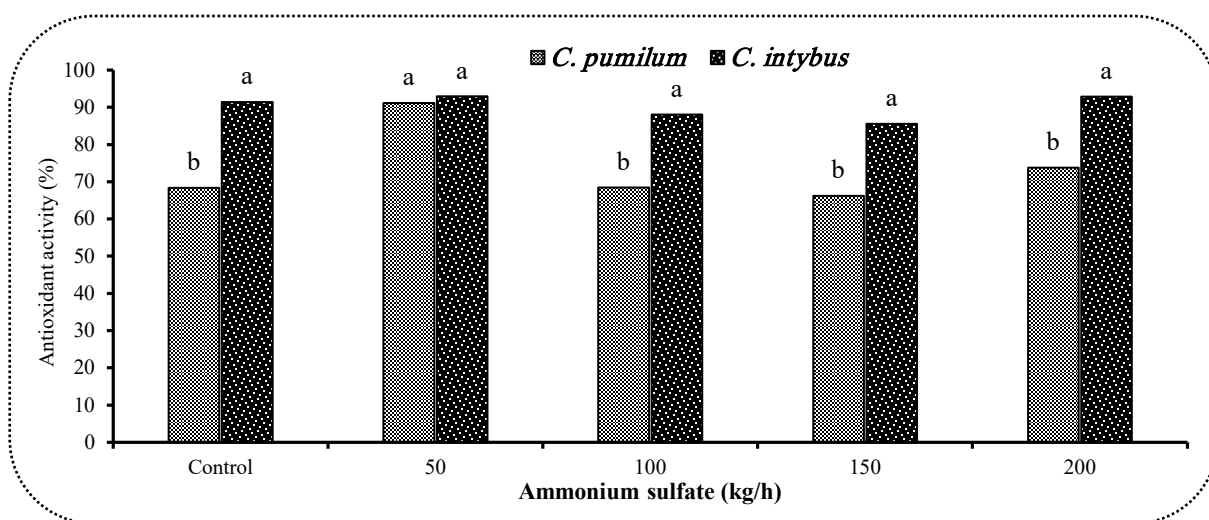
شکل ۵. برهمکنش گونه و سولفات آمونیوم بر میزان ترکیبات فنلی کل برگ گیاه کاسنی (*Cichorium sp.*) در دو زمان برداشت. (a): برداشت اول، (b): برداشت دوم

Figure 5. The interaction effect of plant species and ammonium sulfate on total phenolic compounds in chicory leaf (*Cichorium sp.*) at two harvest time. (a): first harvest, (b): second harvest

فعالیت آنتی اکسیدانی

نظر آماری اختلاف معنی داری وجود نداشت و همگی در یک گروه قرار داشتند. در حالی که در کاسنی پاکوتاه، بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (۹۱/۱۰ درصد) مربوط به کاربرد ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم بود و سایر تیمارها در یک گروه آماری قرار داشتند (شکل ۶).

تاثیر تیمارها بر فعالیت آنتی اکسیدانی در برداشت اول معنی دار نشد در حالی که در برداشت دوم اثرات ساده و متقابل تیمارها بر این صفت معنی دار گردید (جدول ۵). در برداشت دوم، در کاسنی پابلند بین تیمارهای مختلف از



شکل ۶. تغییرات میزان فعالیت آنتی اکسیدانی برگ دو گونه کاسنی تحت تاثیر سطوح مختلف سولفات آمونیوم در برداشت دوم
Figure 6. Changes in antioxidant activity of chicory leaf influenced by different amount of ammonium sulfate at second harvest

متفاوت بود. کاربرد سولفات آمونیوم بر میزان فلاونوها و فلاونولها و فعالیت آنتی اکسیدانی در گونه پابلند تاثیر چندانی نداشت در حالی که بر میزان ترکیبات فنلی کل و فلاونوئیدها موثر بود. در اواسط دوره رشد بیشترین میزان این ترکیبات در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم مشاهده شد در حالی که در اواخر دوره رشد در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم اندازه گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که گونه پاکوتاه نسبت به کاربرد مقادیر بالاتر سولفات آمونیوم از نظر تغییرات مواد موثره حساس است و موجب کاهش مواد موثره آن شد در حالی که در گونه پابلند برعکس بود. البته از نظر شاخص های رشد و عملکرد خلاف این نتایج مشاهده گردید. در سایر مطالعات نیز پاسخ متفاوت گیاهان دارویی مختلف نسبت به تیمارهای تغذیه ای متفاوت بوده است. یافته های قبلی نشان داد که در برخی از گیاهان از جمله ریحان (Nguyen et al., 2010)، گل راعی (Radusiene et al., 2019) و

ترکیبات فنلی از نظر شیمیایی گروه بزرگ و متنوعی هستند که از اسیدهای فنلی ساده تا پلیمرهای بسیار بزرگ و پیچیده مانند تانن ها و لیگنین ها را شامل می شوند. همچنین فلاونوئیدها، فلاونوها و فلاونولها و غیره زیر مجموعه ای از ترکیبات فنلی می باشند (Ghani et al., 2021). با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، تاثیر سطوح مختلف سولفات آمونیوم بر ترکیبات فیتوشیمیایی کاسنی در اواخر دوره رشد نسبت به اواسط دوره رشد بیشتر بود. در گونه پاکوتاه، سطوح مختلف سولفات آمونیوم بر هیچ کدام از صفات بیوشیمیایی اندازه گیری شده در اواسط دوره رشد اثری نداشت در حالی که در اواخر دوره رشد تاثیر معنی داری داشت و بیشترین میزان فلاونوها و فلاونولها، فلاونوئیدها، ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی اکسیدانی در تیمار ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم مشاهده شد و با افزایش مقادیر سولفات آمونیوم، همه صفات بیوشیمیایی کاهش یافتند. در گونه پابلند پاسخها

استویا (Barroso et al., 2018) در دسترس بودن بالای مواد غذایی منجر به افزایش رشد و توسعه گیاه و کاهش در تخصیص منابع تولید متابولیت‌های ثانویه می‌شود در حالی که در برخی از گیاهان دیگر مانند فراسیون (Kheiry et al., 2020)، کاسنی (Gholami et al., 2018)، آرتمیزیای یکساله (Jha et al., 2011)، نعناع (Ram et al., 2006) و ریحان (Sifola and Barbieri, 2006) با افزایش میزان کود، افزایش مواد موثره مشاهده شده است.

توجیه بدون ابهام دلایل چنین تفاوت‌های کمی ترکیبات زیست فعال در معرض نیتروژن دشوار است، اما ظاهراً آن‌ها به مسیرهای بیوستنز متابولیت‌های ثانویه در پاسخ به تفاوت در محیط‌های رشد مربوط می‌شوند. در این راستا، چندین فرضیه برای توضیح اثر نیتروژن بر مبادله بین رشد گیاه و تولید متابولیت‌های ثانویه مبتنی بر کربن ایجاد شده است، که به معنای تغییر در تقسیم اسکلت‌های کربنی بین متابولیسم اولیه و ثانویه است. فرضیه‌های تعادل کربن/ مواد غذایی (Matsuki, 1996) و تعادل تمایز-رشد (Mattson et al., 2005) پیش‌بینی می‌کنند که وقتی زیست توده گیاهی در پاسخ به در دسترس بودن نیتروژن افزایش می‌یابد، غلظت متابولیت‌های ثانویه به دلیل افزایش تقاضای کربن برای متابولیت‌های اولیه کاهش می‌یابد؛ به طوری که تخصیص کربن برای تولید متابولیت‌های ثانویه کاهش می‌یابد. علاوه بر این، محدودیت مواد غذایی، رشد گیاه را بیشتر از کاهش فتوسنتز محدود می‌کند و اسکلت‌های کربنی اضافی به تولید متابولیت‌های ثانویه هدایت می‌شوند. از سوی دیگر، طبق نظر Herms and Mattson (1992)، در اثر مبادله‌ای که بین رشد و دفاع رخ می‌دهد، متابولیسم اولیه محدود می‌شود و این نیز به نوبه خود متابولیسم ثانویه را به عنوان پاسخی به استرس القا می‌کند. Lattanzio و همکاران (2009) گزارش کردند که در شرایط کمبود مواد غذایی، ترکیبات فنلی مرزنجوش افزایش یافت و در همان زمان، افزایش تجمع در پرولین آزاد به عنوان یک پاسخ سلولی معمولی به گونه‌های اکسیژنی واکنش‌گر

(ROS) و به دنبال آن افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی مشاهده شد. بر اساس نتایج پژوهش Polesskaya و همکاران (2006) کمبود نیتروژن عاملی است که به دلیل افزایش واکنش مهار و عدم تعادل انرژی مرتبط با کاهش جذب نیتروژن، بر استرس اکسیداتیو دلالت دارد. به طور کلی، وجود غلظت‌های بالای آمونیوم با افزایش رادیکال‌های اکسیژن و در نتیجه تشکیل شدید ROS همراه است و به دنبال آن متابولیت‌های ثانویه دفاعی ناشی از استرس افزایش می‌یابد (Rios-Gonzalez et al., 2002). با این حال، یافته‌های Jakovljevic و همکاران (2017) در ارتباط با تغییرات فیزیولوژیکی تجمع متابولیت‌های ثانویه در گیاه ریحان وارسته minimum تحت تنش مواد غذایی، تنها یک رابطه ضعیف بین فعالیت فنیل آلانین آمونیا لایز (PAL) (آنزیمی که مسیر بیوستنزی مشتقات فنلی را القا می‌کند) و محتویات ترکیبات فنلی را نشان داد. در این رابطه، یون آمونیوم نشان‌دهنده یک سیگنال استرس است که آنزیم‌های مسئول سازگاری با استرس را فعال می‌کند، اگرچه بر سیستم دفاعی غیر آنزیمی، که شامل فنل‌ها و ظرفیت‌های آنتی اکسیدانی آن‌ها است، تأثیری نمی‌گذارد. علاوه بر این، آمونیوم باعث افزایش قابل توجهی در تجمع کاروتنوئیدها شد که می‌تواند نشان‌دهنده محافظت در برابر تشکیل شدید ROS در گیاهان باشد (Polesskaya et al., 2006). در بیشتر گیاهان کشت شده، رشد و میزان ترکیبات فعال زیستی تحت تأثیر ترکیبی از ژنتیک و فاکتورهای محیطی (آب و هوا، خاک، مواد غذایی و آب) قرار می‌گیرند که بعضی از آن‌ها می‌توانند توسط عملیات کشاورزی دستکاری شوند (Mohtashami et al., 2021). در این تحقیق پاسخ دو گونه کاسنی به افزایش مقدار سولفات آمونیوم یکسان نبود. در گونه پاکوتاه، با افزایش مقدار سولفات آمونیوم، کاهش در میزان ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، فلاون‌ها و فلاونول‌ها و فعالیت آنتی اکسیدانی مشاهده شد. در حالی که در گونه پابلند عکس آن بود. این نتایج نشان می‌دهد که رفتار

کشت تولید زیست توده بیشتر برای عرق گیری یا استفاده تازه خوری می باشد در کاسنی پاکوتاه میزان ۱۵۰ کیلوگرم و در کاسنی پابلند میزان ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات آمونیوم توصیه می شود. همچنین برای تحقیقات آینده پیشنهاد می شود تاثیر سولفات آمونیوم بر رشد و مواد موثره این ارقام در کشت پاییزه نیز مورد بررسی قرار گیرد و مواد موثره موجود در ریشه های غده ای این دو گونه در واکنش به سولفات آمونیوم و فصل کشت مورد پژوهش قرار گیرد. **سپاسگزاری:** نویسندگان بر خود لازم می دانند از معاونت محترم آموزشی و پژوهشی دانشگاه جهرم جهت تامین برخی از هزینه های این پژوهش تشکر به عمل آورند.

منابع

- Al-Snafi, A. E. 2016. Medical importance of *Cichorium intybus* – A review. Journal of Pharmacy, 6(3), 41–56.
- Asle Mohammadi, Z., Mohammadkhani, N., Servati, M. 2021. Effect of iron and zinc foliar application on some biochemical traits of *Thymus* (*Thymus vulgaris* L.) plant under nitrogen deficiency. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 34(3): 658-668.
- Babalar, M., Mohtashami, S., Tabrizi, L., Rowshan, V. 2015. The effect of different levels of Ammonium Sulfate on photosynthesis pigments, essential oil content, yield and component of improved summer Savory (*Satureja hortensis* L. cv. Saturn). Iranian Journal of Horticultural Science, 47(3): 481-490.
- Babalar, M., Mohtashami, S., Tabrizi, L., Rowshan, V. Mohammadi, H. 2020. The effect of ammonium sulfate on growth indices, morphological and phytochemical characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L. cv. Saturn). Iranian Journal of Horticultural Science, 51(2): 273-286.
- Babalar, M., Pirmoradian, M. 2006. Tree Fruit Nutrition. University of Tehran press. Iran. 311p.
- Baghbani-Arani, A., Modares- Sanavi, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojar, M., Adavi, Z. and Deghanzade-Jezi, H. 2019. The effect of water deficit stress on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, trigoneline and grain yield in fenugreek in response to zeolite and nitrogen. Nova Biologica Reperta, 6(2): 229-240.

فیزیولوژیکی کاسنی پاکوتاه همانند گیاهان استویا و گل راعی در توافق با فرضیه های تعادل کربن/مواد غذایی و تعادل تمایز-رشد می باشد اما در مورد کاسنی پابلند همانند گیاهان فراسیون، نعنای و آرتیمیزیای یکساله صدق نمی کند. احتمالاً پاسخ متفاوت کاسنی پابلند و پاکوتاه به افزودن سولفات آمونیوم، به تفاوت های ژنتیکی و نیازهای غذایی بین این دو گونه مرتبط باشد.

نتیجه گیری و پیشنهادات

در این پژوهش، در گونه پاکوتاه کاسنی، بهترین نتیجه در رابطه با بیشتر صفات مورفولوژیک و شاخص های عملکرد در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم به دست آمد در حالی که در گونه پابلند تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم تاثیر بیشتری داشت که نشان می دهد کاسنی پاکوتاه خاصیت کودپذیری بیشتری نسبت به کاسنی پابلند دارد. در رابطه با محتوی کلروفیل، در هر دو گونه با افزایش مصرف سولفات آمونیوم، میزان کلروفیل افزایش یافت و بیشترین میزان در سطح ۲۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم اندازه گیری شد. نتایج مربوط به واکنش های بیوشیمیایی گونه های کاسنی به مصرف کود سولفات آمونیوم و زمان برداشت (اواسط دوره رشد یا پایان دوره رشد) تا حدود زیادی متفاوت بود به طوری که در کاسنی پاکوتاه بیشترین میزان فلاون و فلاونول، فلاونوئید کل و ترکیبات فنلی در تیمار ۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم برداشت دوم مشاهده شد در حالی که در رابطه با کاسنی پابلند بیشترین میزان فلاونوئید کل و ترکیبات فنلی در برداشت اول در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم و در برداشت دوم در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم اندازه گیری شد. تولیدکنندگان کاسنی در مناطق جنوبی کشور که دارای شرایط آب و هوایی و خاکی نزدیک به تحقیق حاضر می باشند، می توانند بسته به نوع کاربرد و هدف از کشت اقدام به استفاده از میزان مناسب کود سولفات آمونیوم داشته باشند. برای مثال اگر هدف از

- Jha, P., M. Ram, M.A. Khan, U. Kiran, Mahmooduzzafar and M.Z. Abdin. 2011. Impact of organic manure and chemical fertilizers on artemisinin content and yield in *Artemisia annua* L. Industrial Crops and Products, 33: 296-301.
- Kheiry, A., Zarandood, M., rezaie allolo, A., Barzegar, T., Aelaie, M. 2020. Effects of nitroxin and ammonium sulfate on some of the traits of *Marrubium vulgare* L. Journal of Plant Process and Function. 9(38): 415-426.
- Lattanzio, V., Cardinali, A., Ruta, C., Fortunato, I.M., Lattanzio, V.M., Linsalata, V., Cicco, N., 2009. Relationship of secondary metabolism to growth in oregano (*Origanum vulgare* L.) shoot cultures under nutritional stress. Environmental and Experimental Botany, 65 (1): 54-62.
- Matsuki, M., 1996. Regulation of plant phenolic synthesis: from biochemistry to ecology and evolution. Australian Journal of Botany, 44: 613-634.
- Mattson, W.J., Julkunen-Tiitto, R., Herms, D.A., 2005. CO₂ enrichment and carbon partitioning to phenolics: do plant responses accord better with the protein competition or the growth-differentiation balance models? Oikos, 111: 337-347.
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M.R., Conforti, F., Statti, G., De Cindio, B., Houghton, P.J., Menichini, F. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. Food Chemistry, 114(2), 553-560.
- Mohtashami, S., Babalar, M., Tabrizi, L., Ghani, Rowshan, V., Shokrpour, M. 2021. Essential oil constituents and variations in antioxidant compounds of dried summer savory (*Satureja hortensis* cv. Saturn) affected by storage conditions and ammonium sulfate. Food Science & Nutrition, 9: 4986-4997.
- Mousavi, F., Marashi, S.K., Babaei Nejad, T. 2019. Effect of application of sulfur and thiobacillus on improvement of morpho-physiological characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Khuzestan lands. Quarterly Journal of Plant Production, 9(2): 97-106.
- Nguyen, Ph., Kwee, E., Niemeyer, E. 2010. Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. Food Chemistry, 123, 1235-1241.
- Oke, F., B., Aslim, S., Ozturk and S. Altundag. 2009. Essential oil composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Satureja cuneifolia* Ten. Food Chemistry, 112: 874-879.
- Bahmani, M., Shahinfard, N., Rafieian-Kopaei, M., Saki, K., Shahsavari, S., Taherikalani, M., Ghafourian, S., Baharvand-Ahmadi, B. 2015. Chicory: A review on ethnobotanical effects of *Cichorium intybus* L. Journal of Chemical and Pharmaceutical Science, 8(4), 672-682.
- Barroso, B.M.R., Martins, N., Barros, L., Antonio, A.L., Rodrigues, M.A., Sousa, M.J., Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R., 2018. Assessment of the nitrogen fertilization effect on bioactive compounds of frozen fresh and dried samples of *Stevia rebaudiana*. Food Chemistry, 243: 208-213.
- Dere, S., T., Gunes, R., Sivaci. 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Journal of Botany, 22: 13-17.
- Doaei, F., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., Balandari, A. 2018. The effect of application of organic and biological fertilizers on biomass and polyphenols content in the leaves of chicory (*Cichorium pomilum* Jacq.). Journal of Agroecology, 9(4): 910-920. (In Persian)
- Ghani, A., Mohtashami, S., Jamalian, S. 2021. Peel essential oil content and constituent variations and antioxidant activity of grapefruit (*Citrus × paradisi* var. red blush) during color change stages. Journal of Food Measurement and Characterization, 15: 4917-4928.
- Gholami, H., Saharkhiz, M.J., Raouf Fard, F., Ghani, A., Nadaf, F. 2018. Humic acid and vermicompost increased bioactive components, antioxidant activity and herb yield of Chicory (*Cichorium intybus* L.). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 14: 286-292.
- Hazrati, S., Khorizadeh, S., Sadeghi Bakhtouri, A.R. 2020. Growth improvement, yield and nitrogen use efficiency under different nitrogen regimes in sage with zeolite application. Journal of Plant Process and Function, 9(39): 273-288.
- Heidari, M. and Rezapour. A. R. 2011. Effect of Water Stress and Sulfur Fertilizer on Grain Yield, Chlorophyll and Nutrient Status of Black Cumin (*Nigella Sativa* L.). Journal of Crop Production and Processing, 1 (1): 81-90.
- Herms, D.A., Mattson, W.J., 1992. The dilemma of plants: to grow or defend. The Quarterly Review of Biology, 67 (3): 283-335.
- Jakovljević, D., Stanković, M., Bojović, B., Topuzović, M., 2017. Regulation of early growth and antioxidant defense mechanism of sweet basil seedlings in response to nutrition. Acta Physiologiae Plantarum, 39: 243.

- Safari Zargani, H., Nadian Qomsheh, H., Rang Zan, N., MoradiTalavat, M. 2021. Effect of different levels of salinity, zinc, and sulfur inoculated with *Thiobacillus* on rapeseed growth parameters and some nutrient uptake (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Soil Research, 34(4): 529-545.
- Shabani, G., Khoshkho, Sh., Khorami, M., Jafarzadeh, M., Akbarabadi, A. 2016. Effect of sulfur and biofertilizers application on yield and yield components of linseed (*Linum usitatissimum* L.). Agronomy Journal, 108: 35-42.
- Shafea, L., Safari, M., Emam, Y., Mohammadi Nejad, Gh. 2011. Effect of nitrogen and zinc fertilizers on leaf zinc and chlorophyll contents, grain yield and chemical composition of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. Seed and Plant Production Journal, 27(2), 235-246.
- Sifola, M.I., Barbieri, G. 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. Scientia Horticulture, 108: 408-413.
- Singh, M., Masroor, M., Khan, A., Naeem, M. 2016. Effect of nitrogen on growth, nutrient assimilation, essential oil content, yield and quality attributes in *Zingiber officinale* Rosc. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 15(2): 171-178.
- Tabatabaei, S.J. 2014. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Tabriz University press. Iran. 544p.
- Trudel, M.J., Ozbun, J.L. 1970. Relationship between chlorophylls and carotenoids of ripening tomato fruit as influenced by potassium nutrition. Journal of Experimental Botany, 21(4): 881-88.
- Wojdylo, A., J. Oszmianski and R. Czemerys. 2007. Antioxidant activity and phenolic compound in 32 selected herbs. Food Chemistry, 1005: 940-949.
- Yadegari, M., Barzegar, R. 2010. The effect of sulphur and tiobacillus on nutrient absorption, growth and essential oil in Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.). Journal of Herbal Drugs, 1: 35-40.
- Yaghoobi, F., Souri, M.K., Arzani, K. 2018. Effects of spraying ammonium sulfate on growth, yield and qualitative traits of cucumber plants under greenhouse conditions. Journal of Soil and Plant Interactions. 9(1): 41-45.
- Zare, Sh., Sirousmehr, A., Ghanbari, A., Tabatabaei, J. 2013. Changes in essential oil and some quantitative properties of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under the influence of different levels of nitrogen fertilizer and compost solid waste. Journal of Agricultural Research, 11 (1): 191-199.
- Perović, j., Tumbas Šaponjac, v., Kojić, j., Krulj, j., Moreno, D.A., Garcia-Viguera, C., Bodroža-solarov, M., Ilić, N. 2021. Chicory (*Cichorium intybus* L.) as a food ingredient – nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A Review. Food Chemistry. 336, 1-55.
- Petropoulos, S. A., Levizou, E., Ntatsi, G., Fernandes, A., Petrotos, K., Akoumianakis, K., Barros, L., Ferreira, I. C.F.R. 2017. Salinity effect on nutritional value, chemical composition and bioactive compounds content of *Cichorium spinosum* L. Food Chemistry, 214, 129-136.
- Polesskaya, O.G., Kashirina, E.I., Alekhina, N.D., 2006. Effect of salt stress on antioxidant system of plants as related to nitrogen nutrition. Russian Journal of Plant Physiology, 53: 186-192.
- Popova, M.P., V., Bankova, D., Butovska and V. Petkov. 2004. Validated methods for the quantification of biologically active constituents of poplar-type propolis. Phytochemistry Analysis, 15(4): 235-240.
- Radusiene, J., Marksa, M., Ivanauskas, L., Jakstas, V., Caliskan, O., Kurt, D., Odabas, M.S., Cirak, C. 2019. Effect of nitrogen on herb production, secondary metabolites and antioxidant activities of *Hypericum pruinatum* under nitrogen application. Industrial Crops and Products, 139: 111519.
- Ram, D., M. Ram and R. Singh. 2006. Optimization of water and nitrogen application to menthol mint (*Mentha arvensis* L.) through sugarcane trace mulch in a sandy loam soil of semiarid subtropical climate. Bioresource Technology, 97: 886-893.
- Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, Gh.R., Eivazi, A.R., Hoseini, S.M.T. 2013. Effect of Biofertilizers on Macro and Micro Nutrients Uptake and Essential Oil Content in *Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Field Crops Research, 11 (1): 179-190.
- Ramezanifar, H., Yazdanpanah, N., Glokar Hamzee Yazd, H., Tavousi, M., Mahmoodabadi, M. 2021. Effects of Different Levels of Water, Salinity and Nitrogen Fertilizer on Growth Indices and Water Use Efficiency of Spinach. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 3(15): 690-700.
- Rios-Gonzalez, K., Erdei, L., Lips, S.H., 2002. The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources. Plant Science, 162 (6): 923-930.
- Rousta, H. R. 2006. The comparison of ammonium or nitrate-grown lettuce and spinach in a hydroponic system. Journal of Soil and Plant Interactions, 1 (1): 57-64.

Effects of Foliar Application of Gibberellic Acid, Copper Sulphate and Potassium Sulphate on Quantitative and Qualitative Characteristics of Pomegranate Fruit

Fereshteh Pourshaip¹, Javad Erfani-Moghadam^{2*}, Abdolkarim Zarei³

1- Former M.Sc. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam (f.pourshaip@ilam.ac.ir)

2- Corresponding Author, Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam (j.erfani@ilam.ac.ir)

3- Associate Professor in Department of Plant Production and Genetic (Biotechnology), Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran. (zareil4@gmail.com)

Received Date: 16/06/2022

Accepted Date: 19/10/2022

Abstract

Introduction: Pomegranate (*Punica granatum*) belongs to the Lytraceae family and is one of the most important fruit trees in Iran. Although pomegranate is considered as a low expectation fruit species and is relatively tolerant to various unfavorable conditions such as hot and dry climate, salty soil, and water deficit, however, commercial production of this fruit crop is faced with various challenges including different physiological disorders and biotic/abiotic stresses that can negatively affect pomegranate fruit yield, quality, and commercial acceptance. Fruit skin sunburn and fruit cracking are among the main physiological disorders that cause serious economic losses to the pomegranate growers all around the world and may account for losses of up to 40-50 % of the total fruit production in different pomegranate production areas.

Material and methods: To reduce physiological disorder of fruit cracking in pomegranate cultivar cv. Malase-Saveh, gibberellic acid, potassium sulfate and copper sulfate treatments were utilized as a factorial design in the frame of randomized complete block design with three replications. Gibberellic acid (0 and 100 ppm), potassium sulfate (0 and 5000 ppm) and copper sulfate (0 and 2500 ppm) were sprayed in three stages of fruit development in the late spring and mid-summer. The fruit samples were harvested randomly from different sides of the pomegranate trees at the ripening stage of fruit and some characteristics of fruit were measured.

Results and discussion: Results of analysis of variance has illustrated that most of the evaluated parameters were significantly affected by foliar treatments. The number of fruit cracking was counted for each tree and results showed that fruit cracking was influenced by the application of gibberellic acid, potassium sulfate and copper sulfate, as the percentage of fruit cracking was reduced significantly with application of these compounds. The fruit weight, peel thickness, moisture percentage of peel, TSS and titratable acidity was significantly increased by 100 ppm GA₃ compared to the control sample. The highest fruit weight (181.7 gr) was obtained in 100 mg gibberellic acid treatment, while this parameter was 160.75 gr in the control plant. The lowest level of fruit cracking was related to gibberellic acid treatments with levels of 100 mg/l with mean values of 14.10%. The highest amount of fruit cracking was observed in control plant (23.38%). Finally, fruit cracking percentage was reduced by the rise of peel thickness, moisture percentage of peel, and titratable acidity in fruit.

Conclusions: In this study, the effects of gibberellic acid, copper sulfate and potassium sulfate were investigated on the fruit cracking of pomegranate fruit. The overall results showed that the application of gibberellic acid and copper sulfate significantly affected some of the attributes of pomegranate fruit and finally led to the reduced fruit cracking in 'Malase-Saveh' cultivar. The results obtained from this research indicate that the fruit cracking of pomegranate is related to many physicochemical characteristics of the fruit and tree. The results of this investigation can enhance our knowledge about the major contributing factors on pomegranate fruit cracking, and will be beneficial for making sound horticultural practices to reduce the detrimental effects of pomegranate physiological disorders.

Keywords: Fruit cracking, Gibberellic acid, Nutrient elements, Pomegranate.

تأثیر محلول پاشی اسیدجیبرلیک، سولفات مس و سولفات پتاسیم بر برخی شاخص‌های کمی و کیفی میوه انار

فرشته پورشیب^۱، جواد عرفانی مقدم^{۲*}، عبدالکریم زارعی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام
(f.pourshaip@ilam.ac.ir)

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام
(j.erfani@ilam.ac.ir)

۳- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم
(zareil4@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۶

چکیده

انار با نام علمی (*Punica granatum* L.) متعلق به خانواده Lytraceae یکی از مهم‌ترین درختان میوه نیمه‌گرمسیری در ایران می‌باشد. در این تحقیق به منظور کاهش ترکیدگی و بهبود سایر صفات کمی و کیفی میوه انار رقم ملس ساوه، از تیمار اسید جیبرلیک (صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، سولفات مس (صفر و ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و سولفات پتاسیم (صفر و ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. محلول‌پاشی ترکیبات مذکور در سه مرحله رشدی میوه در اواسط خرداد، تیر و مرداد صورت گرفت. نمونه‌های میوه به صورت تصادفی از بخش‌های مختلف درختان انار در زمان رسیدگی کامل جمع‌آوری شدند و برخی از خصوصیات کمی و کیفی میوه مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه واریانس نشان داد تفاوت معنی‌داری در برخی شاخص‌های مورد بررسی وجود دارد. تعداد میوه‌های ترک‌خورده در هر درخت شمارش شدند و نتایج نشان داد ترکیدگی میوه تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید جیبرلیک، سولفات مس و سولفات پتاسیم قرار می‌گیرد و به طور معنی‌داری با محلول‌پاشی کاهش یافت. وزن میوه، ضخامت پوست میوه، درصد رطوبت پوست میوه، مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسیون در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک به طور معنی‌داری در مقایسه با نمونه‌های شاهد افزایش یافت. بیشترین میزان وزن میوه (۱۸۱/۷ گرم) در تیمار اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم به‌دست آمد در حالیکه این شاخص در نمونه شاهد ۱۶۰/۷۵ گرم بود. نتایج کلی نشان داد درصد ترکیدگی میوه با افزایش ضخامت پوست میوه، درصد رطوبت پوست میوه و اسیدیته قابل تیتراسیون کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: انار، اسید جیبرلیک، ترکیدگی میوه، عناصر غذایی.

مقدمه

ایران به عنوان مبدا اصلی پیدایش و یکی از مراکز تنوع انار محسوب می‌شود (Zarei et al., 2020). شکافتن یا ترک خوردن میوه یک اختلال فیزیولوژیکی عمده است که بر تولید و کیفیت انار تأثیر منفی می‌گذارد (Singh et al., 2020). عارضه ترک‌خوردگی میوه تقریباً در تمام مناطق انارکاری دنیا خصوصاً در مناطق گرم و خشک رواج دارد و یکی از راهکارهای موثر برای کاهش ترک‌خوردگی میوه، مدیریت مناسب باغ و کاربرد برخی عناصر غذایی می‌باشد (Karami et al., 2021; Olyaie Torshiz et al., 2017). نتایج بسیاری از تحقیقات علمی نشان بیانگر این است که آبیاری نامنظم، آبیاری یا بارندگی بعد از یک دوره خشکی، کاهش ناگهانی دما و تاخیر در برداشت محصول در ترکیب میوه انار نقش موثری دارند و تغذیه مناسب و کاربرد برخی از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی مانند اسید جبرلیک می‌توانند شدت این عارضه را تحت تأثیر قرار دهند (Mercure, 2007).

عناصر غذایی نقش مهمی در رشد، نمو و افزایش عملکرد کمی و کیفی میوه انار دارد (Hamouda et al., 2015). کمبود مواد مغذی به ویژه بور، کلسیم، روی و پتاسیم (Ghariesheikhbayat, 2006; Saei et al., 2014) به طور مستقیم با ترک خوردن میوه در انار مرتبط است. مواد مغذی مانند پتاسیم، کلسیم، روی، مس، مولیبدن و منگنز در برخی فرایندهای فیزیولوژیکی در طول دوره رشد میوه نقش مهمی دارند و کمبود آنها منجر به ترک خوردن میوه می‌شود (Sheikh and Manjula, 2006). همچنین پیشنهاد شده که استفاده از کودهای حاوی پتاسیم و مس می‌تواند جایگزینی برای قارچ‌کش‌های مصنوعی باشد و به تولید میوه با کیفیت بدون ایجاد اثرات نامطلوب بر محیط زیست کمک کند (Sajid et al., 2022). در پژوهشی، محلول پاشی نترات پتاسیم به طور قابل توجهی باعث افزایش عملکرد و کیفیت میوه در درختان میوه هسته‌دار شد (Lester et al., 2006). محلول پاشی پتاسیم در هلو باعث

بهبود قابل توجهی در محتوای مواد جامد محلول و ظاهر میوه گردید (Mimoun et al., 2008). پتاسیم همچنین با ایجاد انبساط سلولی و افزایش وزن میوه با تنظیم پدیده اسمز باعث افزایش اندازه میوه می‌شود (Ruiz, 2005). پتاسیم نقش مهمی در آماده‌سازی جذب عناصر و انتقال آن به بافت‌های مختلف گیاه دارد و از این رو مستقیماً به میوه‌دهی کمک می‌کند (Khayyat et al., 2012). عنصر مس بعنوان کوفاکتور عملکرد برخی آنزیم‌ها را بهبود بخشیده و نقش مهمی در فتوسنتز و تولید لیگنین ایفا می‌کند و باعث افزایش استحکام سلولی می‌شود (Ram and Bose, 2000).

بهبود صفات کمی و کیفی میوه انار تحت تیمارهای مختلف و کاربرد برخی عناصر غذایی از اهمیت بالایی در تحقیقات مربوط به انار برخوردار است. با توجه به اینکه میوه انار بیشتر در حاشیه مناطق کویری و قسمت‌های خشک با تابستان‌های گرم و خشک پرورش داده می‌شود، تحت تاثیر تنش‌های مختلف دچار عارضه‌های فیزیولوژیکی از جمله ترکیدگی و آفتاب سوختگی و کاهش عملکرد می‌گردد. تقویت درخت بوسیله محلولپاشی با برخی عناصر غذایی و تنظیم کننده‌های رشد بعنوان راهکاری برای مقابله با اثرات تاثیرات منفی اقلیم و کاهش عارضه‌های فیزیولوژیکی در درختان میوه مد نظر می‌باشد. در این پژوهش محلول پاشی عناصر غذایی از جمله مس و پتاسیم به همراه اسید جبرلیک مورد استفاده قرار گرفت تا تاثیر این ترکیبات در کاهش عارضه ترکیدگی و افزایش خصوصیات کمی و کیفی میوه انار بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در یک باغ تجاری انار در روستای چم جنگل از توابع شهر لومار در شهرستان سیروان استان ایلام انجام شده است. منطقه مورد مطالعه با طول جغرافیایی (۷۷° ۸۷' ۴۶")، عرض جغرافیایی (۳۳° ۵۰' ۷۴") و در ارتفاع ۷۵۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. حداکثر

مطلق دما در این منطقه ۶/۶± و حداقل مطلق دما ۲- درجه سانتیگراد، میانگین حداکثر دما در منطقه ۱/۲۷ درجه سانتیگراد و میانگین حداقل آن، ۵/۱۳ درجه سانتیگراد با متوسط بارندگی ۵۰۸ میلی‌متر در سال می‌باشد.

در تحقیق حاضر، اثرات محلول پاشی اسید جیبرلیک، سولفات پتاسیم و سولفات مس بر کنترل ترکیدگی و برخی خصوصیات کمی و کیفی میوه انار رقم ملس ساوه بررسی شد. درختان انار ۱۱ ساله با فاصله کشت ۳ متر روی ردیف و ۴ متر بین ردیف بودند و باغ مورد مطالعه مجهز به سیستم آبیاری به شکل قطره‌ای بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار انجام شد. در هر تکرار، برای هر تیمار دو نمونه درخت انار وجود داشت. تیمارها شامل عنصر مس در دو غلظت (صفر و ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر)، سولفات پتاسیم در دو غلظت (صفر و ۵۰۰۰ میلی گرم در لیتر) و اسید جیبرلیک در دو غلظت (صفر و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و در سه مرحله در اواسط خرداد، تیر و مرداد بر روی درختان محلول پاشی شدند. برای تیمار شاهد از آب معمولی استفاده شد. در هر نوبت محلول پاشی تا شستشوی کامل تاج درخت ادامه می‌یافت، بطوریکه قطرات آب از سطح

رابطه ۱:

$$\text{درصد رطوبت پوست میوه} = \frac{(\text{وزن خشک پوست میوه} - \text{وزن تر پوست میوه})}{\text{وزن تر پوست میوه}} \times 100$$

$$100 \times (\text{درصد رطوبت پوست میوه} - 1) = \text{درصد ماده خشک پوست میوه}$$

درخت شروع به چکیدن می‌کرد. در زمان رسیدن میوه، تعداد کل میوه و همچنین میوه ترک‌خورده از هر درخت شمارش شدند و از هر درخت تعداد ۱۰ میوه سالم و ترک خورده به صورت تصادفی انتخاب و برای ارزیابی صفات به آزمایشگاه دانشگاه ایلام منتقل شدند. برای اندازه‌گیری درصد ترکیدگی و آفتاب سوختگی میوه از نسبت تعداد میوه‌های ترک‌خورده یا آفتاب سوخته به تمام میوه‌های روی درخت استفاده شد (Hegazi et al., 2014). وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی دقیق دیجیتالی با دقت یک صدم گرم برآورد شد و میانگین وزن حاصل به عنوان وزن میوه در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک پوست میوه از ترازوی دقیق الکترونیکی تا دقت یک صدم گرم استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن تر پوست میوه، تکه‌ای از پوست توزین گردید و برای تعیین وزن خشک، نمونه مورد نظر در پاکت کاغذی گذاشته شد و به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد و پس از خشک شدن دوباره توزین شد. درصد رطوبت و ماده خشک پوست از رابطه ۱ برآورد گردید.

بریکس اندازه‌گیری شد. اسیدیته کل عصاره میوه به روش تیتراسیون با تیترا کردن ۵ میلی‌لیتر عصاره میوه با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تا رسیدن به پی‌اچ ۸/۲ اندازه‌گیری شد. pH عصاره میوه‌ها توسط دستگاه pH متر قرائت شد (Zarei, 2017). هم‌چنین نمونه‌برداری از خاک برای ارزیابی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در باغ مورد آزمایش انجام شد. بدین منظور سطح خاک از

ضخامت پوست در همه میوه‌های جمع‌آوری شده در چند نقطه با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. میانگین اعداد حاصل به عنوان ضخامت پوست در نظر گرفته شد. تعداد صد آریل از هر میوه شمارش و با ترازوی دقیق الکترونیکی با دقت یک صدم گرم اندازه‌گیری گردید. بعد از توزین آریل‌ها، عصاره تهیه گردید و درصد مواد جامد محلول به وسیله رفراکتومتر دستی بر حسب درجه

بلوک تهیه شد و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه ایلام اندازه‌گیری شد (جدول ۱). تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱/۳) انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

بقایای گیاهی پاک شد و نمونه‌برداری در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر و در سایه‌انداز درخت صورت گرفت (Shahid et al., 2014). نمونه‌برداری از چند قسمت مختلف در باغ و برای هر بلوک به شکل جداگانه انجام شد و در نهایت نمونه‌های هر بلوک مخلوط و یک نمونه مرکب برای هر

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در باغ مورد بررسی

Table 1. Some of the physical and chemical properties of soil in the experimental orchard

Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture	Soil EC (ds/m)	SOC (Soil Organic Carbon) (%)	Soil pH	Nitrogen (%)	Phosphor (%)	Potassium (%)	TNV (Total Neutralizing Value) (%)
37	34	29	Sandy loam	0.52	1.90	7.21	0.19	12.7	244	0.37

کاهش درصد ترکیب میوه انار با کاربرد جیبرلیک اسید، سولفات پتاسیم و سولفات مس به تنهایی یا ترکیب آنها می‌تواند ناشی از نقش جیبرلیک اسید در کشسانی و انعطاف پذیری پوست میوه باشد و دانشمندان بسیاری به این نقش جیبرلیک اسید اشاره نموده‌اند (Rouhi and Esmailzadeh, 2013). در مورد نقش اسید جیبرلیک در افزایش خاصیت کشسانی به دیواره سلولی چندین فرضیه به شرح زیر وجود دارد. کاربرد اسید جیبرلیک برون زاد می‌تواند با تغییراتی که در الگوی بیان ژنها ایجاد می‌کند، پروسه‌های متابولیسمی، اجزای کیفی و عملکردی محصولات را تحت تاثیر قرار دهد (Shah et al., 2023). مطالعات بررسی بیان ژن حاکی از این است که کاربرد برون زاد GA3 باعث القاء تغییراتی در سطوح رونوشت‌های ژن‌های درگیر در مسیر بیوسنتز و سیگنالینگ GA، و همچنین ژنهای وابسته به بیوسنتز اکسین، سیتوکین و دیواره سلولی ثانویه می‌گردد (Qian et al., 2018). این نتایج پیشنهاد می‌کند که اسید جیبرلیک ممکن است با هورمونهای دیگر از قبیل اکسین و سیتوکین برهمکنش داشته باشد و تنظیم مجدد بیان ژنهای دخیل در بیوسنتز دیواره سلولی ثانویه و فرایند ساخته شدن آوندهای چوبی (xylogenesis) گردد (El-Tohamy et al., 2023)، که در نهایت این تغییرات می‌توانند علاوه بر تغییر خاصیت کشسانی سلولی منجر به هدایت بهتر آب و مواد غذایی از

نتایج

نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص ترکیب‌دگی و آفتاب سوختگی میوه نشان داد که تفاوت معنی‌داری در کاهش میزان ترکیب‌دگی و آفتاب سوختگی پوست میوه انار در برخی از تیمارهای مورد بررسی وجود دارد (جدول ۲). کاربرد اسید جیبرلیک با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش معنی‌داری در شاخص ترکیب‌دگی میوه (۱۰/۱۴٪) در مقایسه با شاهد (۲۳/۳۸٪) شده است. همچنین ترکیب اسید جیبرلیک با سولفات مس در کاهش ترکیب‌دگی میوه (۱۴/۴۵٪) تاثیر مثبت داشته است (شکل ۱). شاخص آفتاب سوختگی میوه در اثر کاربرد اسید جیبرلیک، سولفات پتاسیم و سولفات مس کاهش یافت. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها، تفاوت معنی‌داری در وزن میوه بین محلول پاشی اسید جیبرلیک و شاهد در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین میزان وزن میوه با میانگین ۱۸۱/۷۰ گرم مربوط به تیمار اسید جیبرلیک در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم و کمترین میزان این صفت در مورد نمونه‌های شاهد ۱۶۰/۷۵ گرم حاصل شد. نتایج نشان داد سایر تیمارهای مورد بررسی در افزایش وزن میوه تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند. همچنین تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف مورد بررسی در صفت وزن صد آریل مشاهده نشد.

ریشه‌ها به اندامهای هوایی گردد. تیمار جو دو سر با اسید جیبرلیک منجر به افزایش ۱۷ برابری در اسیدیته دیواره سلولی در مقایسه با شاهد شده است که این میزان در مقایسه با تاثیر در خاصیت کشسانی با کاربرد اکسین که به میزان ۱۰ برابر استفاده بسیار ناچیز است. همچنین افزایش خاصیت کشسانی دیواره سلولی می‌تواند به دلیل تغییر در ترکیبات این دیواره باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اسید جیبرلیک سنتز دیواره سلولی را افزایش می‌دهد (Rouhi

and Esmacilzadeh, 2013). نتایج برخی گزارش‌ها نشان داد اسید جیبرلیک سبب هیدرولیز نشاسته و سوکروز به گلوکز و فروکتوز می‌شود. این قندهای ۶ کربنه علاوه بر تامین انرژی لازم برای تشکیل دیواره سلولی در نتیجه تنفس، سبب کاهش موقتی پتانسیل آب سلولی شده که در نتیجه آن آب به سرعت وارد سلول شده و افزایش حجم سلول می‌شود.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر اسید جیبرلیک، سولفات پتاسیم و سولفات مس بر خصوصیات کمی و کیفی میوه انار رقم ملس ساوه

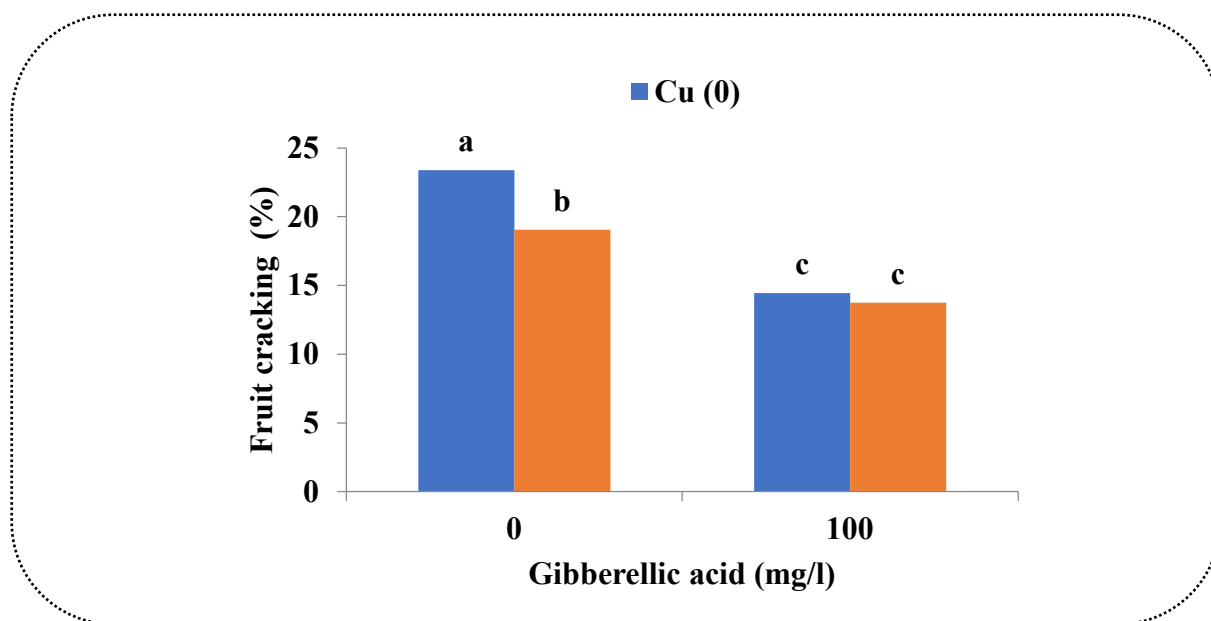
Table 2. Variance analysis of gibberellic acid, potassium sulfate and copper sulfate treatments on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate cv. Malase-Saveh

Mean of Squares											
S. O. V.	df	Fruit cracking	Fruit sunburn	Fruit weight	100 arils weight	Peel thickness	Fruit peel moisture	Fruit peel dry matter	Total soluble solids	Titrateable acidity	pH
Block	2	0.21 ^{ns}	21.31 ^{ns}	397 ^{ns}	6.94 ^{ns}	0.15 ^{ns}	53.69 ^{ns}	53.69 ^{ns}	1.5 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.10 ^{ns}
GA ₃	1	303.8 ^{**}	319.7 ^{**}	2635 ^{**}	39.3 ^{ns}	1.26 [*]	733 ^{**}	733 ^{**}	12.4 ^{**}	0.7 ^{**}	0.0 ^{ns}
K ⁺	1	4.16 [*]	102.5 [*]	189 ^{ns}	4.65 ^{ns}	1.76 [*]	7.39 ^{ns}	7.39 ^{ns}	3.76 [*]	0.0 ^{ns}	0.02 ^{ns}
Cu ²⁺	1	38 ^{**}	64 ^{**}	10.01 ^{ns}	2.34 ^{ns}	1.5 [*]	129.2 [*]	129.2 [*]	0.07 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.13 ^{ns}
GA ₃ × K ⁺	1	9.17 ^{ns}	11.8 ^{ns}	1211 ^{ns}	23.03 ^{ns}	0.04 ^{ns}	5.77 ^{ns}	5.77 ^{ns}	0.4 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.03 ^{ns}
GA ₃ × Cu ²⁺	1	19.87 ^{**}	6.4 ^{ns}	41.34 ^{ns}	0.55 ^{ns}	0.26 ^{ns}	60.1 ^{ns}	60.1 ^{ns}	2.22 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.0 ^{ns}
Cu ²⁺ × K ⁺	1	0.55 ^{ns}	1.72 ^{ns}	46.76 ^{ns}	8.51 ^{ns}	0.09 ^{ns}	16.17 ^{ns}	16.17 ^{ns}	2.1 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}
GA ₃ × Cu ²⁺ × K ⁺	1	4.5 ^{ns}	10.14 ^{ns}	396 ^{ns}	7.46 ^{ns}	0.0 ^{ns}	8.2 ^{ns}	8.2 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.75 ^{ns}
Error	14	2.15	6.78	313	9.97	0.27	23.74	23.74	0.67	0.0	0.07
C.V. (%)	-	8.31	13.8	10.13	12.34	20.73	6.68	6.68	5.15	4.78	8.74

ns, *, **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. ns, *, **: Non significantly difference, significantly difference at 5% and 1% of probability level, respectively.

به عقیده دانشمندان عنصر مس در فرآیندهای فیزیولوژیکی در طول دوره رشد میوه انار درگیر است و کمبود آن باعث خشکی اندام می‌شود (Sheikh and Majula, 2012) و محلول پاشی با سولفات مس ترکیدگی میوه را کاهش می‌دهد. بعنوان یک کوفاکتور، عنصر مس مرکز فعال آنزیمهای مختلفی می‌باشد که در فعالیتهای بیولوژیکی متعددی از قبیل انتقال پروتئین، متابولیسم دیواره سلولی، انتقال الکترون در تنفس/فتوسنتز، و انتقال سیگنال هورمون دخیل می‌باشند (Chen et al., 2022).

علاوه بر تاثیرات مخربی که بر رشد و نمو و ساختار مریستم و برگ گیاه دارد، کمبود مس می‌تواند با کاهش تشکیل دیواره سلول و فرایند چوبی شدن (لیگنیفیکاسیون) در برخی بافت‌ها باعث کاهش انتقال آب گردد و کاهش تولید چوب در درختان جنگلی را به همراه داشته باشد (Chen et al., 2022). بنابراین به نظر می‌رسد بهبود سیستم انتقال آب و به همراه آن عناصر مغذی که در اثر کاربرد اسید جیبرلیک و سولفات مس حاصل شده است در کاهش ترکیدگی میوه انار موثر بوده است.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل اسید جیبرلیک و سولفات مس بر درصد ترکیدگی میوه انار رقم ملس ساوه.

Figure 2- Mean comparison interaction effect of gibberellic acid and copper sulfate on fruit cracking in pomegranate fruit cv. Malase-Saveh.

و سولفات مس به ترتیب ۲/۷۹ و ۲/۷۷ میلی متر ثبت شد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، تفاوت معنی داری در درصد رطوبت و ماده خشک پوست میوه انار بین کاربرد اسید جیبرلیک و سولفات مس با تیمار شاهد در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مشاهده شد. بیشترین درصد رطوبت پوست میوه در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید جیبرلیک (۷۸/۴۰ درصد) مشاهده شد، در حالیکه این شاخص در تیمار فاقد اسید جیبرلیک ۶۷/۳۴ درصد ثبت شد. همچنین کاربرد سولفات مس و پتاسیم باعث افزایش درصد رطوبت پوست میوه در انار گردید. بر اساس نتایج حاصله اثر کاربرد اسید جیبرلیک در دو شاخص مواد جامد محلول و اسیدیته کل معنی دار شد ولی بین سایر تیمارها تفاوت معنی داری مشاهده نشد. مقایسه میانگین اثرات ساده اسید جیبرلیک در این دو شاخص نشان داد کاربرد اسید جیبرلیک باعث افزایش درصد مواد جامد محلول و اسیدیته کل در مقایسه با شاهد شده است. مشابه با نتایج این پژوهش، افزایش میزان مواد جامد محلول با کاربرد اسید جیبرلیک در میوه های دیگر هم گزارش شده است (Kappel and MacDonald, 2007; El-Tohamy et al.,)

آفتاب سوختگی یکی از مهم ترین عوامل مشکل زا و چالش برانگیز در تولید میوه های انار می باشد که موجب کاهش قابل توجهی در کمیت و کیفیت محصول انار گردیده و هر ساله خسارت زیادی را به باغداران تحمیل می کند. از آنجایی که به طور معمول میوه های آفتاب سوخته، دچار عارضه های دیگر بخصوص ترکیدگی هم می شوند، کنترل و کاهش میزان این عارضه در میوه ها دارای اهمیت فراوان می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر مشخص شد محلول پاشی درختان میوه انار با جیبرلیک اسید، سولفات پتاسیم و سولفات مس میزان این عارضه را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی داری کاهش می دهد. ضخامت پوست تحت تاثیر سه تیمار اسید جیبرلیک، سولفات مس و سولفات پتاسیم قرار گرفت و تفاوت معنی داری در اثر کاربرد و عدم کاربرد این ترکیبات مشاهده شد، اما اثرات متقابل بین آنها معنی دار نبود. ضخامت پوست میوه با کاربرد اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، ۲/۷۵ میلی متر بود در حالیکه در تیمار شاهد ۲/۲۹ میلی متر ثبت شد. همچنین این شاخص در تیمارهای ۵۰۰۰ و ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر سولفات پتاسیم

(Ramezani and Shekafandeh, 2009) و در نهایت افزایش طول و یا قطر میوه باشد. نتایج برخی تحقیقات نشان داده محلول‌پاشی اسید جیبرلیک در انار از طریق افزایش طول و قطر میوه اثرات مثبتی در بهبود وزن میوه دارد (Hosein-Beigi et al., 2019). اسید جیبرلیک می‌تواند با افزایش تخلیه آوند آبکش و یا متابولیسم جذب کربن در میوه باعث افزایش تقاضای سینک در این اندام گردد و در نهایت منجر به افزایش اندازه و وزن میوه گردد و این بزرگتر شدن‌ها همبستگی بالایی با تغییر در فعالیت آنزیم‌های متابولیزه کننده قند داشته‌اند (Ramezani and Shekafandeh, 2009). همچنین با توجه به مطالب ذکر شده در ابتدای این بخش، نقش اسید جیبرلیک در تغییر بیان ژنهای دخیل در بیوسنتز دیگر هورمون‌ها و عناصر سازنده آوند چوبی (Qian et al., 2018) می‌تواند منجر به هدایت بهتر آب و عناصر غذایی به اندامهای هوایی گردد، که این تغییر می‌تواند در افزایش وزن و حجم میوه مؤثر باشد. در اصل برخی از تاثیرات مفید اسید جیبرلیک در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های غیر زنده از جمله خشکی و خاکهای ضعیف (El-Tohamy et al., 2023) را می‌توان به نقش این تنظیم کننده رشد در بهبود جذب و انتقال آب و عناصر غذایی از ریشه‌ها به اندامهای هوایی نسبت داد.

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق افزایش رطوبت پوست میوه با کاهش ترکیدگی میوه همراه بوده است و نتایج این پژوهش نشان داد تیمارهای مورد بررسی تأثیر معنی‌داری در افزایش درصد رطوبت پوست میوه داشتند. برخی از محققان نشان دادند که استفاده از پوشش و یا اسپری کائولین شدت آسیب آفتاب سوختگی در میوه انار را کاهش می‌دهد (Khalil and Aly, 2013). براساس نتایج Abd El-Rhman (2010) محلول‌پاشی با سولفات مس باعث افزایش رطوبت پوست میوه می‌شود. بر اساس سایر مطالعات انجام شده توسط برخی از محققین رطوبت پوست در میزان ترکیدگی پوست میوه مؤثر است و مقدار

افزایش در محتوی قند در اثر کاربرد اسید جیبرلیک را می‌توان به نقش این تنظیم کننده رشد گیاهی در سنتز آلفا آمیلاز نسبت داد، آنزیمی که پس از تولید در سلول می‌تواند نشاسته را به قندهای احیاء کننده تبدیل کند (El-Tohamy et al., 2023). بنابراین تسریع در تبدیل نشاسته به قند و تجمع بیشتر قندها می‌تواند منجر به افزایش محتوی مواد جامد محلول گردد. ترکیدگی میوه در ارقام مختلف بسیار متغیر و تابع شرایط رشد پوست میوه است. انتخاب برنامه زمان‌بندی مناسب محلول‌پاشی مواد مغذی و تنظیم کننده‌های رشد قبل از ترکیدگی به کنترل ترک‌خوردگی، افزایش ضخامت پوست، افزایش مقاومت مکانیکی پوست و کاهش میزان شکاف خوردن پوست کمک می‌کند (Khehra and Bal, 2014). براساس مطالعات انجام گرفته ضخامت پوست میوه در ارقام مقاوم به ترکیدگی به طور معنی‌داری نسبت به ارقام حساس بیشتر است (Shiravand, 2014) و می‌توان نتیجه گرفت صفت ضخامت پوست میوه در عارضه ترکیدگی مهم بوده و هر چه ضخامت پوست میوه بیشتر باشد، مقاومت آن در برابر ترکیدگی بیشتر است. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که اسید جیبرلیک، سولفات پتاسیم و سولفات مس باعث افزایش ضخامت پوست میوه انار می‌شوند.

نتایج این پژوهش نشان داد که وزن میوه هم تحت تاثیر تیمار با اسید جیبرلیک قرار گرفت، بطوریکه تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلیک اسید باعث افزایش قابل توجهی در وزن میوه انار گردید (جدول ۳). این نتایج منطبق با گزارشات قبلی مبنی بر تاثیر مثبت اسید جیبرلیک بر وزن میوه در گونه‌های مختلف از جمله گیلاس (Kappel and MacDonald, 2007)، زیتون (Ramezani Garmendia et al., 2009)، مرکبات (and Shekafandeh, 2009) و انار (Hosein-Beigi et al., 2019) می‌باشد. افزایش وزن میوه با محلول‌پاشی اسید جیبرلیک می‌تواند ناشی از نقش این تنظیم کننده در افزایش طول سلولها

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اسید جیبرلیک، سولفات پتاسیم و سولفات مس بر خصوصیات کمی و کیفی میوه انار رقم ملس ساوه

Table 3. Mean comparison of gibberellic acid, potassium sulfate and copper sulfate treatments on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate cv. Malase-Saveh

Gibberellic acid	Fruit cracking (%)	Fruit sunburn (%)	Fruit weight (gr)	100 arils weight (gr)	Peel thickness (mm)	Fruit peel moisture (%)	Fruit peel dry matter (%)	Total soluble solids (Brix)	Titrateable acidity (%)	pH
0	23.38	22.50a	160.75b	24.29a	2.29b	67.34b	32.65a	15.19b	1.84b	3.23a
100 (mg/l)	14.10b	15.20b	181.70a	26.8a	2.75a	78.40a	21.59b	16.63a	2.16a	3.02a
Copper sulfate	Fruit cracking (%)	Fruit sunburn (%)	Fruit weight (gr)	100 arils weight (gr)	Peel thickness (mm)	Fruit peel moisture (%)	Fruit peel dry matter (%)	Total soluble solids (Brix)	Titrateable acidity (%)	pH
0	18.91a	20.48a	171.87a	25.88a	29.44a	70.55b	2.27b	15.85a	1.99a	3.29a
2500 (mg/l)	16.4b	17.21b	170.58a	25.2a	24.8b	75.19a	2.77a	15.96a	2.01a	3.14a
Potassium sulfate	Fruit cracking (%)	Fruit sunburn (%)	Fruit weight (gr)	100 arils weight (gr)	Peel thickness (mm)	Fruit peel moisture (%)	Fruit peel dry matter (%)	Total soluble solids (Brix)	Titrateable acidity (%)	pH
0	18.07a	20.91a	174a	26.01a	2.25b	72.32a	27.68a	15.51b	2a	3.18a
5000 (mg/l)	14.24b	16.78b		25.13a	2.79a	168.4a	26.56a	16.3a	1.98a	3.25a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

plant responses to copper stress. *International Journal of Molecular Science*, 26;23(21):12950. doi: 10.3390/ijms232112950.

El-Tohamy, W.A., Dasgan, H.Y., and N.S. Gruda. 2023. Impact of gibberellic acid on water status, growth, and development of cape gooseberry in newly reclaimed sandy lands within arid regions. *Horticulturae*, 9(12):1283. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121283>

Garmendia, A., Beltrán, R., Zornoza, C., García-Breijo, F.J., Reig, J., and H. Merle. 2019. Gibberellic acid in *Citrus* spp. flowering and fruiting: A systematic review. *PLoS One*, 26;14(9):e0223147. doi: 10.1371/journal.pone.0223147.

Gharesheikhybayat, R. 2006. Anatomical study of fruit cracking in pomegranate Cv. Malas-e-Torsh. *Pajohesh Sazandegy*, 69:10–14.

Hamouda, H.A., Elham, Z.A.M., and N.G. Zahran. 2015. Nutritional status and improving fruit quality by potassium, magnesium and manganese foliar application in pomegranate shrubs. *International Journal of ChemTech Research*, 8:858–867.

Hegazi, A., Samra, N.R., El-Baz, E.E.T., Khalil, B.M., and M.S. Gawish. 2014. Improving fruit quality of manfaloty and wonderfull pomegranates by using bagging and some spray. *Journal Plant Production*, 5: 779-792. (In Persian).

Hosein-Beigi, M., Zarei, A., Rostaminia, M., and J. Erfani-Moghadam. 2019. Positive effects of foliar application of Ca, B and GA3 on the qualitative and quantitative traits of pomegranate (*Punica granatum* L.) cv. 'Malase-Torshe-Saveh'. *Scientia Horticulturae*, 254, 40-47.

Kappel, F., and R. MacDonald. 2007. Early gibberellic acid sprays increase firmness and fruit size of 'Sweetheart' sweet cherry. *Journal of the American Pomological Society*, 61: 38-43.

Karami, K., Erfani-Moghadam, J., Bazgir, M., and O. Khademi. 2021. Effect of gibberellic acid and zinc sulfate spraying on fruit cracking and quantitative and qualitative characteristics of pomegranate cv. 'Malase Saveh'. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52: 317-328. (In Persian).

Khalil, H.A., and H.S.H. Aly. 2013. Cracking and fruit quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) as affected by pre-harvest sprays of some growth regulators and mineral nutrients. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 5: 71-76.

Khayyat, M., A. Tehranifar, M. Zaree, Z. Karimian,

آن در ارقام مقاوم بیشتر است (Shiravand, 2014). نتایج نشان داد که اسید جیبرلیک به طور جداگانه و به طور معناداری باعث افزایش درصد مواد جامد محلول و اسیدیته در عصاره میوه می‌گردند. افزایش مواد جامد محلول در عصاره میوه انار در اثر محلول پاشی با اسید جیبرلیک قبلاً توسط برخی از دانشمندان بیان گردیده است. افزایش مواد جامد محلول در میوه انار باعث منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی میوه و در نهایت جذب آب بیشتر به میوه که منجر به افزایش رطوبت در پوست میوه و کاهش ترکیدگی میوه می‌شود (Shiravand, 2014).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش اثرات اسیدجیبرلیک، سولفات مس و سولفات پتاسیم در ترکیدگی میوه انار بررسی شد. نتایج کلی نشان داد کاربرد اسید جیبرلیک و سولفات مس از طریق تحت تاثیر قرار دادن برخی از صفات باعث کاهش ترکیدگی در میوه انار شده است. نتایج به دست آمده از این تحقیق حاکی از این است که ترکیدگی میوه انار با بسیاری از ویژگی‌های فیزیوشیمیایی میوه در ارتباط بوده و با شناسایی کامل این عوامل می‌توان مطالعات کامل‌تری برای کنترل این عارضه انجام داد. همچنین میزان جذب عناصر غذایی توسط گیاه و انتقال آن به میوه ارتباط زیادی با کاهش ترکیدگی میوه انار دارد. متعادل بودن وضعیت عناصر معدنی در خاک، برگ و میوه احتمالاً از راه‌های کاهش ترک خوردگی میوه است. اسید جیبرلیک از طریق تأثیر بر مجاری آوند و افزایش کارایی انتقال ترکیبات درون گیاه باعث افزایش انتقال کربوهیدرات‌ها به میوه و در نتیجه افزایش محتوای مواد جامد محلول می‌شود.

منابع

Abd El-Rhman, I. E. 2010. Physiological studies on cracking phenomena of pomegranates. *Journal of Applied Sciences Research*, 6: 696–703.

Chen, G., Li, J., Han, H., Du, R., and X. Wang. 2022. Physiological and molecular mechanisms of

- biomechanical forces and physiological parameters of fruit cracking in pomegranate. *Scientia Horticulture*, 178:224–230.
- Sajid, M., Haq, S.U., Jan, A., Noor, F., Ali, Q.S., Alam, M., and H.S. Abada. 2022. Effect of foliar application with potassium nitrate and copper sulfate on fruit yield and quality of pear (*Pyrus communis* L.) trees. *International Journal of Fruit Science*, 22: 759-768.
- Shah, S.H., Islam, S., Mohammad, F., and M.H. Siddiqui. 2023. Gibberellic acid: a versatile regulator of plant growth, development and stress responses. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42: 7352–7373.
- Shahid, S.A., Abdelfattah, M.A., Wilson, M.A., Kelley, J.A. and J.V. Chiaretti. 2014. United Arab Emirates keys to soil taxonomy. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Sheikh, M. K., and N. Manjula. 2012. Effect of chemicals on control of fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* L.) var. Ganesh. In II International symposium on the pomegranate, 35: 1-133.
- Shiravand, N. 2014. The study of relationship between pomegranate fruit cracking with physiochemical characteristics of fruit and tree. Thesis Submitted to the School of Graduate Studies in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master Science (Msc.), Horticulture Science in Ilam University. pp:1-92.
- Singh, A., Shukla, A.K., and P.R. Meghwal. 2020. Fruit cracking in pomegranate: extent, cause, and management—A Review. *International Journal of Fruit Science*, 20: 1234-1253.
- Singh, M.B., Kumar, P., Kundu, M., Sahay, S., V. Kumar. 2022. Split application of GA3: effective to improve growth, yield and quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Ecology, Environment and Conservation*, 28, 863–868.
- Zarei, A. 2017. Biochemical and pomological characterization of pomegranate accessions in Fars province of Iran. *SABRAO Journal of Breeding and Genetic*, 49 (2): 155-167.
- Zarei, A., Zamani, Z., and A. Sarkhosh. 2020. Biodiversity, germplasm resources and breeding methods. in: Sarkhosh A, Yavari AM, Zamani Z, (Eds), *The Pomegranate: Botany, Production and Uses*, CABI publication, 94: 596 PP.
- M.H. Aminifard, M.R. Vazifeshenas, S. Amini, Y. Noori, and M. Shakeri. 2012. Effects of potassium nitrate spraying on fruit characteristics of ‘Malas Yazdi’ pomegranate. *Journal Plant Nutrition*, 35:1387-1393. (In Persian).
- Khehra, S., and J.S. Bal. 2014. Influence of foliar sprays on fruit cracking in lemon. *International Journal of Plant and Environmental Science*, 4: 124–28.
- Lester, G.E., Jifon, J.L., and D.J. Makus. 2006. Supplemental foliar potassium applications with or without a surfactant can enhance netted muskmelon quality. *HortScience*, 41:741–744.
- Mercure, E.M. 2007. The pomegranate: A new look at the fruit of paradise. *Horticultural Science*, 42: 1088-1092.
- Mimoun, M.B., Ghrab, M., Ghanem, M., and O. Elloumi. 2008. III effects of potassium foliar spray on olive, peach and plum. Part 2: Peach and Plum experiments. *Optimizing Crop Nutrition*, 19:14-17.
- Olyaie Torshiz, A., Goldansaz, S. H., Motesharezadeh, B., Asgari-Sarcheshmeh, M. A., and A. Zarei. 2017. Effect of organic and biological fertilizers on pomegranate trees: yield, cracking, sunburning and infestation to pomegranate fruit moth *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal Crop Protection*, 6: 327-340.
- Ram, R.A., and T.K. Bose. 2000. Effect of foliar application of magnesium and micro-nutrients on growth, yield and fruit quality of mandarin Orange (*Citrus reticulata* Blanco). *Indian Journal of Horticulture*, 57: 215–220.
- Ramezani, S., and A. Shekafandeh. 2009. Roles of gibberellic acid and zinc sulphate in increasing size and weight of olive fruit. *African Journal of Biotechnology*, 8 (24), 6791-6794.
- Rouhi, V., and A. Esmaeilzadeh. 2013. Effect of gibberellin concentrations and spraying time on cracking of pomegranate fruit (*Punica granatum* L.) cv. “Malas Esfahan”. *Journal of Horticultural Science*, 27: 310-317. (In Persian).
- Ruiz, R., 2005. Effects of different potassium fertilizers on yield, fruit quality and nutritional status of Fairlane nectarine trees and on soil fertility, in: V International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Plants, 721: 185-190.
- Saei, H., Sharifani, M.M., Dehghanic, A., Esmaeil, S., and A. Vahid. 2014. Description of

Effect of different levels of calcium and boron on the quantitative and qualitative characteristics of *Polianthes tuberosa*

Mohammad Ali Khalaj^{1*}, Mostafa Koozehgar Kaleji²

1- Corresponding Author, Ornamental Plants Research Center (OPRC), Horticultural Sciences Research Institute (HSRI), Agricultural Research, Education and Extension (AREEO), Mahallat, Iran.

(khalaj56@yahoo.com)

2- Ph.D, Graduated in Crop Ecology, Faculty of Plant Production, Department of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

(mostafa.koozehgar@gmail.com)

Received Date: 19/06/2022

Accepted Date: 24/10/2022

Abstract

Introduction: Tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) is one of the essential cut flowers in the country. Which has good economic potential for the cut flower business and essential oil industry. which has good economic potential for cut flower business and essential oil industry. Therefore, improving Tuberose's quantitative and qualitative characteristics, especially the life after its harvest, is vital. Calcium and boron elements play a role in photosynthesis and nutrient absorption that affect plants' growth. They are essential in improving their quantitative and qualitative characteristics, including life after harvest. This study was conducted to investigate the effect of calcium on the quantitative and qualitative characteristics of Tuberose flowers.

Material and methods: This experiment was conducted in a factorial form in the form of a complete randomized block design in the National Research Institute of Flowers and Ornamental Plants of Iran located in Mahalat city with a geographical location of 50 degrees 30 minutes east, latitude 33 degrees 53 minutes north in 2017-2018. Factors include calcium foliar application at four levels (0, 0.2, 0.4, and 0.6 grams per liter of calcium from calcium nitrate source) and boron at three levels (0, 20, and 40 kg of boric acid per hectare). Plant height, stem diameter, floret diameter, length, postharvest life, calcium, nitrogen, potassium, and boron concentrations were investigated. The data obtained were analyzed using SAS statistical software version 9.4, and the comparison of means was performed using the LSD test at the 5% level.

Results and discussion: The results showed that calcium and boron application significantly affected plant height, cluster length, concentration of nutrients, and postharvest life and increased all investigated traits compared to the control. According to the maximum plant height results, the cluster length was 69.96 cm, 26.63 cm, and 1.08 cm from the foliar treatment of 0.6 grams per liter of calcium and 20 kg/ha boron. The combined treatment of foliar spraying of 0.6 g/L of calcium 20 kg/ha boron increased the postharvest life of Tuberose by 41% compared to the control. Also, the highest amounts of nitrogen and calcium were obtained from the 0.6 g/L calcium foliar treatment, 2.83% and 1.62 mg.kg⁻¹, respectively.

Conclusions: According to the results obtained from the test data (consumption of 3 grams per liter of calcium from the source of calcium nitrate in the form of foliar spraying and 20 kg of boric acid per hectare) has improved the quantitative and qualitative characteristics of Tuberose and this treatment can be used. He advised the producers of the recommended amount in the production fields of Tuberose.

Keywords: Cut flowers, Foliar application, Post-harvest life.

تأثیر سطوح مختلف کلسیم و بُر روی خصوصیات کمی و کیفی گل مریم (*Polianthes tuberosa* L.) بررسی تأثیر سطوح مختلف کلسیم و بُر روی خصوصیات کمی و کیفی گل مریم

محمد علی خلیج^{*۱}، مصطفی کوزه گر کالجی^۲

۱- نویسنده مسئول، پژوهشکده گل و گیاهان زینتی، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، محلات، ایران
(khalaj56@yahoo.com)

۲- دانش آموخته دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(mostafa.koozehgar@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹

چکیده

گل مریم یکی از گل های شاخه بریده مهم کشور می باشد. که پتانسیل اقتصادی خوبی برای تجارت گل شاخه بریده و صنعت اسانس دارد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در پژوهشکده ملی گل و گیاهان زینتی ایران واقع در شهرستان محلات با موقعیت جغرافیایی ۵۰ درجه ۳۰ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۳ درجه ۵۳ دقیقه شمالی در سال ۱۳۹۸ بر گل مریم پُرپر یکساله در فضای باز انجام شد. عوامل شامل محلول پاشی کلسیم در ۴ سطح (۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ گرم در لیتر کلسیم) در ۲ زمان (تیرک زدن گل ها و ۱۰ روز بعد از محلول پاشی اول) و بُر در ۳ سطح (۰، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم اسید بوریک در هکتار) به صورت خاکی قبل از کشت بود. نتایج نشان داد که محلول پاشی کلسیم و بُر تأثیر معنی دار بر ارتفاع گیاه، طول خوشه، غلظت عناصر غذایی و عمر گلدانی داشته و کلیه صفات مورد بررسی را در مقایسه با شاهد افزایش می دهند. همچنین تیمار ترکیبی محلول پاشی ۰/۶ گرم در لیتر کلسیم، ۲۰ کیلوگرم در هکتار بُر عمر گلدانی گل مریم را نسبت به شاهد ۴۱ درصد افزایش داد. باتوجه به نتایج بدست آمده از داده های آزمایش (مصرف ۳ گرم در لیتر کلسیم از منبع نترات کلسیم به صورت محلولپاشی و ۲۰ کیلوگرم اسید بوریک در هکتار) باعث بهبود خصوصیات کمی و کیفی گل مریم شده است و می توان این تیمار را به عنوان مقدار قابل مصرف در مزارع تولیدی گل مریم به تولید کنندگان توصیه نمود.

کلمات کلیدی: عمر پس از برداشت، گل شاخه بریده، محلول پاشی.

مقدمه

گل مریم با نام علمی (*Polianthes tuberosa* L.) از خانواده Agavaceae (Ito et al., 1999)، یک گیاه پیازی زینتی بومی مکزیک است (Barba-Gonzalez et al., 2012). گل مریم به طور گسترده به دلیل رایحه خوشبو و دلپذیری که دارد در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری در مقیاس تجاری به ویژه به عنوان گل شاخه بریده برای کاربردهای پس از برداشت کشت می شود (Kumar et al., 2020; Dogra et al., 2021). همچنین به دلیل وجود ترکیبات معطر بیشتر در صنعت عطرسازی استفاده می شود. علاوه بر این، گیاه حاوی متابولیت های مختلفی مانند فلاونوئیدها و گلیکوزیدهای استروئیدی است و گل حاوی مشتقات بنزوئیدی و ترپنوئیدی به عنوان متابولیت های اصلی است (Maiti et al., 2014). همچنین از اسانس آن برای تولید لوازم آرایشی، صابون ها، نوشیدنی ها و داروسازی استفاده می شود (Mandal et al., 2022; Kaur 2018).

کوددهی برگری روشی مکمل برای کوددهی روش سنتی است. یکی از راه های سریع رفع کمبود عناصری است که با اضافه شدن آن، توزیع عناصر غذایی را بر روی اندام رویشی گیاه به صورت همگن برای رفع نیازهای گیاه مقادیر عناصر غذایی را در طول دوره رشد در مقایسه با افزودن کودهای سنتی تضمین می کند (Dahi and Mohamed, 1995; Fageria, 2009). در میان تمام مواد مغذی مورد نیاز برای رشد و نمو گیاه، کلسیم یک عنصر ضروری است. از یک سو، کلسیم نقش مهمی در عملکردهای مختلف فیزیولوژیکی گیاهان از جمله تنظیم رشد و نمو گیاهان به عنوان پیام رسان و پاسخ به تنش های بیولوژیکی و غیرزیستی مختلف دارد (Kudla et al., 2015; Hochmal et al., 2018) از سوی دیگر، کلسیم جزء مهمی از دیواره سلولی و غشاء است، بنابراین به حفظ ساختار و عملکرد طبیعی سلول ها و کاهش یا تأخیر آسیب به غشای سلولی کمک می کند (Hocking et al., 2016).

در عین حال، کلسیم میتوز سلول های گیاهی را با کنترل توزیع مکانی و زمانی یون های کلسیم یا گیرنده های آنها (کالمودولین) تنظیم می کند که با مصرف کربن آلی همبستگی مثبت دارد (Zhang and Liu, 2021; 1994; Hepler, 2016). کلسیم همچنین بر توانایی گیاهان در جذب عناصر دیگر تأثیر می گذارد و اثرات متضاد و هم افزایی بین عناصر دیگر وجود دارد (Jackson, 1976; Arif et al., 2016). هنگامی که گیاهان با کمبود کلسیم مواجه شدند، پارامترهای فلورسانس کلروفیل گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، Fv/Fm و Fm به زیر سطح کنترل کاهش یافت و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز نیز کاهش یافت (Schmitz-Eiberger et al., 2002). کمبود کلسیم باعث کاهش رشد گیاه در هلو (*Prunus Persica*)، آسیب به غشای سلولی و اختلال در بیوستز کلروفیل و پیش ساز کلروفیل می شود (Aras et al., 2021). بُر یکی از عناصر کم مصرف ضروری برای رشد طبیعی اکثر گیاهان است (Shireen et al., 2018)، که در فرآیندهای گیاهی مانند فتوستز برگ، طویل شدن و تقسیم سلولی و متابولیسم نیترات نقش دارد (Ahmed et al., 2014). در پژوهشی مشاهده شد هدایت روزنه ای در زردچوبه (*Curcuma longa*) در تیمار کمبود بُر به طور قابل توجهی کاهش یافت (Dixit et al., 2002). همچنین بُر تأثیر قابل توجهی بر تشکیل میوه دارد (Silva et al., 2003)، که با تولید گرده بساک، زنده بودن گرده، جوانه زنی لوله گرده و رشد لوله های گرده مرتبط است (Padasalagi et al., 2019). بُر نقش مهمی در دیواره سلولی گیاه و پایداری غشا ایفا می کند (Bassil et al., 2004) و با افزایش سطح برگ و اجزای عملکرد به گیاهان کمک می کند تا عملکرد و رشد خود را افزایش دهند (Qamar et al., 2016). Shireen و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که بُر رشد و عملکرد محصولات را افزایش می دهد. نتایج پژوهش Dordas و همکاران (۲۰۰۷) و Dehnavi و همکاران (۲۰۱۷)، نشان می دهد که حتی در محصولاتی که سطح بُر در برگ ها در

محدوده مناسبی است، تقاضای بسیار بیشتری برای بُر در طول گلدهی و دانه بندی وجود دارد. بسیاری از نتایج نشان دهنده افزایش میوه، تشکیل دانه و عملکرد با کاربرد محلول پاشی بُر است (El-Motaum et al., et al., 2021; Meriño-Gergichevich et al., 2016 2020; Rahmani). این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر محلول پاشی سطوح مختلف کلسیم و بُر بر برخی ویژگی های کمی و کیفی گل مریم پُرپر انجام گرفت.

مواد و روش ها

در این پژوهش گل مریم پُرپر یکساله استفاده شد. این آزمایش در سال ۱۳۹۸ در پژوهشکده ملی گل و گیاهان زینتی ایران واقع در شهرستان محلات با موقعیت جغرافیایی ۵۰ درجه ۳۰ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۳ درجه ۵۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۷۴۷ متری از سطح دریا با آب و هوای معتدل به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و ۳ تکرار در

کرت های ۱×۲ مترمربع در فضای باز انجام شد. عوامل شامل محلول پاشی کلسیم در ۴ سطح (۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ گرم در لیتر کلسیم، از منبع نترات کلسیم) و کاربرد بُر در ۳ سطح (۰، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم اسید بوریک در هکتار) بود (جدول ۱). کود نترات کلسیم به صورت محلول پاشی ۲ زمان (تیرک زدن گل ها و ۱۰ روز بعد از محلول پاشی اول) و کود اسید بوریک به همراه کودهای مکمل به صورت خاکی قبل از کشت استفاده شدند. کودهای مکمل شامل سولفات پتاسیم، نترات آمونیوم، سوپر فسفات تریپل، سولفات منیزیم، سولفات منگنز، سولفات مس و سکوسترین آهن به میزان ۳۶۰، ۲۵۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۴۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار براساس آزمایشات قبلی و توصیه های موسسه تحقیقات خاک و آب استفاده شد. به دلیل افزایش راندمان مصرف ازت، کود نترات آمونیوم، در ۳ مرحله (قبل از کشت، ۳۰ و ۶۰ روز پس از کشت) به کرت ها داده شد. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱. تیمارهای اجرا شده بر گل مریم

Table 1. Treatments performed on *Polianthes tuberosa*

Treatment	Amount consumed	Treatment	Amount consumed
Ca ₁	Calcium (0 g/l) (Control)	B ₁	(0 kg.ha ⁻¹) (Control) Boric acid
Ca ₂	Calcium (0.2 g/l)	B ₂	Boric acid (20 kg.ha ⁻¹)
Ca ₃	Calcium (0.4 g/l)	B ₃	(40 kg.ha ⁻¹) Boric acid
Ca ₄	Calcium (0.6 g/l)	-	-
Ca ₁ B ₁	Calcium (0 g/l) × Boric acid (0 kg.ha ⁻¹)	Ca ₂ B ₁	Calcium (0.2 g/l) × Boric acid (0 kg.ha ⁻¹)
Ca ₁ B ₂	Calcium (0 g/l) × Boric acid (20 kg.ha ⁻¹)	Ca ₂ B ₂	Calcium (0.2 g/l) × Boric acid (20 kg.ha ⁻¹)
Ca ₁ B ₃	Calcium (0 g/l) × Boric acid (40 kg.ha ⁻¹)	Ca ₂ B ₃	Calcium (0.2 g/l) × Boric acid (40 kg.ha ⁻¹)
Ca ₃ B ₁	Calcium (0.4 g/l) × Boric acid (0 kg.ha ⁻¹)	Ca ₄ B ₁	Calcium (0.6 g/l) × Boric acid (0 kg.ha ⁻¹)
Ca ₃ B ₂	Calcium (0.4 g/l) × Boric acid (20 kg.ha ⁻¹)	Ca ₄ B ₂	Calcium (0.6 g/l) × Boric acid (20 kg.ha ⁻¹)
Ca ₃ B ₃	Calcium (0.4 g/l) × Boric acid (40 kg.ha ⁻¹)	Ca ₄ B ₃	Calcium (0.6 g/l) × Boric acid (40 kg.ha ⁻¹)

جدول ۲. نتایج تجزیه نمونه خاک
Table 2. Soil sample analysis results

B mg.kg ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Mn mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹	Fe mg.kg ⁻¹	K mg.kg ⁻¹	P mg.kg ⁻¹	N %	O.C %	pH	EC dS. m ⁻¹
0.72	0.66	5.26	0.6	3.36	158	4.8	0.03	0.35	7.9	0.58

عملیات کاشت در اردیبهشت ۱۳۹۸ و در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده ملی گل و گیاهان زینتی صورت گرفت. عملیات داشت شامل آبیاری، وجین علف هرز و مبارزه با آفات و بیماری ها در تمام کرت ها به طور یکنواخت انجام شد و برداشت گیاهان اواسط شهریور انجام شد. همچنین در هنگام برداشت، ارتفاع گیاه (از سطح خاک تا بالاترین نقطه خوشه گل با خط کش اندازه گیری شد)، طول خوشه (از پایین ترین تا بالاترین نقطه خوشه گل با خط کش اندازه گیری شد)، طول گلچه، قطر ساقه (در محل ۲۰ سانتی متری از سطح خاک با کولیس اندازه گیری گردید)، قطر گلچه (قطر سومین گلچه از پایین خوشه با کولیس اندازه گیری شد) و عمر گلدانی گل (مدت ماندگاری گل در آب شهری و در اتاق با دمای ۱۵- ۲۰ درجه سانتی گراد) بررسی شد. میزان نیتروژن و کلسیم با استفاده از روش تیتراسیون بعد از تقطیر و به کمک دستگاه کجل تک اتوانالیزر (Bremner and Mulvaney, 1982)، و میزان پتاسیم با استفاده از روش نشر شعله ای و به کمک دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری شد و مقدار بُر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر به روش آزمونین اچ اندازه گیری شد (Keren, 1996). تجزیه داده ها به دست آمده با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۰.۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم کنش محلول پاشی کلسیم و کاربرد بُر در صفات ارتفاع گیاه، طول خوشه و درصد پتاسیم در سطح احتمال یک درصد

معنی دار بود و همچنین برهم کنش محلول پاشی کلسیم و کاربرد بُر در صفات مورد مطالعه قطر ساقه، عمر گلدانی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۳). همچنین نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که محلول پاشی کلسیم و کاربرد بُر در سطح احتمال پنج درصد بر قطر گلچه معنی دار بود. همچنین محلول پاشی کلسیم بر طول گلچه، غلظت کلسیم در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). کاربرد بُر غلظت نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد و غلظت بُر در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه، طول خوشه و قطر ساقه به ترتیب به میزان ۶۹/۹۶ سانتی متر، ۲۶/۶۳ سانتی متر و ۱/۰۸ سانتی متر از تیمار محلول پاشی ۰/۶ گرم در لیتر کلسیم، ۲۰ کیلوگرم اسید بوریک در هکتار حاصل شد و کمترین میزان هم مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات دوگانه نشان داد که تیمار ترکیبی محلول پاشی ۰/۶ گرم در لیتر کلسیم، ۲۰ کیلوگرم اسید بوریک در هکتار عمر گلدانی گل مریم را نسبت به شاهد ۴۱ درصد افزایش داد (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین اثرات دوگانه نشان داد بیشترین میزان پتاسیم ۲/۷۱ درصد از تیمار محلول پاشی ۰/۶ گرم در لیتر کلسیم، ۲۰ کیلوگرم اسید بوریک در هکتار بدست آمد و کمترین میزان پتاسیم ۱/۷۸ درصد از تیمار محلول پاشی ۰/۶ گرم در لیتر کلسیم، ۴۰ کیلوگرم اسید بوریک در هکتار حاصل شد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرات اصلی محلول پاشی نشان داد بیشترین میزان طول و قطر گلچه به ترتیب به میزان ۶/۶۴ سانتی متر و ۱/۱۰ سانتی متر از تیمار محلول پاشی ۰/۶ گرم در لیتر کلسیم بدست آمد (جدول ۵). همچنین

بیشترین میزان قطر گلچه از ۱/۱۱ سانتی متر از تیمار محلول پاشی ۲۰ کیلوگرم اسید بوریک در هکتار حاصل شد (جدول ۴). همچنین بیشترین میزان نیتروژن و کلسیم به ترتیب به میزان ۲/۸۳ درصد و ۱/۶۲ درصد از تیمار محلول پاشی ۰/۶ گرم در لیتر کلسیم حاصل شد و کمترین میزان این عناصر از تیمار شاهد بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر اصلی محلول پاشی اسید بوریک نشان داد بیشترین غلظت بر در اندام گیاهی به میزان ۵۷/۷۰ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک از تیمار ۴۰ کیلوگرم اسید بوریک در هکتار حاصل شد (جدول ۴).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده گل مریم

Table 3. Analysis of variance results of the measured traits of *Polianthes tuberosa*

Source of variance	df	Plant High	Cluster length	Stem diameter	Flower diameter	Flower length	Postharvest life	Nitrogen	Potassium	Boron	Calcium
Replication	2	39.41	5.46	0.005	0.001	0.055	2.23	0.22	0.006	28.52	0.03
Calcium	3	98.60**	8.38*	0.016**	0.007*	1.51**	14.71**	0.45*	0.008 ^{ns}	51.85 ^{ns}	0.34**
Boron	2	69.46*	9.45*	0.007*	0.012*	0.12 ^{ns}	0.61 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.24**	219.96**	0.02 ^{ns}
Calcium× Boron	6	71.90**	9.91**	0.005*	0.003 ^{ns}	0.12 ^{ns}	4.51*	0.21 ^{ns}	0.17**	18.98 ^{ns}	0.04 ^{ns}
Error	22	17.40	2.49	0.002	0.002	0.07	1.71	0.12	0.03	31.46	0.04
C.V (%)	-	6.39	6.91	4.61	4.32	4.52	7.65	14.31	9.08	10.53	14.74

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at 5 and 1 percentage of probability level
ns, * and **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه محلول پاشی کلسیم و بُر صفات مورد مطالعه گل مریم

Table 4. Comparison of the average double interaction effect of calcium and boron foliar spraying of studied traits of *Polianthes tuberosa*

Treatment	Plant High (cm)	Cluster length (cm)	Stem diameter (cm)	Postharvest life (day)	K (mg.kg ⁻¹)
Ca ₁ B ₁	49.86 ^b	19.90 ^d	0.85 ^d	13.66 ^d	2.13 ^b
Ca ₁ B ₂	67.76 ^a	22.63 ^{bc}	0.92 ^{dc}	16.66 ^{bc}	2.11 ^b
Ca ₁ B ₃	65.23 ^a	21.86 ^{bcd}	0.98 ^{bc}	16.66 ^{bc}	2.02 ^{bc}
Ca ₂ B ₁	66.70 ^a	22.70 ^{bc}	0.99 ^b	17.66 ^{bc}	2.13 ^b
Ca ₂ B ₂	67.16 ^a	21.56 ^{bcd}	0.98 ^{bc}	16.76 ^{bc}	2.11 ^b
Ca ₂ B ₃	67.20 ^a	24.16 ^{ab}	0.96 ^{bc}	16.66 ^{bc}	1.96 ^{bc}
Ca ₃ B ₁	69.23 ^a	24.06 ^{ab}	0.95 ^{bc}	16.66 ^{bc}	2.10 ^{bc}
Ca ₃ B ₂	65.73 ^a	23.26 ^{bc}	0.98 ^{bc}	16.66 ^{bc}	2.05 ^{bc}
Ca ₃ B ₃	64.73 ^a	22.86 ^{bc}	0.96 ^{bc}	16.00 ^c	2.06 ^{bc}
Ca ₄ B ₁	64.36 ^a	20.63 ^{cd}	0.97 ^{bc}	18.33 ^{ab}	1.91 ^{bc}
Ca ₄ B ₂	69.96 ^a	26.63 ^a	1.08 ^a	19.33 ^a	2.71 ^a
Ca ₄ B ₃	66.93 ^a	23.56 ^b	1.01 ^{ba}	18.66 ^{ab}	1.78 ^c

میانگین هایی که در هر ستون، دارای حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون LSD، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.
Means in each column, followed by similar letters are not significantly different at the 5% probability level- LSD Test

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات اصلی محلول پاشی کلسیم و بُر صفات مورد مطالعه گل مریم

Table 5. Comparison of the main effects of foliar application of calcium and boron on studied traits of *Polianthes tuberosa*

Treatment	Flower length (cm)	Flower diameter (cm)	N (%)	Ca (mg.kg ⁻¹)	Treatment	Flower diameter (cm)	Boron (mg.kg ⁻¹)
Ca ₁	5.64 ^c	1.03 ^b	2.32 ^b	1.15 ^c	B ₁	1.04 ^b	49.16 ^b
Ca ₂	6.10 ^b	1.07 ^b ^a	2.48 ^{ab}	1.35 ^b	B ₂	1.11 ^a	52.91 ^b
Ca ₃	6.22 ^b	1.10 ^a	2.41 ^b	1.40 ^b	B ₃	1.06 ^b	57.70 ^a
Ca ₄	6.64 ^a	1.09 ^a	2.83 ^a	1.62 ^a	-	-	-

میانگین هایی که در هر ستون، دارای حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون LSD، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Means in each column, followed by similar letters are not significantly different at the 5% probability level- LSD Test

دست می دهند (Kumari et al., 2018). همچنین کیفیت گل عمدتاً بر اساس عمر گلدانی خوشه های گل است (Patel et al., 2017). بنابراین کاربرد محلول پاشی مواد شیمیایی مختلف برای کاهش تلفات پس از برداشت سنبله گل مریم ضروری است (Mudassir et al., 2021). در پژوهشی مشاهده شد که محلول پاشی کلسیم در گل رز بریدنی (*Rosa hybrida* cv. Iliona) می تواند با افزایش مقدار آب نسبی و حفظ تورژسانس یاخته ای برگ ها و نیز جلوگیری از تخریب دیواره یاخته ای و کاهش نشت الکترونی، عمر گلبرگ ها را افزایش دهد (Mortazavi et al., 2016). همچنین کاربرد سولفات کلسیم پیش از برداشت در رز، سبب افزایش عمر پس از برداشت آن شده است (Luiz et al., 2005). محلول پاشی کلسیم به سه دلیل می تواند سبب بهبود ویژگی های زایشی و نیز افزایش عمر پس از برداشت گل مریم شده است افزایش فعالیت آنزیم روییسکو و مقدار فتوسنتز و در نتیجه ساخت بیشتر آسمیلات ها، اثر بازدارندگی آن، به ویژه کربوهیدرات ها (Tan et al., 2011) و کاهش تولید اتیلن و اثر آن در ACC فعالیت آنزیم کاهش فعالیت آنزیم های تخریب کننده یاخته مانند پلی گالاکترونا است (Helper, 2005). نتایج پژوهش Khuong و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که کاربرد بُر با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر سبب افزایش قابل توجهی در میزان پتاسیم در اندام گیاهی کنگد (*Sesamum indicum*) نسبت به شاهد شد. همچنین عنوان نمودن که محلول پاشی

نتایج این پژوهش با نتایج Nazari (۲۰۱۹) که عنوان نمود محلول پاشی کلسیم سبب افزایش قطر گلچه، عمر پس از برداشت و ارتفاع گیاه شد مطابقت دارد. نتایج مطالعات دیگر نیز اثرات مثبت کلسیم به صورت محلول پاشی بوته و پیش از برداشت شاخه گل در بهبود ویژگی های زایشی به ویژه عمر پس از برداشت گل های بریدنی مانند رز (Asfanani et al., 2008)، گلابول (*Gladiolus*) (Reddy and Sarkar, 2016)، گل سوسن (*Lilium*) (Seyedi et al., 2013)، گل مریم (Mortazavi et al., 2016) گزارش شده است. با توجه به نقش کلسیم در افزایش کارایی فتوسنتز و تولید فرآورده های فتوسنتزی در برگ ها دارد (Tan et al., 2011) سبب بهبود طول و قطر ساقه گل شده است. کلسیم یک عنصر ضروری است که نقش کلیدی در تقسیم سلولی، طویل شدن و رشد را دارد (Bernadac et al., 1996). استفاده از عناصر کم مصرف و غلظت های بهینه آن ها صفات گل دهی را تا حد زیادی افزایش داده و عمر گلدهی سنبله ها را بهبود می بخشد (Ahmed et al., 2010). نتایج مطالعات دیگر نشان داد که کاربرد عناصر کم مصرف ویژگی های گل دهی را بهبود می بخشد، مانند وزن، اندازه و عمر گلدانی گلابول (Sharma and Khare, 2014)، گل داودی (*Chrysanthemum*) (Vanlalruati et al., 2019) و گل همیشه بهار (*Calendula officinalis*) (Yadegari, 2013). سنبله های گل مریم در دمای های بالا خیلی زود کیفیت خود را از

Ahmad, I., Khan, M.A., Qasim, M., Ahmad, R., and M.A. Randhawa. 2010. Growth, yield and quality of *Rosa hybrida* L. as influenced by various micronutrients. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 47: 5-12.

Aras, S., Keles, H., and E. Bozkurt. 2021. Physiological and histological responses of peach plants grafted onto different rootstocks under calcium deficiency conditions. *Scientia Horticulturae*. 281, 109967. doi: 10.1016/j.scienta.2021.109967

Arif, N., Yadav, V., Singh, S., Singh, S., Ahmad, P., and R. K. Mishra. 2016. Influence of high and low levels of plant-beneficial heavy metal ions on plant growth and development. *Frontiers in Environmental Science*. 4: 1-11. doi: 10.3389/fenvs.2016.00069

Asfanani, M., Davarynejad, G.H., and A. Tehranifar. 2008. Effects of pre-harvest calcium fertilization on vase life of rose cut flowers cv. Alexander. *Acta Horticulturae*. 804: 215-218.

Bassil, E., Hu, H., and PH. Brown. 2004. Use of phenyl boronic acids to investigate boron function in plants. Possible role of boron in transvacuolar cytoplasmic strands and cell-to-wall adhesion. *Plant Physiology*. 136(2):3383-95. doi: 10.1104/pp.104.040527.

Barba-Gonzalez, R., Rodríguez-Domínguez, J.M., Castañeda-Saucedo, C. A., Rodríguez, A., Van Tuyl, J.M., and E. Tapia-Campos. 2012. Mexican Geophytes I. The Genus *Polianthes*, pp. 122-128. *Floriculture and Ornamental Biotechnology Global Science Books*.

Bremner, JM., and CS. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. Eds., Amer Soc of Agron, Soil Science Soc of Amer, Madison, Wisconsin. 9: 595-624.

Bernadac, A., Jean-Baptiste, I., Bertoni, G., and P. Morard. 1996. Changes in calcium contents during melon (*Cucumis melo* L.) fruit development. *Scientia Horticulturae*. 66: 181- 189.

Dehnavi, MM., Misagh, M., Yadavi, A., and M. Merajipoor. 2017. Physiological responses of sesame (*Sesamum indicum* L.) to foliar application

بُر سبب افزایش غلظت بُر در اندام گیاهی کنگد نسبت به شاهد شد. Kumar و همکاران (۲۰۱۹)، گیاهان برای تعدادی از فرآیندهای رشد مانند جابجایی نیتروژن و فسفر، سنتز اسیدهای آمینه و پروتئین ها و غیره به بُر نیاز دارند. جذب مواد معدنی با استفاده از عناصر ماکرو و میکرو مختلف افزایش می یابد که توسط (Koleykar and Bhagyaresha, 2018) تأیید شده است. همچنین Mudassir و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که کاربرد بُر باعث افزایش غلظت این عنصر در برگ گل مریم شد. بنابراین، نتایج مطالعه حاضر با نتایج Ahmed و همکاران (۲۰۱۰) که دریافتند که کاربرد روی و بُر باعث افزایش غلظت روی و بُر در برگ های گل رز می شود مطابقت دارد. در مطالعه دیگری، Khosa و همکاران (۲۰۱۱) همچنین غلظت بر را در برگ های ژربرا (*Gerbera aurantiaca*) تیمار شده با بُر مشاهده کردند.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که محلول پاشی کلسیم و بُر باعث افزایش رشد، جذب عناصر غذایی و عمر پس از برداشت گل مریم پُرپر شد. باتوجه به نتایج بدست آمده از داده های آزمایش، مصرف ۳ گرم در لیتر کلسیم از منبع نترات کلسیم به صورت محلول پاشی و کاربرد ۲۰ کیلوگرم اسید بوریک در هکتار باعث بهبود خصوصیات کمی و کیفی گل شده است و می توان این تیمار را به عنوان مقدار کاربردی در مزارع تولیدی گل مریم به تولیدکنندگان توصیه نمود.

منابع

Ahmed, N., Abid, M., Rashid, A., Abou-Shanab, R., F. Ahmad. 2014. Influence of boron nutrition on membrane leakage, chlorophyll content and gas exchange characteristics in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Plant Nutrition*. 37(14): 2-15.

- physiology. *Frontiers in Plant Science*. 7: 1-17. doi: 10.3389/fpls.2016.00569
- Ito, M., Kawamoto, A., Kita, Y., Yukawa, T., and S. Kurita. 1999. Phylogenetic relationships of Amaryllidaceae based on matK sequence data. *Journal of Plant Research*. 112(2): 207–216.
- Jackson, W. A. 1967. Physiological effects of soil acidity. *Soil Acidity and Liming*. 12: 43–124.
- Kaur, M., Singh Beniwal, B., and A.A. Verma. 2022. Quality and chemical properties of Tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) affected by genotypes x date of sowing interactions. *Journal of Pharmaceutical Innovation*. 11(4):99-105.
- Keren, R. 1996. Boron. pp. 603-626. In D. L. Sparks et al., eds. *Methods of Soil Analyses. Part 3: Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book Series No. 5, Madison, WI
- Khosa, S.S., Younis, A., Rayit, A., Yasmeen, S., and A. Riaz. 2011. Effect of foliar application of macro and micronutrients on growth and flowering of *Gerbera jamesonii* L. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*. 11: 736-757.
- Khuong, NQ., Thuc LV., Tran, NTB. Huu, T., and JI. Sakagami. 2022. Foliar application of boron positively affects the growth, yield, and oil content of sesame (*Sesamum indicum* L.) *Open Agriculture*. 7: 30–38.
- Kolekar, P.B., and G. Bhagyaresha. 2018. Studies on macro and micronutrient status in leaf tissue of pomegranate (*Punica granatum*) orchards of Latur district. *International journal of current microbiology and applied sciences*. 6: 112-119.
- Kudla, J., Becker, D., Grill, E., Hedrich, R., Hippler, M., and U. Kummer. 2018. Advances and current challenges in calcium signaling. *New Phytologist*. 218: 414–431. doi: 10.1111/nph.14966
- Kumar, M., Chaudhary, V., Kumar, M., Sirohi, U., and MK. Yadav. 2021. Application of Conventional and Mutation Approaches in Genetic Improvement of Tuberose (*Polianthes tuberosa* L.): A Review on Recent Development and Future Perspectives. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*. 14(03):277-297.
- of boron and zinc under drought stress. *Journal of Plant Process and Function*. 6(20):27–36. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-578-en.html>.
- Dixit, D., Srivastava, NK., and S. Sharma. 2002. Boron deficiency induced changes in translocation of $^{14}\text{CO}_2$ – photosynthate into primary metabolites in relation to essential oil and curcumin accumulation in turmeric (*Curcuma longa* L.). *Photosynthetica*. 40(1):10–13. doi: 10.1023/A:1020118913452.
- Dogra, S., Pandey, RK., Laishram, N., and A. Singh. 2020. Varietal evaluation of tuberose under agro climatic conditions of Jammu. *Journal of Pharmaceutical Innovation*. 9(2):499-501.
- Dahi, A., and Y. Mohamed. 1995. The effect of green zit leaf feeding on the growth and quality of wheat grains (*Triticum aestivum* L). For the Abu Gharib variety. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. 26 (1): 30-36.
- Dordas, C., Apostolides, GE., and O. Goundra. 2007. Boron application affects seed yield and seed quality of sugar beets. *Journal of Agricultural Science*. 145(4):377–384. doi: 10.1017/S0021859607006879.
- El-Motaum, RA., and ME. Hashim. 2020. Boron efficiency in increasing olive (cv. Frantoio) fruit productivity and oil yield and quality. *Journal of Plant Nutrition*. 43(20):2981–2989. doi: 10.1080/01904167.2020.1806305.
- Fageria, N.K. 2009. *The use of Nutrients in crop plants*. Bosa. Ration, USA.
- Hepler, P. K. 1994. The role of calcium in cell division. *Cell Calcium*. 16: 322–330. doi: 10.1016/0143-4160(94)90096-5
- Helper, P.K. 2005. Calcium a central regulator of plant growth and development. *The Plant Cell*. 17: 2142-2155.
- Hochmal, A., Schulze, K., Trompelt, S., and M. Hippler. 2015. Calciumdependent regulation of photosynthesis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Bioenerg*. 1847: 993–1003. doi: 10.1016/j.bbabi.2015.02.010
- Hocking, B., Tyerman, S. D., Burton, R. A., and M. Gilliam. 2016. Fruit calcium: transport and

- Padasalagi, R.M., Lalitha, B.S., Jayadeva, H.M., and G. Raddy. 2019. Effect of sulphur and boron on growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 8(6):1426–31.
- Patel, T.D., Viradia, R.R., Tejashwini, C.R., Patel, H.V., and U.R. Patel. 2017. Studied on effect of foliar application of micronutrient (Fe and Zn) on growth, flowering quality and yield of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cv. Prajwal. International Journal of Chemical Studies. 5: 93-97.
- Qamar, J., Rehman, A., Ali, M.A., Qamar, R., Ahmed, K., and W. Raza. 2016. Boron increases the growth and yield of mung bean. Journal of Advance Agricultural. 6(2):922–4. doi: 10.24297/jaa.v6i2.5374.
- Rahmani, B., Ghasemnezhad, M., Fotouhi Ghazvini, R., and A. Forghani. 2021. Effect of boron spray at different phenological stages on fruit set, mineral composition, and carbohydrates content of three olive cultivars. Horticulture and Postharvest Research. 24:21–34. doi: 10.22077/JHPR.2021.3677.1165.
- Reddy, A.R.G., and M.M. Sarkar. 2016. Studies on the effect of foliar application of calcium on post-harvest, corm and cormel production in gladiolus CV. Summer Sunshine. International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology. 9: 89-94.
- Seyedi, N.A., Torkashv, M., and M.S. Allahyari. 2013. Investigating of the effects of calcium concentration under hydroponic conditions on quantitative and qualitative growth of *Lilium* 'Tresor'. Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants. 3: 19-24.
- Schmitz-Eiberger, M., Haefs, R., and G. Noga. 2002. Calcium deficiency - Influence on the antioxidative defense system in tomato plants. Journal of Plant Physiology. 159: 733–742. doi: 10.1078/0176-1617-0621
- Sharma, U.B., and R.K. Khare. 2014. Effect of bio fertilizers and foliar spray of zinc under different levels of N, P on floral characteristics and economics of *Gladiolus grandiflorus*. Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika. 29: 78-81.
- Kumari, S., Raghupathi, B., Sarika, K., and P. Deb. 2018. Effect of different preservatives on vase-life of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cv. Calcutta Single. International journal of current microbiology and applied sciences. 7: 1651-1657.
- Kumar, B., Sarkar, N.C., Maity, S., and R. Maiti. 2019. Effect of different levels of sulphur and boron on the growth and yield of sesame under red-laterite soils. Reserch on Crop. 20(3):515–24. doi: 10.31830/ 2348-7542.2019.074.
- Luiz, A.M., Fernando, L.F., and G.B. Ulisses. 2005. Preharvest calcium sulfate applications affect vase life and severity of gray mold in cut roses. Scientia Horticulturae. 103: 329-338.
- Maiti, S., Moon, U.R., Bera, P., Samanta, T., and A. Mitra. 2014. The in vitro antioxidant capacities of *Polianthes tuberosa* L. flower extracts. Acta Physiologiae Plantarum. 36: 2597–2605.
- Mandal, M., Maitra, S., and D. Mahata. 2018. Production technology of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cultivation. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 7(6): 2360-2364.
- Meriño-Gergichevich, C., Pacheco, E., and M.R. Díaz. 2016. The effect of foliar boron spraying on the fruit features of Brigitta and Legacy high bush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) cultivars. Ciencia e Investigación Agraria. 43(3):452–63. doi: 10.4067/S0718- 16202016000300011.
- Mortazavi, S.N., Bagheri, F., and M. Bahadoran. 2016. Some characteristics of tuberose as affected by pre-harvest application of calcium chloride and gibberellic acid. Advances in Horticultural Science. 30: 69-74.
- Mudassir, S., Ahmad, R., and M.A. Anjum. 2021. Foliar Application of Micronutrients Enhances Growth, Flowering, Minerals Absorption and Postharvest Life of Tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) in Calcareous Soil. Journal of Horticultural Science and Technology 4(2):41-47.
- Nazari, F. 2019. The effect of foliar application of calcium chloride and nanocalcium chelated on vegetative, reproductive and post-harvest life of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). Journal of Plant Research. 32(2): 497-510.

Vanlalruati, S.S., Anand, P., and G. Kumar. 2019. Effect of micronutrients (Fe and Zn) on flowering and yield attributes of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*) cv. Mayur Indian. Journal of Agricultural Science. 89: 1282-1286.

Yadegari, M. 2013. Foliar application of Fe, Cu, Mn and B on growth, yield, and essential oil yield of marigold (*Calendula officinalis*). Journal of Applied Science and Agriculture. 8: 559-567.

Zhang, Y. H., and J. Liu. 2021. Effects of Pb and Ca on mitosis of vicia faba root tip cells. Seed Science and Technology. 39: 1-3.
doi: 10.19904/j.cnki.cn14-1160/s.2021.24.001.

Shireen, F., Nawaz, MA., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., and H. Sohail. 2018. Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. International Journal of Molecular Sciences. 19(7):1856-976.
doi: 10.3390/ijms19071856.

Silva, AP., Rosa, EAS., and S. Haneklaus. 2003. Influence of foliar boron application on fruit set and yield of Hazelnut. Journal of Plant Nutrition. 26(3): 61-90. doi: 10.1081/PLN-120017665.

Tan, W., Meng, Q.W., Brestic, M., Olsovska, K., and X. Yang. 2011. Photosynthesis is improved by exogenous calcium in heat-stressed tobacco plants. Journal of Plant Physiology. 168: 2063- 2071.

Using the NIAZAB system to estimate the amount of water consumed by the eggplant plant using the method of inverse solution of the production function in deficit irrigation conditions

Ali Abdzad Gohari^{1*}, Arash Tafteh², Niazali Ebrahimipak³

1- Corresponding author and Researcher of Department of Irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(abdzadgohari_a@yahoo.com)

2- Assistant professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(Arash_tafteh@yahoo.com)

3- Associated professor, Department of Irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(Nbrahimipak@yahoo.com)

Received Date: 10/07/2022

Accepted Date: 21/10/2022

Abstract

Introduction: Deficit low irrigation is of particular importance as a valuable strategy for areas where water is the limiting factor in crop cultivation. The ability to estimate in determining the water requirement, the amount of water consumed and Irrigation scheduling one of the most effective factors in the irrigated cultivation of agricultural products. Therefore, this research was conducted in order to investigate the NIAZAB system in determining the actual amount of irrigation water and eggplant yield based on the inverse solution of the production function under water stress conditions in Guilan province.

Material and methods: In this research, irrigation management included no irrigation and providing 60, 80, and 100% of the plant's water needs as the main factor and secondary factors nitrogen fertilizer amounts (from the urea fertilizer source) included two levels of zero and 120 kg/ha. The experiment was carried out in the form of split plots in the form of a randomized complete block design in three replications in the years 2020 - 2022. In terms of climate, the region was one of the temperate and humid regions. The Soil and Water Research Institute of the country presented a system called "NIAZAB System" which is used to determine the water requirement of agricultural crops. This system has the ability to estimate and determine water Requirements, water consumption and plant irrigation planning at the level of the region, city, watershed and plain. One of the important points of this system is its location-based nature, and the user can extract the needs of the desired area by referring to the system and estimate the water consumption for the cultivation pattern under different options.

Results and discussion: The results showed that the highest amounts of evapotranspiration in the studied years occurred in the irrigation conditions of 100% of the water requirement and the consumption of 120 kg N fertilizer. In the measured conditions and the methods of Tafteh, Pasquale and Reas, the amount of evapotranspiration in 2020 were 341, 332, 333 and 333 mm respectively and in 2021 it were 358, 346, 359 and 346 mm respectively and in 2022 were 620, 576, 615 and 577 mm respectively. The average relative error in the mentioned methods in the first year were 2.6%, 2.3% and 2.3% respectively and in the second year were 3.4%, -0.3% and 3.4% respectively, and in the third year, were 7.1%, 0.8% and 6.9% respectively. The root mean square error (RMSE) for evapotranspiration in Tafteh, Pasquale and Reas methods were 18.6, 79.3 and 18.3 mm/day, respectively, and the root mean square normal error (RMSE_n) was 0.059, 0.251 and 0.058% respectively. The Index of agreement (d) in the Tafteh, Pasquale and Reas methods were 0.976, 0.595 and 0.977%, respectively. The coefficients of efficiency (EF) of the models were 0.915, -0.536 and 0.918 percent respectively, and the coefficients of determination (R²) were 0.92, 0.35 and 0.92% respectively.

Conclusions: In general, the statistical results between field data and NIAZAB System showed that Tafteh and Reas methods are a suitable method for making decisions and estimating the water consumption of eggplant plants in the study area.

Keywords: Water productivity, evapotranspiration, numerical inverse solution, water requirement.

استفاده از سامانه نیاز آب در برآورد مقدار آب مصرفی گیاه بادمجان به روش حل معکوس تابع تولید در شرایط کم آبیاری

علی عبدزادگوهری^{۱*}، آرش تافته^۲، نیاز علی ابراهیمی پاک^۳

۱- نویسنده مسئول، محقق، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(abdzadgohari_a@yahoo.com)

۲- استادیار، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(Arash_tafteh@yahoo.com)

۳- دانشیار، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(Nebrahimipak@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۹

چکیده

توانایی تعیین نیاز آبی، مقدار آب مصرفی و برنامه‌ریزی آبیاری از موارد اثرگذار در کشت آبی محصولات کشاورزی می‌باشد. مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سامانه‌ای با عنوان «سامانه نیاز آب» ارائه داد که توانایی برآورد و تعیین نیاز آبی، آب مصرفی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان در سطح منطقه، شهرستان و دشت را با استفاده از روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس دارد. در این تحقیق مدیریت آبیاری شامل بدون آبیاری و تأمین ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان عامل اصلی و مقادیر کود نیتروژن (از منبع کود اوره) شامل دو سطح صفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان عامل فرعی بودند. آزمایش به‌صورت کرت-های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ انجام گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر تبخیر-تعرق در سال‌های مورد مطالعه در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن رخ داد. در شرایط اندازه‌گیری شده و روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس، میزان تبخیر-تعرق در سال ۱۳۹۹ به ترتیب ۳۴۱، ۳۳۲، ۳۳۳ و ۳۳۳ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۰ به ترتیب ۳۵۸، ۳۴۶، ۳۵۹ و ۳۴۶ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ به ترتیب ۶۲۰، ۵۷۶، ۶۱۵ و ۵۷۷ میلی‌متر بود. میانگین خطای نسبی در روش‌های مذکور در سال اول به ترتیب ۲/۶، ۲/۳ و ۲/۳ درصد و در سال دوم به ترتیب ۳/۴، ۳/۳ و ۰/۳ درصد و در سال سوم به ترتیب ۷/۱، ۸/۰ و ۶/۹ درصد بود. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تبخیر-تعرق در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به ترتیب ۱۸/۶، ۷۹/۳ و ۱۸/۳ میلی‌متر در روز و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (RMSE_n) به ترتیب با ۰/۰۵۹، ۰/۲۵۱ و ۰/۰۵۸ درصد مشاهده شد. شاخص توافق یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوئله و ریس به ترتیب با ۰/۹۷۶، ۰/۵۹۵ و ۰/۹۷۷ درصد و ضریب کارایی (EF) مدل به ترتیب با ۰/۹۱۵، ۰/۵۳۶ و ۰/۹۱۸ درصد و مقادیر ضریب تبیین (R^2) به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۳۵ و ۰/۹۲ درصد بود. به طور کلی، نتایج آماری بین داده‌های مزرعه‌ای و سامانه نیاز آب نشان داد که روش‌های تافته و ریس به‌عنوان یک روش مناسب در تصمیم‌گیری و تخمین آب مصرفی گیاه بادمجان در منطقه مورد مطالعه مناسب می‌باشد.

کلمات کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، تبخیر-تعرق، حل معکوس عددی، نیاز آبی.

مقدمه

بادمجان (*Solanum melongena* L) گیاهی مهم از خانواده سولاناسه (Solanaceae) است که به طور گسترده در مناطق نیمه گرمسیری و گرمسیری جهان کشت می شود (Rotino et al., 2014; Mwinuka et al., 2021). میوه های بادمجان علاوه بر سایر ترکیبات فعال زیستی تقویت کننده سلامت، دارای مقدار کافی مواد مغذی هستند که حاوی غلظت قابل توجهی از اسیدهای فنولیک می باشند که برای سلامت و رشد انسان مفید است (Braga et al., 2016; Niño-Medina et al., 2017; Blando et al., 2018). بادمجان بعد از سیب زمینی، گوجه فرنگی، فلفل و تنباکو، پنجمین محصول مهم اقتصادی سولاناسه است (Taher et al., 2017). در هر منطقه، محدودیت منابع آب می تواند از گسترش بیشتر کشاورزی جلوگیری کند (Mohawesh and Al Absi 2009).

خشکی یکی از مهم ترین تنش های محیطی است که می تواند بر خواص خاک، رشد گیاه و بهره وری محصولات کشاورزی از جمله بادمجان به عنوان یک محصول باغی، تأثیر نامطلوب بگذارد. آبیاری در زمانی که بادمجان ها در حال رشد می باشد، ضروری است و دوره های خشکی بیش از حد می تواند باعث ریزش گل ها و رشد میوه شود (Mwinuka et al., 2021). مقدار آب مورد نیاز بستگی به نوع خاک، شرایط رشد و روش های کاشت دارد. روش کم آبیاری به عنوان یک استراتژی ارزشمند در مناطق مختلف بر محصولات زراعی، باغی و درختان میوه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج موفقیت آمیزی داشت (Zegbe et al., 2004; Mahadeen et al., 2011; Mohawesh and Al Absi 2009; Karam et al., 2006; Fereres and Soriano, 2007; Mahadeen et al., 2011). یکی دیگر از مزایای کم آبیاری، کاهش سطح آلودگی آفات و بیماری های گیاهی است؛ به ویژه آفاتی که تحت تأثیر آبیاری و رطوبت خاک هستند (Kriedemann and Goodwin, 2003). مطالعات متعددی، تنش آبی را بر رشد و عملکرد بادمجان بررسی نمودند و نشان دادند که تنش آبی باعث کاهش

میانگین وزن، قد، قطر و حجم میوه بادمجان می شود که منجر به کاهش قابل توجهی در عملکرد تازه می شود (Kirnak et al., 2002; Chaves et al., 2003). در تحقیقی گزارش شد که تنش آبی باعث کاهش عملکرد و بهره وری مصرف آب در بادمجان می شود (Lovelli et al., 2007). در پژوهشی گزارش شد که تنش آبی منجر به کاهش سطح برگ و همچنین تجمع ماده خشک در بادمجان می شود، اما با شرایط آبیاری مناسب، به دلیل حفظ تعادل آبی در گیاه، قابلیت استفاده از مواد مغذی بهبود یافت (Abdalla et al., 2018).

کود نیتروژن نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی دارد و انتخاب این کود برای رسیدن به بالاترین سطح تولید الزامی است. استفاده بهینه از آب و کود نیتروژن و اعمال مدیریت درست می تواند علاوه بر افزایش محصول از زیان های ناشی از کمبود منابع آب جلوگیری نماید (Mwinuka et al., 2021).

تابع تولید یکی از شاخص های مورد استفاده در مباحث عملکرد گیاه-آب مصرفی است که در افزایش بهره وری مصرف آب که به صورت نسبت عملکرد محصول به مقدار آب مصرفی می باشد، مؤثر است (Taftah et al., 2014; Greaves et al., 2020). در زمینه آب مصرفی و توابع تولید، هدف اساسی حصول بیشترین عملکرد در واحد سطح و حداکثر بهره وری از آب مصرفی است تا به بالاترین سود و درآمد خالص نهایی رسید (Abdzaad et al., 2022).

سامانه نیاز آبی کشور که توسط موسسه تحقیقات خاک و آب کشور ارائه شده است، سامانه ای است برای تعیین نیاز آبی محصولات زراعی و باغی که توانایی برآورد و تعیین نیاز آبی، آب مصرفی و برنامه ریزی آبیاری گیاهان را در سطح منطقه، شهرستان، حوضه آبریز، دشت دارد. این سامانه ساختار چند هسته ای دارد و با در اختیار گرفتن بانک های اطلاعات داده های هواشناسی، داده های گیاهی، مراحل فنولوژی گیاه و با ایجاد زیرسامانه محاسبات فنی

که شامل فرمول‌ها و روابط علمی کالیبره شده است، مقدار نیاز آبی گیاهان را برآورد می‌کند و از طریق زیرسامانه‌های خروجی بسته به نوع بهره‌بردار، خروجی‌های متعدد در اختیار کاربر قرار می‌دهد. یکی از نکات برجسته این سامانه، مکان محور بودن آن است و استفاده‌کننده در هر مکان با مراجعه به سامانه، نیازهای منطقه‌ای خود را استخراج می‌کند و می‌تواند آب مصرفی برای الگوی کشت را تحت گزینه‌های مختلف کاربری به‌ذی‌نفعان بخش آب کشاورزی با قابلیت به‌روزرسانی ارائه نماید (Ebrahimi, Pak et al., 2022a). مبنای حل معکوس تابع تولید، از روش جی آر جی (GRG Nonlinear (Generalized Reduced Gradient پیروی می‌کند. این روش، توسعه‌ای از روش گرادیان کاهش یافته برای تطبیق با محدودیت‌های نابرابر غیرخطی است که در آن به‌گونه‌ای جواب یافت می‌شود که برای هر حرکت کوچک، محدودیت‌های فعال در نظر گرفته می‌شود و دقیقاً فعال باقی می‌مانند. اگر برخی از قیودهای فعال به دلیل غیرخطی بودن توابع محدودیت، دقیقاً برآورده نشده باشند، از روش نیوتن-رافسون برای بازگشت به مرز محدودیت استفاده می‌شود. بنابراین، روش مذکور را می‌توان تا حدودی شبیه به روش طرح‌ریزی گرادیان پیشرفته در نظر گرفت.

این پژوهش با هدف بررسی سامانه نیاز آب در تعیین مقدار آب مصرفی گیاه بادمجان بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در شرایط تنش آبی در منطقه مورد مطالعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در شرق استان گیلان و در شهرستان آستانه اشرفیه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه، با ارتفاع متوسط ۵- متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ انجام گرفت. مدیریت آبیاری

شامل بدون آبیاری و تأمین ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان عامل اصلی و مقادیر کود نیتروژن (از منبع کود اوره) شامل دو سطح صفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل فرعی بودند. منطقه از لحاظ آب و هوایی جزء مناطق معتدل و مرطوب بود (جدول ۱). قبل از آماده‌سازی زمین، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، در طی سه سال از اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری به‌طور تصادفی نمونه‌برداری شد (جدول ۲). در ۳۰ فروردین ماه، زمین شخم و بعد کرت‌بندی انجام گردید. در دهم اردیبهشت ماه نشاء بادمجان (رقم محلی)، روی ردیف خطی و به صورت دستی کشت شد. ابعاد هر یک از کرت‌های آزمایشی ۱۰×۲۰ متر بود. بر اساس آزمون خاک، میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۴۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم استفاده شد. توزیع کود نیتروژن در ۵ نوبت، در طول دوره کشت انجام شد. برای تعیین تیمارهای آبیاری از تخلیه رطوبتی خاک به‌روش وزنی استفاده شد و نیاز آبی گیاه به‌عنوان تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری در نظر گرفته شد و سایر تیمارهای آبیاری به‌عنوان درصدی از این مقدار منظور گردید (Stewart and Nielsen, 1990). برای دستیابی به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، رطوبت خاک در عمق ریشه گیاه، با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید. مقدار آب آبیاری بر پایه رطوبت خاک در عمق ریشه تا حد ظرفیت زراعی مزرعه بود.

$$d_n = (\theta_{Fc} - \theta_i) \cdot pb \cdot D_r \quad (1)$$

که در آن، θ_{Fc} : درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی، θ_i : درصد وزنی رطوبت موجود در خاک، pb : جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D_r : عمق مؤثر ریشه (سانتی‌متر) می‌باشد. مدت زمان و میزان آبیاری در هر مرحله با تعیین عمق ریشه در گیاه (حفر خاک در اطراف ریشه گیاه در هر کرت) اندازه‌گیری شد. رطوبت خاک نیز در هر لایه به روش وزنی برای هر

که در آن ET_c : مقدار تبخیر-تعرق در شرایط بدون تنش آبی، K_c : معرف ضریب گیاهی و ET_o : مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع است. در سامانه نیاز آب، میزان تبخیر-تعرق بر اساس عملکرد پتانسیل و واقعی از روش‌های (Raes (2004)، Tafteh *et al.*, (2014) و روش پاسکوئه بر اساس (Reas *et al.*, (2017) بر مبنای فائو ۶۶ استفاده می‌شود. هر سه روش، ارزیابی حساسیت محصول را بر روی بازه‌ها و توان‌های مختلف بررسی می‌کنند و توان نسبی را بر اساس نسبت ضریب واکنش عملکرد به کل ضرایب واکنش (به عنوان توان معادله حاصل ضربی) ارائه دادند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزارهای SPSS (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد)، رسم شکل‌ها با Excel و برای مقایسه آماری بین نتایج، از شاخص‌های آماری موجود در روابط ۶ تا ۱۱ استفاده شد.

$$MRE = \frac{O_i - P_i}{O_i} \times 100 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right)} \quad (7)$$

$$RMSE_n = \left[\left(\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} / \bar{O} \right] \times 100 \quad (8)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (11)$$

که در آن: میانگین خطای نسبی (Mean Relative Error, MRE)، ریشه میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error, RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (Normalized Root Mean Square Error, RMSEn)، ضریب کارایی مدل (Coefficient of Efficiency/EF)، شاخص توافق یا سازگاری (Index of

مرحله از آبیاری مشخص گردید. میزان آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه شامل مجموع آب آبیاری و مقدار بارندگی بود و اندازه‌گیری مقدار آب تحویلی به هر واحد آزمایشی، توسط کنتور انجام گرفت. اندازه‌گیری بیشترین عمق توسعه ریشه با روش پروفیل مستقیم و به میزان ۹۰ سانتی‌متر بود. اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی گیاه بادمجان از طریق اندازه‌گیری اجزای بیلان آب بر اساس رابطه (۲) انجام شد.

$$I + P - ET_c - R - D = \Delta S \quad (2)$$

که در آن I: مقدار آب آبیاری (میلی‌متر)، P: بارندگی موثر (میلی‌متر)، ET_c : مقدار تبخیر و تعرق (میلی‌متر)، پارامترهای R و D به ترتیب مقدار رواناب و عمق آب زهکشی شده هستند که در سیستم آبیاری قطره‌ای نواری این مقادیر صفر در نظر گرفته شدند. ΔS : نشان دهنده تغییرات ذخیره رطوبت خاک بر حسب میلی‌متر می‌باشد که جهت تعیین آن، پس از هر نوبت آبیاری، از کرت‌های آزمایشی نمونه‌گیری رطوبتی (روش وزنی) انجام پذیرفت. تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) از روش پنمن مانیتث و با کمک برنامه کراپ‌وات (Cropwat) محاسبه گردید. در طول فصل رشد عملیات داشت مانند وجین علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها انجام گرفت. تعداد چین‌های برداشت محصول در این تحقیق ۷ چین بود که براساس تعداد چین متعارف بین کشاورزان انجام گردید. جهت برآورد عملکرد محصول، پس از حذف دو ردیف گیاه از طرفین، ۱۲ بوته از هر واحد آزمایشی انتخاب و توسط ترازوی دقیق آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب) بر اساس تبخیر-تعرق، از تقسیم عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) بر میزان تبخیر-تعرق (میلی‌متر) محاسبه گردید (Abdzad *et al.*, 2022). مقدار ضریب گیاهی در طول دوره رشد گیاه، از رابطه (۳) به‌دست آمد (Allen *et al.*, 2011).

$$ET_c = K_c ET_o \quad (3)$$

کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط و بالاتر از ۳۰ درصد، ضعیف برآورد شده است (Jamieson *et al.*, 1991). میزان ضریب کارایی و میزان شاخص توافق یا سازگاری بین منفی بی‌نهایت تا مثبت یک متغیر است و هرچه میزان آن به یک نزدیکتر باشد، مدل دارای کارایی بهتر و مقادیر شبیه‌سازی شده قابل اطمینان‌تر می‌باشد (Willmott *et al.*, 1982).

Coefficient of Agreement/IoA Or d) و ضریب تبیین (Determination/R2) است. پارامترهای $\bar{O}$, P , O و n به ترتیب داده مشاهده‌شده، برآورد شده و میانگین داده‌های مشاهده‌ای و تعداد مشاهدات می‌باشد. در ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده اگر مقادیر MRE و RMSE به صفر و مقادیر d , EF و R^2 به ۱ نزدیک‌تر باشند، نشان دهنده این مطلب است که مدل شبیه‌سازی را بهتر انجام داده است. اگر ریشه میانگین مربعات خطای نرمال،

جدول ۱- داده های هواشناسی منطقه در سال‌های مورد مطالعه

Table 1- Meteorological data of the region in the studied years

Month	Years	Min Temp (°C)	Max Temp (°C)	Average relative humidity (%)	Wind speed at a height of two meters (m/s).	Rainfall (mm)	Evaporation from pan (mm per day)
May	2020	12.1	39.0	41.4	1.9	32.1	6.9
	2021	11.2	38.4	40.2	2.0	20.3	6.7
	2022	11.7	38.7	40.8	1.9	10.0	6.8
June	2020	17.5	46.6	32.2	1.8	8.5	12.4
	2021	16.8	45.5	33.3	1.9	9.4	11.9
	2022	17.2	46.1	32.8	1.9	9.1	12.2
July	2020	21.0	44.0	31.3	2.0	30.0	13.6
	2021	20.0	44.6	30.2	2.1	25.5	13.1
	2022	20.5	44.3	30.8	2.0	12.8	13.4
August	2020	23.0	45.0	36.6	2.0	15.4	12.1
	2021	22.0	44.5	35.7	2.3	12.3	12.0
	2022	22.5	44.8	36.2	2.1	10.9	12.1
September	2020	15.0	42.0	29.4	2.7	5.0	11.4
	2021	14.7	41.6	25.4	2.8	2.5	11.0
	2022	14.9	41.8	27.4	2.8	3.8	11.2

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of the soil of the experiment site

Years	Soil depth (cm)	Soil texture	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	pH	EC (ds/m)	Total N (%)	Available P (ppm)	Available K (ppm)	Bulk density (g.cm ⁻³)	PWP (%Vol)	FC (%Vol)
2020	0-30	Sandy Loam	63	5	32	7.1	0.31	0.05	0.99	46.7	1.43	5.3	16.0
	30-60	Sandy Loam	70	4	26	7.5	0.31	0.04	0.63	55.6	1.43	4.6	13.8
2021	0-30	Sandy Loam	67	5	28	7.2	0.46	0.05	0.99	47.2	1.43	5.2	15.0
	30-60	Sandy Loam	75	4	21	7.5	0.48	0.04	0.63	56.0	1.42	4.6	12.7
2022	0-30	Sandy Loam	67	3	30	7.2	0.45	0.03	0.98	46.7	1.42	4.1	14.1
	30-60	Sandy Loam	72	3	25	7.6	0.26	0.03	0.52	26.2	1.42	4.0	12.9

نتایج و بحث

مقادیر تبخیر-تعرق در تیمارهای مختلف آبیاری در سال‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس موجود در سامانه نیاز آب و رویکرد حل معکوس تابع تولید برآورد گردید. نتایج نشان داد که میزان تبخیر-تعرق در طول دوره رشد گیاه مقدار ثابتی نیست و شرایط محیطی بر میزان تبخیر-تعرق تأثیرگذار است. شدت تبخیر-تعرق از سطح خاک به علت سطح کم پوشش گیاهی در مراحل ابتدایی بالا بوده و پس از آن به مرور زمان میزان تبخیر از سطح خاک به علت توسعه پوشش گیاهی کاهش می‌یابد (Ehsani *et al.*, 2012; Abdzad Gohari *et al.*, 2022). بیشترین مقدار آب مصرفی در سال‌های مورد مطالعه در تمام تیمارها در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن بود، به طوری که در شرایط اندازه‌گیری شده و روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس، مقدار آب مصرفی در سال اول به ترتیب ۲۸۷، ۲۷۹، ۲۸۰ و ۲۸۰ میلی‌متر و در سال دوم به ترتیب ۲۸۸، ۲۷۶، ۲۸۸ و ۲۷۷ میلی‌متر و در سال سوم به ترتیب ۵۹۱، ۵۴۷، ۵۸۶ و ۵۴۸ میلی‌متر بود (جدول ۳). بیشترین مقادیر تبخیر-تعرق در سال‌های مورد مطالعه در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن رخ داد، به طوری که در شرایط اندازه‌گیری شده و روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس، میزان تبخیر-تعرق در سال اول به ترتیب ۳۴۱، ۳۳۲، ۳۳۳ و ۳۳۳ میلی‌متر و در سال دوم به ترتیب ۳۵۸، ۳۴۶، ۳۵۹ و ۳۴۶ میلی‌متر و در سال سوم به ترتیب ۶۲۰، ۵۷۶، ۶۱۵ و ۵۷۷ میلی‌متر بود. میانگین خطای نسبی در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس در سال اول به ترتیب ۲/۶، ۲/۳ و ۲/۳ درصد و در سال دوم به ترتیب ۳/۴، ۰/۳ و ۳/۴ درصد و در سال سوم به ترتیب ۷/۱، ۰/۸ و ۶/۹ درصد بود (جدول ۴). مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در گیاه بادمجان نشان داد که در تیمارهای مختلف، بین روش‌های تافته و ریس اختلاف اندکی وجود دارد. اما با توجه به ماهیت سامانه و عدم

توانایی در شبیه‌سازی در شرایط تنش یا دیم، مشاهده شد که روش‌های مذکور دقت پایینی دارند و روش پاسکوئله نسبت به سایر روش‌ها از دقت بسیار پایینی برخوردار بود که با نتایج گزارش شده توسط Egdernezhad *et al.*, (2019) منطبق است. اما در شرایط آبیاری کامل و تنش تا سطح ۸۰ درصد، روش‌های تافته و ریس، ارزیابی قابل قبولی در برآورد مقدار آب مصرفی و تبخیر-تعرق داشتند. بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط اندازه‌گیری شده، روش تافته، پاسکوئله و ریس در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن در سال ۱۳۹۹ با عملکرد ۴۷/۴ تن بر هکتار به ترتیب ۱۶/۵، ۱۷/۰، ۱۶/۹ و ۱۶/۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود که میزان خطای نسبی آن-ها ۰/۳ درصد بود. در سال ۱۴۰۰ عملکرد ۴۵/۲ تن بر هکتار به ترتیب ۱۵/۷، ۱۶/۴، ۱۵/۷ و ۱۶/۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود که میزان خطای نسبی آن‌ها به ترتیب ۰/۰۴، صفر و ۰/۴ درصد بود. در سال ۱۴۰۱ عملکرد ۴۲/۹ تن بر هکتار به ترتیب ۷/۳، ۷/۸، ۷/۳ و ۷/۸ درصد بود که میزان خطای نسبی آن‌ها به ترتیب ۰/۰۸، ۰/۰۱ و ۰/۰۸ درصد بود (جدول ۵).

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تبخیر-تعرق در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به ترتیب ۱۸/۶، ۷۹/۳ و ۱۸/۳ میلی‌متر در روز و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (RMSE_n) به ترتیب ۰/۰۵۹، ۰/۲۵۱ و ۰/۰۵۸ درصد مشاهده شد. شاخص توافقی یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوئله و ریس به ترتیب ۰/۹۷۶، ۰/۵۹۵ و ۰/۹۷۷ درصد و ضریب کارایی (EF) مدل به ترتیب ۰/۹۱۵، ۰/۵۳۶- و ۰/۹۱۸ بود. نتایج مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از سامانه نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده با استفاده از سامانه در روش‌های تافته و ریس به خط یک به یک نزدیک بود و مقادیر ضریب تبیین در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۳۵ و ۰/۹۲ درصد بود (شکل‌های ۱ تا ۳). در پژوهشی نشان داده شد

علی عبدزاد گوهری و همکاران: استفاده از سامانه نیاز آب در برآورد مقدار آب مصرفی گیاه بادمجان به روش حل ...

جدول ۳- مقادیر آب مصرفی (میلی متر) در شرایط اندازه گیری شده و برآورد شده با سامانه در سال های مورد مطالعه

Table 3- The amounts of water consumed (mm) in the conditions measured and estimated by the system in the studied years

Treatments	Water consumed (mm)											
	2020 year				2021 year				2022 year			
	Obs**	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method	Obs**	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method	Obs**	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method
I ₂ N ₁	127	136	279	137	129	138	288	139	262	300	586	301
I ₂ N ₂	172	147	280	148	173	149	288	150	355	339	586	340
I ₃ N ₁	169	159	279	160	172	161	288	162	349	352	586	352
I ₃ N ₂	230	183	280	184	230	183	288	184	473	391	586	392
I ₄ N ₁	211	171	279	172	215	172	288	173	436	339	586	340
I ₄ N ₂	287	279	280	280	288	276	288	277	591	547	586	548

مدیریت آبیاری: ۶۰٪ (I₂)، ۸۰٪ (I₃) و ۱۰۰٪ (I₄) درصد نیاز آبی؛ مقادیر کود نیتروژن: صفر (N₁) و ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار (N₂).

Irrigation management: 60% (I₂), 80% (I₃) and 100% (I₄) water requirement; Nitrogen fertilizer amounts: zero (N₁) and 120KgN/ha (N₂). *: water consumed Or water consumed (mm). **: Observational Or Measured: Obs.

جدول ۴- تبخیر-تعرق برآورد شده با استفاده از سامانه و اندازه گیری شده و مقادیر درصد خطای نسبی

Table 4- Evapotranspiration estimated using the system and observational and mean relative error (%) amounts

Year	Treatments	Yield (t/ha)	Evapotranspiration (mm)				Mean Relative Error (%)		
			Obs*	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method
2020	I ₁ N ₁	13.2g	128	164	332	163	28.1	159.4	27.3
	I ₁ N ₂	18.1e	133	189	333	190	42.1	150.4	42.9
	I ₂ N ₁	15.0f	167	176	332	177	5.4	98.8	6.0
	I ₂ N ₂	18.7e	216	189	333	190	12.5	54.2	12.0
	I ₃ N ₁	21.6d	213	202	333	203	5.2	56.3	4.7
	I ₃ N ₂	26.1b	279	228	333	229	18.3	19.4	17.9
	I ₄ N ₁	24.4c	258	215	333	216	16.7	29.1	16.3
	I ₄ N ₂	47.4a	341	332	333	333	2.6	2.3	2.3

ادامه جدول ۴
Continue Table 4

Year	Treatments	Yield (t/ha)	Evapotranspiration (mm)				Mean Relative Error (%)		
			Obs [*]	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method
Average (2020 year)		23.1	216.7	211.9	332.8	212.6	16.4	71.2	16.2
2021	I ₁ N ₁	12.7f	113	177	359	177	56.6	217.7	56.6
	I ₁ N ₂	18.1d	118	203	359	203	72.0	204.2	72.0
	I ₂ N ₁	14.6e	179	190	359	191	6.1	100.6	6.7
	I ₂ N ₂	18.5d	229	203	359	203	11.4	56.8	11.4
	I ₃ N ₁	21.4c	228	215	359	216	5.7	57.5	5.3
	I ₃ N ₂	25.7b	293	241	359	242	17.7	22.5	17.4
	I ₄ N ₁	21.8c	276	229	359	229	17.0	30.1	17.0
	I ₄ N ₂	45.2a	358	346	359	346	3.4	0.3	3.4
Average (2021 year)		22.3	224.3	225.5	359.0	225.9	23.8	86.2	23.7
2022	I ₁ N ₁	12.1g	57	303	538	304	843.9	433.3	429.5
	I ₁ N ₂	17.4e	59	355	615	356	942.4	503.4	499.2
	I ₂ N ₁	14.2f	291	329	615	330	111.3	13.4	13.3
	I ₂ N ₂	18.8e	384	368	615	369	60.2	3.9	-4.0
	I ₃ N ₁	21.1c	378	381	615	382	62.7	1.1	1.0
	I ₃ N ₂	25.3b	502	420	615	421	22.5	16.1	-16.2
	I ₄ N ₁	19.1d	465	368	615	369	32.3	20.6	-20.7
	I ₄ N ₂	42.9a	620	576	615	577	0.8	6.9	-6.9
Average (2022 year)		21.4	344.5	387.5	605.4	388.5	124.4	259.5	111.9

مدیریت آبیاری: بدون آبیاری (I₁)، ۶۰٪ (I₂)، ۸۰٪ (I₃) و ۱۰۰٪ (I₄) درصد نیاز آبی؛ مقادیر کود نیتروژن: صفر (N₁) و ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار (N₂). حروف مختلف بعد از اعداد در ستون مشاهده‌ای، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن بین تیمارها است (p<0.01).

Irrigation management: No Irrigation (I₁), 60% (I₂), 80% (I₃) and 100% (I₄) water requirement; Amounts of nitrogen fertilizer: zero (N₁) and 120 Kg/ha (N₂). Different letters after the numbers in the observational column, indicate a significant difference between treatments based on Duncan's test (p<0.01). *: Observational Or Measured: Obs.

علی عبدزاد گوهری و همکاران: استفاده از سامانه نیاز آب در برآورد مقدار آب مصرفی گیاه بادمجان به روش حل ...

جدول ۵- مقادیر درصد خطای نسبی بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط اندازه‌گیری شده و برآورد شده با سامانه

Table 5- The relative error percentage of water physical productivity in the conditions observational and estimated by the system

Year	Treatments	WP (kg/ha)				Mean Relative Error (%)		
		Obs [*]	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method
2020	I ₂ N ₁	11.8c	11.0	5.4	10.9	0.07	0.54	0.07
	I ₂ N ₂	10.9d	12.7	6.7	12.6	0.17	0.39	0.16
	I ₃ N ₁	12.8b	13.6	7.7	13.5	0.06	0.39	0.06
	I ₃ N ₂	11.3c	14.3	9.3	14.2	0.26	0.18	0.25
	I ₄ N ₁	11.6c	14.3	8.7	14.2	0.23	0.24	0.23
	I ₄ N ₂	16.5a	17.0	16.9	16.9	0.03	0.03	0.03
Average (2020 year)		12.5	13.8	9.1	13.7	0.14	0.30	0.13
2021	I ₂ N ₁	11.3c	10.6	5.1	10.5	0.07	0.55	0.07
	I ₂ N ₂	10.7d	12.4	6.4	12.3	0.16	0.40	0.15
	I ₃ N ₁	12.4b	13.3	7.4	13.2	0.07	0.40	0.06
	I ₃ N ₂	11.2c	14.0	8.9	14.0	0.26	0.20	0.25
	I ₄ N ₁	10.1d	12.7	7.6	12.6	0.25	0.25	0.24
	I ₄ N ₂	15.7a	16.4	15.7	16.3	0.04	0.00	0.04
Average (2021 year)		11.9	13.2	8.5	13.2	0.14	0.30	0.14
2022	I ₂ N ₁	5.4c	4.7	2.4	4.7	0.13	0.55	0.13
	I ₂ N ₂	5.3c	5.5	3.2	5.5	0.05	0.39	0.04
	I ₃ N ₁	6.0b	6.0	3.6	6.0	0.01	0.40	0.01
	I ₃ N ₂	5.3c	6.5	4.3	6.5	0.21	0.19	0.21
	I ₄ N ₁	4.4d	5.6	3.3	5.6	0.29	0.26	0.28
	I ₄ N ₂	7.3a	7.8	7.3	7.8	0.08	0.01	0.08
Average (2022 year)		5.6	6.0	4.0	6.0	0.13	0.30	0.12

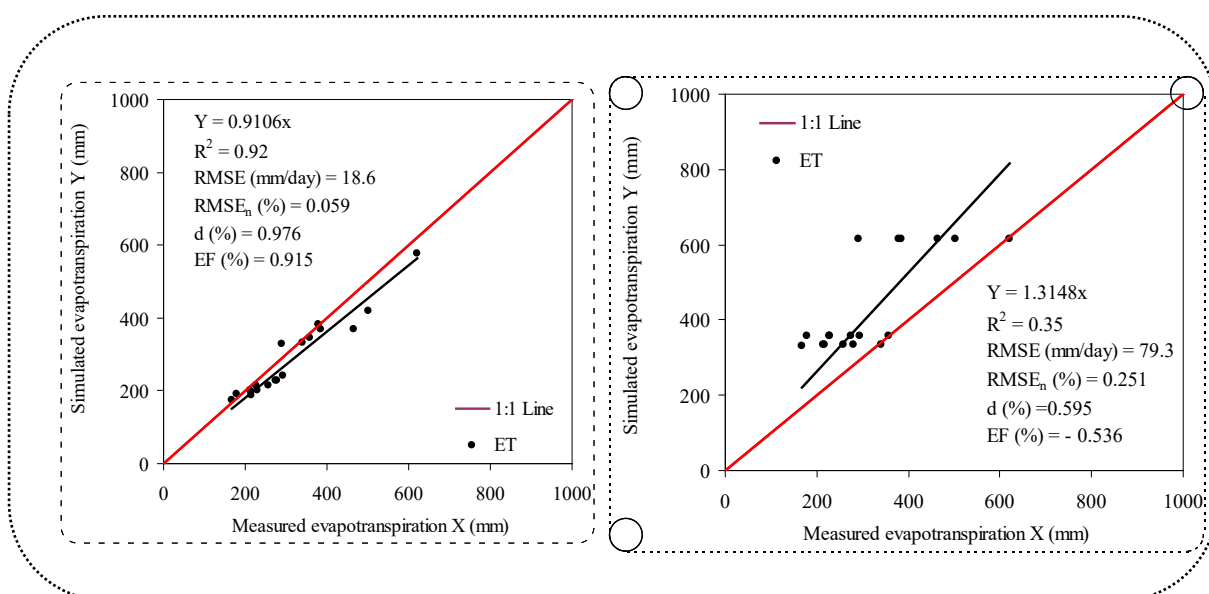
مدیریت آبیاری: ۶۰ (I₂)، ۸۰ (I₃) و ۱۰۰ (I₄) درصد نیاز آبی؛ مقادیر کود نیتروژن: صفر (N₁) و ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار (N₂)

Irrigation management: 60% (I₂), 80% (I₃) and 100% (I₄) water requirement; Amounts of nitrogen fertilizer: zero (N₁) and 120 KgN/ha (N₂). *: Observational Or Measured: Obs.

میانگین خطای نرمال ۰/۱۷ درصد و ضریب توافقی ۰/۹۵ بود که نشان‌دهنده نتایج قابل قبول در تعیین مقدار آب آبیاری در سطح مزرعه است (Ebrahimipak et al., 2022b).

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای بهره‌وری مصرف آب در روش‌های تافته، پاسکوله و ریس به ترتیب ۱/۱۶، ۲/۹۲ و ۱/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (RMSE_n) به ترتیب با ۰/۱۱۶، ۰/۲۹۲ و ۰/۱۱۳ درصد مشاهده شد. شاخص توافقی یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوله و ریس به ترتیب با ۰/۹۰۱، ۰/۵۲۳ و ۰/۹۰۷ درصد و ضریب کارایی (EF) مدل به ترتیب با ۰/۶، ۱/۵۴۴- و ۰/۶۲۳ درصد بود. نتایج نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط سامانه، در روش‌های تافته و ریس به خط یک‌به‌یک نزدیک بود. مقادیر ضریب تبیین در روش‌های تافته، پاسکوله و ریس به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۶۹ و ۰/۹۰ درصد بود (شکل‌های ۴ تا ۶). نتایج حاکی از برآورد مناسب دو روش تافته و ریس بود که نسبت به روش پاسکوله از دقت بیشتری برخوردار است.

که روش‌های تافته، پاسکوله و ریس، دارای مقادیر بالای ضریب تبیین با داده‌های مشاهده‌ای در گیاه کلزا بودند (Ebrahimipak et al., 2018). در پژوهشی ارقام گیاه بادام‌زمینی با سامانه نیاز آب بررسی گردید و بیان شد که مقدار ضریب تبیین در ارقام مختلف بین ۰/۶۵ و ۰/۶۴، ریشه میانگین مربعات خطا بین ۵۲/۶۰ و ۵۲/۲۴ و میانگین انحراف خطا بین ۱۵/۵۳ و ۱۵/۰۳ متغیر بود و شاخص توافقی مدل به ترتیب بین ۰/۹۵ و ۰/۹۸ و ضریب کارایی بین ۹۵ و ۹۸ درصد قرار داشت که نشان دهنده برآورد مناسب مقدار واقعی آب آبیاری توسط سامانه نیاز آب بود (Abdzaad Gohari et al., 2022). در تحقیقی نیاز آبی گیاه فلفل‌دلمه‌ای در تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه بررسی و با سامانه نیاز آب مقایسه گردید، نتایج نشان داد که شاخص‌های آماری RMSE، RMSE_n و d و EF به ترتیب برابر با ۳۸/۵۵، ۰/۲۱، ۰/۹۹ و ۰/۹۵ بود (Jafari et al., 2022). در پژوهشی مدیریت‌های مختلف آبیاری در گندم با استفاده از سامانه نیاز آب بررسی گردید و گزارش شد که میزان عملکرد دارای ریشه

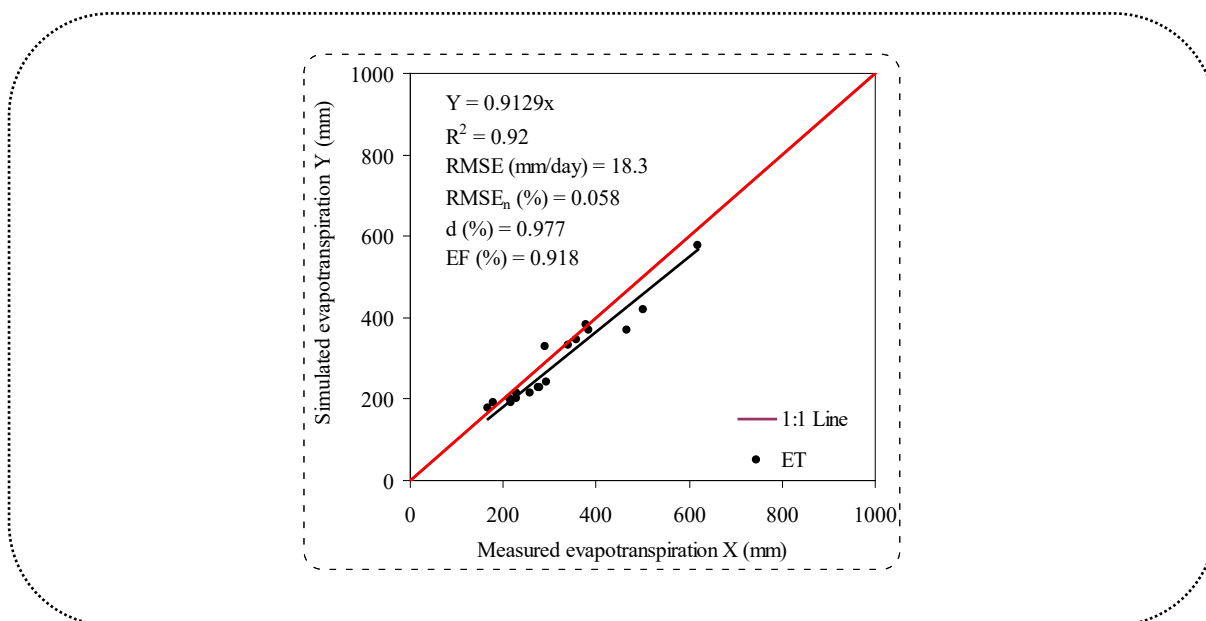


شکل ۱- مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش تافته و همکاران، ۲۰۱۴

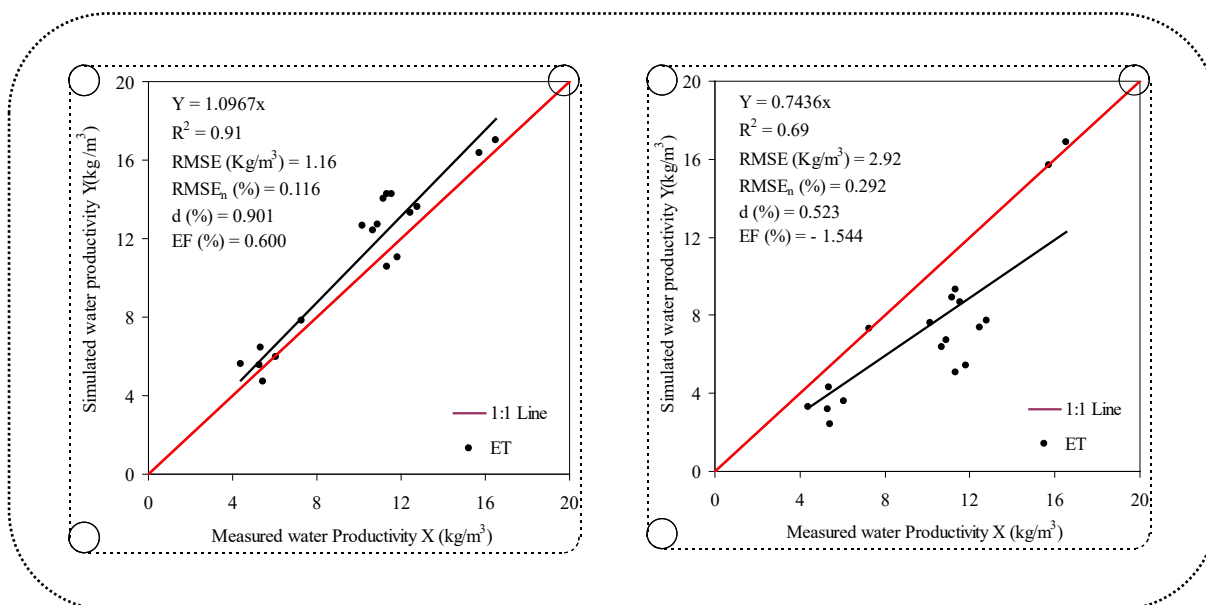
Figure 1- Evapotranspiration amount measured and estimated using the method of Tafteh et al., 2014

شکل ۲- مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش پاسکوله (ریس و همکاران، ۲۰۱۷)

Figure 2- Evapotranspiration amount measured and estimated using the method of Pasquale (Reas et al., 2017)

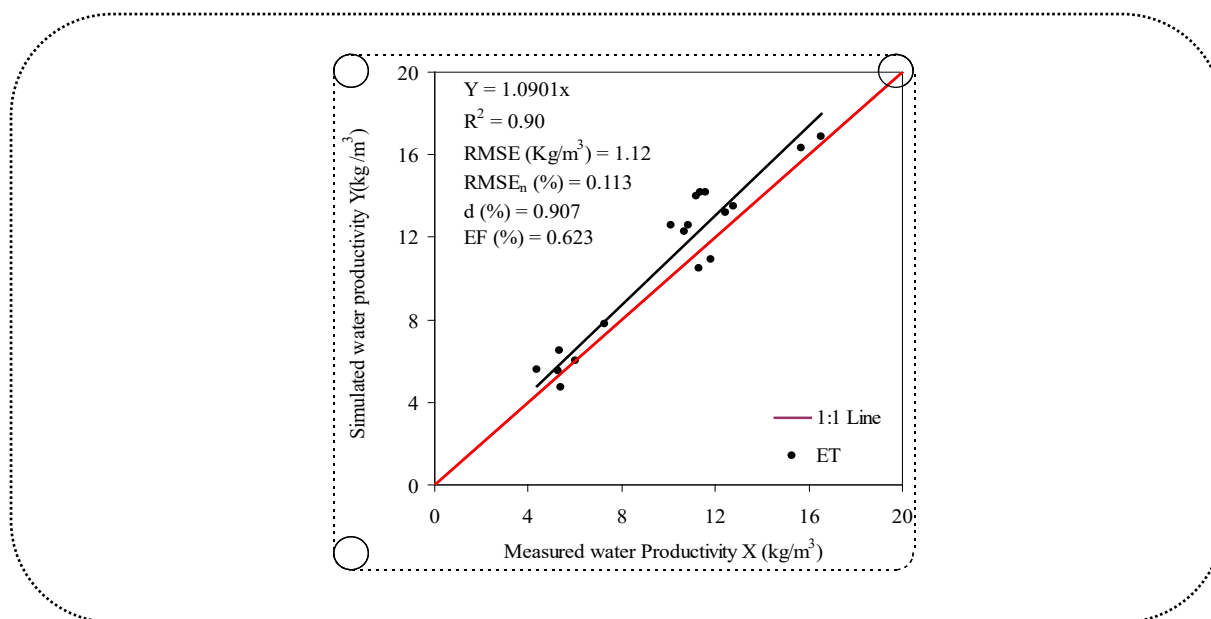


شکل ۳- مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش ریس و همکاران، ۲۰۰۴
Figure 3- Evapotranspiration amount measured and estimated using the method of Reas *et al.*, 2004



شکل ۴- میزان بهره‌وری مصرف آب در شرایط اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش تافته و همکاران، ۲۰۱۴
Figure 4- Water productivity in measured and estimated conditions using the method of Taffeh *et al.*, 2014

شکل ۵- میزان بهره‌وری مصرف آب در شرایط اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش پاسکوئله (ریس و همکاران، ۲۰۱۷)
Figure 5- Water productivity in measured and estimated conditions using the method of Pasquale (Reas *et al.*, 2017)



شکل ۶- میزان بهره‌وری مصرف آب در شرایط اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش ریس و همکاران، ۲۰۰۴

Figure 6- Water productivity in measured and estimated conditions using the method of Reas *et al.*, 2004

می‌توان از روش‌های تافته و ریس موجود سامانه نیاز آب به عنوان یک روش مناسب در تصمیم‌گیری و تخمین آب مصرفی گیاه بادمجان در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود.

منابع

Abdalla, M.M.A., H.Z. El-Dekashey, M. Dalia., T. Nassef., and G.Z.H. Kahlil. 2018. Effect of Irrigation Intervals and Genotypes on Growth and Yield of Eggplant (*Solanum melongena* L.) I-Vegetative Growth. Assiut Journal of Agricultural Sciences. (49) 2: 157-176.

Abdzad Gohari, A., A. Tafteh., and N. Ebrahimipak. (2022). Investigation of Water Requirement System in Determining the Actual Amount of Irrigation Water of Peanut Plant Based on Inverse Solution of Yield Function under Water Stress Conditions. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 3(16), 460-471. (In Persian).

Allen, R.G., L.S. Pereira, T.A. Howell., and M.E. Jensen. (2011). Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management. 98(6): 899-920.

Blando, F., N. Calabriso, H. Berland, G. Maiorano, C. Gerardi, M.A. Carluccio, A. Andersen., and O.M. Radical. 2018. Scavenging and anti-inflammatory activities of representative anthocyanin groupings from pigment-rich fruits and vegetables.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش بیشترین تبخیر-تعرق برای گیاه بادمجان در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کود مصرفی ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. حل معکوس تابع تولید با استفاده از سامانه نیاز آب در روش‌های تافته، پاسکوله و ریس نشان داد که میانگین تبخیر-تعرق گیاه بادمجان در سال اول ۲۱۱/۹، ۲۱۶/۹، ۳۳۲/۸ و ۲۱۲/۶ میلی‌متر و در سال دوم به ترتیب ۲۲۴/۳، ۲۲۵/۵، ۳۵۹ و ۲۲۵/۹ میلی‌متر و در سال سوم به ترتیب ۳۴۴/۵، ۳۸۷/۵، ۶۰۵/۴ و ۳۸۸/۵ میلی‌متر بود. نتایج میزان بهره‌وری مصرف آب و تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده حاکی از آن بود که مقادیر بهره‌وری مصرف آب و تبخیر-تعرق در روش تافته و ریس به خط یک‌به‌یک نزدیک بود و میزان ضریب تبیین در روش‌های مذکور برای بهره‌وری مصرف آب به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۰ درصد و برای تبخیر-تعرق در هر دو روش ۰/۹۲ درصد بود. بنابراین، این دو روش نسبت به روش پاسکوله دارای برآورد مناسب‌تری هستند. به‌طور کلی و با توجه به نتایج آماری و برآورد مناسب بین داده‌های مشاهده‌ای (اندازه‌گیری شده) با سامانه نیاز آب،

- Jafari najafabadi, M., A. Tafteh., and N.A. Ebrahimipak. 2022. Determining the water requirement and Applied water of bell pepper in the greenhouse and comparing it with the results of the water requirement system. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 53 (8): 1831-1848. (In Persian).
- Jamieson, P.D., J.R. Porter., and D.R. Wilson. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*. 27: 337-350.
- Karam, F., L. Ahoud, R. Masaad, R. Daccache, A. Mounzer., and Y. Roupheal. 2006. Water Use and Lint Yield Response of Drip Irrigated Cotton to Length of Irrigation Season. *Agricultural Water Management*. 85: 287-295.
- Kirnak, H., I. Tas, C. Kaya., and D. Higgs. 2002. Effects of deficit irrigation on growth, yield, and fruit quality of eggplant under semi- arid conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*. 53:1367-1373.
- Kriedemann, P.E., and I. Goodwin. 2003. Regulated deficit irrigation and partial root-zone drying: an overview of principles and applications. *Irrigation insights* 4. Canberra: Land and Water. p. 102.
- Lovelli, S., M. Perniola, A. Ferrara., and T. Tommaso. 2007. Yield response factor to water (K_y) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agricultural Water Management*. 92: 73-80.
- Mahadeen, A., O. Mohawesh, K. Al-Absi., and W. Al-Shareef. 2011. Effect of irrigation regimes and frequency on water use efficiency and tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown under an arid environment. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 57:105-114.
- Mohawesh, O., and K. Al-Absi. 2009. Physiological response of two apple genotypes to different water regimes under semiarid conditions. *Advances in Horticultural Science*. 23: 158-165.
- Mwinuka, P.R., B.P. Mbilinyi, W.B. Mbungu, S.K. Mourice, H.F. Mahoo., and P. Schmitter. 2021. Optimizing water and nitrogen application for neglected horticultural species in tropical sub-humid climate areas: A case of African eggplant (*Solanum aethiopicum* L.). *Scientia Horticulturae*. 276: 109756.
- Niño-Medina, G., V. Uriás-Orona, M.D. Muy-Rangel., and J.B. Heredia. 2017. Structure and content of phenolics in eggplant (*Solanum melongena* L): A review. *South African Journal of Botany*. 111: 161-169.
- International Journal of Molecular Sciences. 19: 169. 1-15.
- Braga, P.C., R.L. Scalzo, M.D. Sasso, N. Lattuada, V. Greco., and M. Fibiani. 2016. Characterization and antioxidant activity of semi-purified extracts and pure delphinidin-glycosides from eggplant peel (*Solanum melongena* L.). *Journal of Functional Foods*. 20: 411-421.
- Chaves, M.M., J.P. Maroco, and J.S. Pereira. 2003. Understanding plant responses to drought from genes to whole plant. *Functional Plant Biology*. 30: 239-264.
- Ebrahimipak, N., A. Tafteh, N. Hosseini., and Keykhaei, F. 2022a. NIAZAB system. Soil and Water Research Institute. (<http://niwr.ir>). (In Persian).
- Ebrahimipak, N.A., A. Tafteh, A. Egdarnejad., and S. Kapourchal. 2018. Determination of monthly evapotranspiration coefficients of winter wheat by different methods of estimating evapotranspiration and evaporation pan in Qazvin plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 8(4): 107-121. (In Persian).
- Ebrahimipak, N.A., A. Tafteh, F. Abbasi., and G. Baghani. 2022b. Estimation the actual amount of wheat irrigation water using the NIAZAB system and compare with the farm measurement. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 53(9): 2075-2092. (In Persian).
- Egdernezhad, A., N.A. Ebrahimipak, A. Tafteh., and M. Ahmadee. 2019. Canola Irrigation Scheduling using AquaCrop Model in Qazvin Plain. *Water Management in Agriculture*. 5(2): 53-64. (In Persian).
- Ehsani, A., H. Arzani, M. Farahpur., and M. Jafari. 2012. Evapotranspiration Estimation Using Climatic Data, Plant Characteristics and Cropwat 8.0 Software (Case Study: Steppic Region of Markazi Province, Roodshore Station). *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 19(1): 1-16. (In Persian).
- Fereres, E., and M.A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Special issue on Integrated approaches to sustain and improve plant production under drought stress. *Journal of Experimental Botany*. 58: 147-159.
- Greaves, L.M., C.A. Houkamau., and C.G. Sibley. 2017. Random intercept exploratory factor analysis of the multidimensional model of Māori identity and cultural engagement. *Personality and Individual Differences*. 105: 14-18.

Tafteh, A., T. Nakhjavani Moghadam, A. Egdernezhad., and S. Sepehri. 2020. Evaluation of Production Functions in Estimating Two Varieties of Corn Yield with Native Yield Response Factor in the Iran. Iranian Journal of Soil and Water Research. 51(10): 2519-2529. (In Persian).

Taher, D., S. Solberg, J. Prohens, Y. Chou, M. Rakha., and T. Wu. 2017. World vegetable center eggplant collection: origin, composition, seed dissemination and utilization in breeding. Front Plant Science. 8: 1484. 1-12.

Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of American Meteorology Society. 63: 1309-1313.

Zegbe, J.A., M.H. Behboudian., and B.E. Clothier. 2004. Partial rootzone drying is feasible option for irrigating processing tomatoes. Agricultural Water Management. 68: 195-206.

Raes, D. 2004. Budget: A soil water and salt balance model. Reference Manual. Version 6.0 (<http://www.iupware.be> and select downloads and next software. last updated June 2004).

Raes, D., P. Steduto, T.C. Hsiao., and E. Fereres. 2017. Reference manual AquaCrop. FAO. Land and Water Division, Rome, Italy. 25p.

Rotino, G.L., T. Sala., and L. Toppino. 2014. Eggplant in Alien Gene Transfer in Crop Plants. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. pp. 381-409.

Stewart, B.A., and D.R. Nielsen. 1990. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America Publishers, Madison, Wisconsin. Agricultural Water Management. 20(4): 341-342.

Tafteh, A., N.A. Ebrahimipak, H. Babazadeh., and F. Kaveh. 2014a. Determine yield response factors of important crops by different production functions in Qazvin plain. Ecology. Environment and Conservation 20(2): 415-422. (In Persian).

Effect of three kinds nanoparticles and methyl jasmonate on antioxidant system activity in *Cannabis sativa* L.

Sedigheh Fabriki-Ourang^{1*}, Motahareh Mohammadi², Jafar Ahmadi³

1- Corresponding Author, Associate Professor, Department of Genetics and Plant Breeding, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

(s.ourang910@gmail.com)

2- M.Sc. student in genetics and plant breeding, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

(naemeh@gmail.com)

3- Professor, Department of Genetics and Plant Breeding, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. (njahmadi910@yahoo.com)

Received Date: 29/04/2022

Accepted Date: 14/10/2022

Abstract

Introduction: *Cannabis sativa* L. is an annual dioecious plant from Central Asia. It has been used since ancient times as a medicinal plant, but also it is the source of hemp fibers and vegetable oil used as food. Cannabis has been used for medicinal purposes, for treating pain, spasms, asthma, insomnia, depression, and loss of appetite, in many cultures for hundreds of years. Antioxidants are the most important chemical compounds found in the *C. sativa* species. Cannabis contains a diverse group of active compounds, including cannabinoids, terpenes, and flavonoids, which exhibit multidirectional biological activity and can influence each other's pharmacological profile. Hemp leaves, often considered waste in the industry, have been found to contain high levels of active compounds, making them a valuable resource for extraction. Utilizing hemp leaves can contribute to a zero-waste approach and sustainable development of the industry. Considering the climatic diversity of Iran, as well as the importance of the medicinal plant cannabis and also the use of nanoparticles in agriculture, the present study was conducted with the aim of the effect of these abiotic elicitors on the antioxidant system of cannabis.

Material and methods: To evaluate the effect of nanoparticles of titanium dioxide (TiO₂) (250 and 500 mg/l), zinc dioxide (ZnO₂) (125 and 250 mg/l), cerium dioxide (CeO₂) (125 and 250 mg/l) and methyl jasmonate (MJ) (50 and 100 µM) on the antioxidant activity of hemp plant, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with three replications. The elicitors solution was applied as irrigation and the sampling of plant leaves was done 24, 48 and 72 hours after the elicitor treatment, respectively. After preparing the enzyme extracts from the leaf tissue of treated cannabis plants, the activity of antioxidant enzymes catalase, ascorbate peroxidase, superoxide dismutase, glutathione reductase and guaiacol peroxidase was measured using a spectrophotometer..

Results and discussion: The analysis of variance results indicated the significance ($p \leq 0.01$) of the effect of different elicitors and sampling times on all antioxidant activities. Also, all the two-way elicitor $\times$ time interaction effects were significant ($p \leq 0.01$) on all studied traits. In means comparison of the two-way interaction effect, it was found that the 125 mg/l of CeO₂ and 250 mg/l of ZnO₂ in the sample taken 48 hours after the treatment had the highest amount of protein. Also, 250 mg/l TiO₂ in 48 hours sampling after the treatment showed the highest amount of catalase, 125 mg/l ZnO₂ in the 72 and 48 hours sampling after the treatment showed the highest amount of ascorbate peroxidase, the 250 mg/l CeO₂ in 48 hours sampling after the treatment showed the highest amount of glutathione reductase, the 125 mg/l CeO₂ in 48 hours sampling and 250 mg/l ZnO₂ in 72 hours sampling showed the highest levels of guaiacol peroxidase, and 50 µM methyl jasmonate in the sample taken 48 hours after the treatment had the highest amount of superoxide dismutase in the leaves of the hemp plant.

Conclusions: In this research, the highest amount of protein was observed with cerium and zinc nanoparticles at 48 hours sampling time after treatment. Also, the highest amount of catalase with titanium nanoparticles at 48 hours, the highest amount of ascorbate peroxidase with zinc nanoparticles at 72 and 48 hours, the highest amount of glutathione reductase and Guaiacol peroxidase with cerium nanoparticles in 48 hours and the highest amount of superoxide dismutase with methyl jasmonate in 48 hours sampling time after treatment were observed in hemp leaves.

Keywords: Cerium dioxide, Elicitor, Titanium dioxide, Zinc dioxide..

تأثیر محلول پاشی نانوذرات و متیل جاسمونات بر فعالیت آنتی اکسیدانی شاهدانه (*Cannabis sativa* L.)

صدیقه فابریکی اورنگ^{۱*}، مطهره محمدی^۲، جعفر احمدی^۳

۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
(s.ourang910@gmail.com)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
(naemeh@gmail.com)

۳- نویسنده مسئول، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
(njahmadi910@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۹

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) (غلظت ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر)، دی اکسید روی (ZnO_2) (غلظت ۱۲۵ و ۲۵۰ میلی گرم در لیتر)، دی اکسید سرب (CeO_2) (غلظت ۱۲۵ و ۲۵۰ میلی گرم در لیتر) و متیل جاسمونات (MJ) (غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرو مولار) بر فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه شاهدانه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. محرک‌ها به صورت محلول تهیه و به صورت آبیاری در مرحله شروع گلدهی اعمال گردید و نمونه برداری برگ گیاهان به ترتیب، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از اعمال محلول محرک انجام شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی دار بودن اثر فاکتور محرک‌های مختلف و زمان‌های نمونه‌گیری پس از اعمال تیمار بر تمام فعالیت‌های آنتی اکسیدانی در سطوح احتمال یک درصد بود. همچنین اثر متقابل دوگانه محرک $\times$ زمان نمونه برداری بر روی تمام صفات در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. در مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه محرک $\times$ زمان، به ترتیب غلظت‌های ۱۲۵ و ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر سرب و روی در زمان ۴۸ ساعت پس از اعمال محرک بالاترین میزان پروتئین را نشان دادند. همچنین غلظت ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر تیتانیوم در زمان ۴۸ ساعت بالاترین میزان کاتالاز، غلظت ۱۲۵ میلی گرم بر لیتر روی در زمان ۷۲ و ۴۸ ساعت بالاترین میزان آسکوربات پراکسیداز، غلظت ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر سرب در زمان ۴۸ ساعت بالاترین میزان گلوکاتایون ردوکتاز، غلظت ۱۲۵ میلی گرم بر لیتر سرب در زمان ۴۸ ساعت و غلظت ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر روی در زمان ۷۲ ساعت بالاترین میزان گایاکول پراکسیداز و غلظت ۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات در زمان ۴۸ ساعت میزان سوپراکسید دیسموتاز را در برگ‌های گیاه شاهدانه نشان دادند.

کلمات کلیدی: الیستور، دی اکسید تیتانیوم، دی اکسید روی، دی اکسید سرب.

مقدمه

شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) یک گیاه دارویی است که با وجود قدمت کشت و کار طولانی، به دلیل ممانعت‌های قانونی، جایگاه اصلی خود را در بین گیاهان، به‌ویژه در ایران پیدا نکرده است. از این رو هیچ‌گاه به‌عنوان یک منبع غذایی، دارویی و صنعتی مهم مورد توجه نبوده است و تحقیقات اندکی روی ویژگی‌های زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آن صورت گرفته است. شاهدانه گیاهی یک‌ساله، علفی و دو پایه از خانواده کانابیناسه می‌باشد که بیش از ۴۸۰ ترکیب شیمیایی در آن شناسایی شده است (Flores, 2008).

یکی از فناوری‌های پیشرفته در زمینه کنترل تنش‌های وارده به گیاه، استفاده از نانوذره‌ها است. نانوذرات، مجموعه‌ای اتمی یا مولکولی با ابعاد یک تا صد نانومتر هستند که خواص فیزیکوشیمیایی متفاوتی نسبت به گروه مواد خود دارند. نانوذرات اکسید فلزی به دلیل تنوع در ساختمان کریستالی و ماهیت پیوندهای یونی، کووالانسی یا فلزی شناخته شده هستند. این ذرات، ویژگی‌های الکترونیکی و مغناطیسی خاصی دارند و در مواد تجاری، زیست محیطی، شیمی و پزشکی به کار می‌روند (Gawande et al., 2016).

یکی از واکنش‌های گیاهان به تنش‌های زنده و غیر زنده، افزایش دادن انواع اکسیژن فعال^۱ می‌باشد که از احیای ناقص اکسیژن در طی فرآیندهای حیاتی سلول همچون تنش، فتوستنز، تنفس نوری به وجود می‌آید. رادیکال‌های آزاد منجر به تخریب درشت مولکول‌ها، پروتئین‌ها و نشاسته می‌شوند و توسط پراکسیداسیون لیپیدی پایداری غشا را کاهش می‌دهند و نیز با بالابردن نشت الکترولیت‌ها از غشا باعث کاهش جوانه‌زنی گیاه می‌شوند (Turkan, 2011). تنش اکسیداتیو در گیاه بر اثر تولید انواع اکسیژن فعال در طی اجرای فرآیندهای حیاتی ایجاد می‌شود و سلول‌های گیاهی برای مهار انواع اکسیژن فعال

از مکانیسم‌های تحمل چرخه مهلر^۲، چرخه گلوتاتیون آسکوربات^۳ و چرخه گزانتوفیل^۴ بهره می‌برند. اجزای این چرخه‌ها، یا انواع اکسیژن فعال را جذب می‌کنند و یا از تولید آن‌ها جلوگیری نموده و به پایداری سلول کمک می‌کنند. این چرخه‌ها از آنزیم‌های آنتی اکسیدانی تشکیل شده‌اند (Gill and Tuteja, 2010). گیاهان برای کنترل انواع اکسیژن فعال دارای دو نوع عملکرد (سیستم آنزیمی و غیر آنزیمی) می‌باشند. عملکرد غیر آنزیمی شامل کاروتنوئیدها، توکوفرول‌ها، آسکوربات و گلوتاتیون آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فنولیک مانند فلاوونوئیدها است و عملکرد آنزیمی شامل سوپراکسید دیسموتاز^۵، کاتالاز^۶، آسکوربات پراکسیداز^۷، گلوتاتیون ردوکتاز^۸، گایاکول پراکسیداز^۹ و سایر آنتی اکسیدان‌ها می‌باشد (Gill and Tuteja, 2010). ترکیبات آنتی اکسیدان با رادیکال‌های آزاد واکنش می‌دهند و با دادن الکترون، آن‌ها را به فرم پایدار تبدیل می‌کنند (Pandey et al., 2002).

تیتانیوم به عنوان یک عنصر مفید سبب بیش‌تر شدن و تحریک رشد می‌شود. نانو دی اکسید تیتانیوم باعث بهتر شدن جذب نور و فعالیت آنزیم رویسکو، بالارفتن جذب نیترات و بیش‌تر شدن سرعت تبدیل مواد غیر آلی به آلی می‌شود (Nair et al., 2010). تیتانیوم دی اکسید (TiO_2) کاربردهای زیادی دارد، از جمله اینکه به وسیله بالابردن فتوستنز و کم کردن آسیب‌های آفات و بیماری‌ها تا ۳۰ درصد سبب افزایش محصول می‌گردد (Martinez-Sanchez et al., 1993). تیتانیوم بر فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه نیز اثر دارد و باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، نیترات ردوکتاز و پراکسیداز می‌شود. محققین، دلیل افزایش فعالیت این آنزیم‌ها تحت تأثیر محرک تیتانیوم را ناشی از

2. Mehler reaction

3. ascorbate-glutathione cycle

4. Xanthophyll cycle

5. Superoxide dismutase; SOD

6. Catalase; Cat

7. Ascorbate peroxidase; APX

8. Glutathione reductase; GR

9. Guaiacol peroxidase; GPX

1. Reactive oxygen species; ROS

افزایش جذب آهن دانستند (Martinez-Sanchez et al., 1993).

جاسمونیک اسید و پیش سازهای آن با عنوان جاسمونات‌ها شناسایی می‌شوند. جاسمونات برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ در گل یاس شناسایی شد. متیل جاسمونات با فرمول شیمیایی $C_{13}H_{20}O_3$ به صورت مایعی بی رنگ می باشد که به عنوان یکی از هورمون‌های گیاهی در تنظیم بیان ژن، تنظیم مسیر متابولیت‌ها، ایجاد پاسخ‌های دفاعی و تولید مثل موثر می باشد. متیل جاسمونات به عنوان یک محرک با منشا غیر زیستی می‌تواند به القای تولید آنزیم‌های اکسیدانت در گیاهان کمک کند (Saisavivey et al., 2014).

عنصر روی از عناصر کم مصرف ضروری است که برای رشد طبیعی و تولیدمثل گیاهان زراعی ضروری است. نیاز به روی، برای رشد بهینه و مراحل فیزیولوژیک گزارش شده است. این فلز به عنوان فعال کننده و کوفاکتور برخی آنزیم‌های حیاتی گیاه ازجمله کربونیک انهیدرازها، RNA دهیدروژنازها، آلکالین فسفاتازها، فسفولیپازها و پلیمرازها در متابولیسم پروتئین‌ها، قندها، اسیدهای نوکلئیک و چربی‌ها، فتوسنتز گیاه و بیوسنتز اکسین به عنوان یک هورمون محرک رشد ایفای نقش می‌کند. برخی از محققان معتقدند که فلز روی از طریق محافظت پروتئین‌ها و لیپیدهای غشایی در برابر رادیکال‌های آزاد و سایر محصولات حاصل از واکنش‌های احیایی درون سلولی، سبب حفظ تمامیت غشای سلول‌ها می‌شود. به علاوه این فلز به همراه مس بخش اصلی آنزیم سوپراکسیددسموتاز را به عنوان حذف کننده رادیکال‌های آزاد تشکیل می‌دهد (Misra, 1992). محققان بیان کرده‌اند که نانوذرات اکسید روی در مقایسه با اکسید روی اثر منفی بیشتری دارند زیرا گونه‌های فعال اکسیژن بیشتری تولید می‌کنند (Franklin et al., 2007). سمی بودن فلز روی در غلظت بالا به دلیل این است که این ترکیب، با مهار فرایند انتقال الکترون فتوسنتزی، به عنوان یک تولید کننده فعال رادیکال‌های

سمی اکسیژن سلول عمل می‌کند و همچنین به صورت غیر مستقیم با کاهش جذب و جابجا کردن آهن در گیاه، واکنش‌های اکسیداتیو را راه اندازی می کند (Prasad, 1995).

نانوذرات اکسید سیریم ($nCeO_2$) کاربرد مکانیکی شیمیایی گسترده دارند و در مواد افزودنی سوخت استفاده می‌شود. نانو ذرات اکسید سیریم شکل اکسید شده عنصر سیریم می‌باشد که به جهت تغییرات جای خالی اکسیژن سطحی و آرایش ظرفیتی می‌توانند فعالیت سوپراکسیددسموتاز و کاتالاز را تقلید کنند، بنابراین قادر هستند به عنوان جاروب کننده‌های گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر در بسیاری از زمینه‌های بیولوژیک عمل کنند. این ویژگی سیریم در مقیاس نانو به دلیل نسبت بیشتر سطح به حجم افزایش پیدا می‌کند (Celardo et al., 2011).

با توجه به تنوع اقلیمی ایران و نیز اهمیت گیاه دارویی شاهدانه و استفاده از نانوذره‌ها در کشاورزی، بررسی حاضر با هدف تاثیر این محرک‌های غیرزنده روی سیستم آنتی اکسیدانی شاهدانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

عملیات کشت در گلخانه و محلول پاشی محرک‌ها

به منظور بررسی تاثیر محرک‌های غیر زنده، بر فعالیت‌های آنتی اکسیدانی شاهدانه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در گلخانه و آزمایشگاه دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) استان قزوین با سه تکرار انجام شد. دو فاکتور مورد مطالعه شامل محرک‌ها (۹ سطح) و زمان نمونه‌گیری (۳ سطح) بودند، به‌طوری که محرک تیتانیوم دی اکسید (TiO_2) با دو غلظت ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر، متیل جاسمونات (MJ) با دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار و دو محرک سیریم دی اکسید (CeO_2) و روی دی اکسید (ZnO_2) هر دو با غلظت ۱۲۵ و ۲۵۰ میلی گرم در لیتر تهیه شده و قبل از استفاده به مدت نیم ساعت در دستگاه سونیکاتور قرار داده شدند.

نهایت به حجم ۲۵۰ میلی لیتر رسانده شد. این محلول در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شد.

تهیه محلول استوک سرم گاوی BSA

مقدار ۰/۰۱ گرم از آلبومین گاوی را توزین نموده در یک میلی لیتر آب مقطر دو بار تقطیر شده حل و به این ترتیب محلول ۰/۱ میلی گرم در میلی لیتر به دست آمد. سپس از این استوک غلظت های ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ تهیه شد. به هر یک از غلظت های فوق ۹۰۰ میلی لیتر محلول Bradford افزوده شد، سپس ۵ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. در نهایت دستگاه اسپکتروفتومتر را روی طول موج ۵۹۵ نانومتر تنظیم نموده، برای بلانک کردن دستگاه از ۹۰۰ میلی لیتر محلول Bradford به علاوه ۱۰۰ میلی لیتر آب استفاده شد. نهایتاً منحنی استاندارد ترسیم و میزان پروتئین نمونه ها با روش برادفورد (۱۹۷۶) محاسبه شد.

آنزیم آسکوربات پراکسیداز

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) به روش ناکاتو و آسادا (۱۹۸۱) اندازه گیری شد. مخلوط واکنش شامل ۲ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار (pH=7)، ۰/۳۴ میکرولیتر H_2O_2 دو میلی مولار، ۸۰ میکرولیتر آسکوربات دو میلی مولار و ۲۰ میکرولیتر عصاره گیاه شاهدانه بود. دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۹۰ نانومتر تنظیم شد و نتایج در ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه و بر حسب میکرومول آسکوربات اکسیده شده در دقیقه در یک میلی گرم پروتئین خوانده شد.

آنزیم گایاکول پراکسیداز

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX) به روش Upadhyay و همکاران (۱۹۸۵) اندازه گیری شد. مخلوط واکنش شامل ۱۲۵۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار (pH=6.1) ۵۰۰ میکرولیتر گایاکول یک درصد، ۵۰۰ میکرولیتر H_2O_2 یک درصد و ۲۰ میکرولیتر عصاره گیاهی بود. دستگاه در طول موج ۴۲۰ نانومتر تنظیم

برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. گلدان های به قطر ۲۰ سانتی متر و ارتفاع ۲۰ سانتی متر انتخاب و با نسبت سه به یک از خاک مزرعه و کود دامی پوسیده پر شدند و در هر گلدان ۱۲ بذر کاشته شد. آبیاری با توجه به خشک بودن خاک و به طور معمول دو بار در هفته انجام شد. پس از این که گیاهان به مرحله گل دهی رسیدند، اعمال محرک ها به صورت محلول دهی به همراه آبیاری به هر گلدان به میزان ۳۳۳ میلی لیتر انجام شد. برداشت نمونه گیاهان به ترتیب ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از اعمال محرک ها انجام شد. به این صورت که، به میزان ۰/۵ گرم از برگ های گیاهان تیمار شده در تکرارهای مختلف جدا و در فویل آلومینیومی پیچیده شده و در نیتروژن مایع قرار گرفت، و در نهایت در فریزر ۸۰- درجه سانتی گراد منجمد و نگهداری شدند. سنجش آنزیم های آنتی اکسیدانی با اسپکتوفتومتر (مدل Unico double beam UV) و در دمای آزمایشگاه ژنومیکس (۲۵ درجه سانتی گراد) انجام شد.

تهیه عصاره آنزیمی

برای تهیه بافر استخراج عصاره، ۷۰۰ میلی لیتر از بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH=7) را آماده نموده و سپس ۷۰ میلی لیتر گلیسرول به همراه ۴۵ میلی لیتر مرکاپتول به آن اضافه شد. در مرحله بعد ۱/۲ میلی لیتر از بافر را به هر نمونه که توسط نیتروژن مایع کوبیده شده و وزن آن ۰/۲ گرم بود افزوده و به مدت ۱۰ دقیقه ورتکس انجام شد. سپس نمونه ها به مدت ۴۰ دقیقه در سانتریوفیوژ با دمای ۴ درجه و دور ۱۳۰۰۰ در دقیقه قرار داده شد و از محلول رویی برای سنجش فعالیت های آنزیمی استفاده شد.

تهیه محلول Bradford

۰/۰۲۵ گرم از ماده comassia brilliant blue G 250 را توزین کرده و سپس ۱۲/۵ میلی لیتر اتانول ۹۶ درصد به آن افزون گردید و روی دستگاه هیتر قرار داده شد. سپس ۲۵ میلی لیتر فسفریک اسید ۸۵ درصد به آن افزوده و در

و نتایج در ۰،۳۰، ۶۰ ثانیه و بر حسب میکرومول گایاکول اکسیده شده در دقیقه در یک میلی گرم پروتئین خوانده شد.

آنزیم کاتالاز

فعالیت این آنزیم به روش Aebi (۱۹۸۴) اندازه گیری شد. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار (pH=7.4)، ۱۰۰ میکرولیتر H_2O_2 یک درصد، ۳۵۰ میکرولیتر آب مقطر استریل و ۲۵ میکرولیتر عصاره گیاهی بود. دستگاه در طول موج ۲۴۰ نانومتر تنظیم و نتایج در ۰ ثانیه و ۳ دقیقه و بر حسب میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در دقیقه در یک میلی گرم پروتئین قرائت شد.

آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز

فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز (GR) به روش کلاپک و همکاران (۱۹۹۰) اندازه گیری شد. مخلوط واکنش شامل ۱۰۰ میکرولیتر گلوتاتیون اکسید شده (GSSG)، ۱ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار (pH=7)، ۱۰۰ میکرولیتر NADPH، ۸۰۰ میکرولیتر آب مقطر استریل و ۲۵ میکرولیتر عصاره گیاهی بود. برای تهیه محلول GSSG، ۰/۰۲۴ گرم از این ماده در ۲ میلی لیتر آب حل و سپس ورتکس شد. ۰/۰۳۴ گرم از NADPH در Tris ده میلی مولار (pH=7) حل و سپس ورتکس شد. و هر دو محلول جهت ثابت ماندن در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد در بلوک حرارتی نگاه داشته شد. دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۴۰ نانومتر تنظیم و نتایج در ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه و براساس تعداد گلوتاتیون اکسید شده توسط گلوتاتیون ردوکتاز با مصرف NADPH بر حسب میلی گرم پروتئین ثبت شد.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

فعالیت این آنزیم به روش میسرا و فردویچ (۱۹۷۲) اندازه گیری شد. مخلوط واکنش شامل ۳ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار (pH=7.8)، ۰/۰۰۴۴۷ گرم متیونین، ۰/۰۰۰۲ گرم نیتروبلوتترازولیوم کلراید (NBT) و

۰/۶ میکرولیتر EDTA (pH=8) و ۳۰ میکرولیتر ریبوفلاوین بود که به مدت ۱۵ دقیقه در انکوباتور با دور ۱۰۰ دقیقه زیر لامپ فلوروسنت قرار گرفت. دستگاه اسپکتروفتومتری با طول موج ۵۶۰ نانومتر تنظیم و ۵۰ میکرولیتر عصاره به مخلوط واکنش اضافه و نتایج خوانده شد.

آنالیز آماری

پس از اندازه گیری صفات جهت تجزیه و مرتب سازی داده ها از نرم افزار Excel استفاده شد تجزیه واریانس داده ها و مقایسه میانگین صفات با استفاده از نرم افزار MSTAT-C و ترسیم نمودارها به کمک نرم افزار Excel انجام گردید.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها حاکی از معنی دار بودن ($P \leq 0.01$) اثر محرک ها، اثر زمان های نمونه برداری و اثر متقابل دوجانبه محرک ها $\times$ زمان های نمونه برداری بر روی تمامی صفات مورد مطالعه بود (جدول ۱).

پروتئین

بر اساس آزمون مقایسه میانگین ها به روش دانکن برای اثر متقابل دوگانه محرک $\times$ زمان نمونه برداری، بیش ترین میزان پروتئین (۱۴۳/۶، ۱۳۷/۳ و ۱۲۷/۹ میلی گرم) به ترتیب برای دی اکسید سیریم با غلظت ۱۲۵ میلی گرم در لیتر پس از ۴۸ ساعت نمونه برداری، دی اکسید روی با غلظت ۲۵۰ میلی گرم در لیتر پس از ۴۸ ساعت نمونه برداری، دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۲۵۰ میلی گرم در لیتر پس از ۷۲ ساعت نمونه برداری و کم ترین میزان پروتئین (۴۹/۲ و ۵۶/۹ میلی گرم) در هر دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومول متیل جاسمونات با زمان ۴۸ ساعت بعد از اعمال محرک مشاهده گردید (شکل ۱).

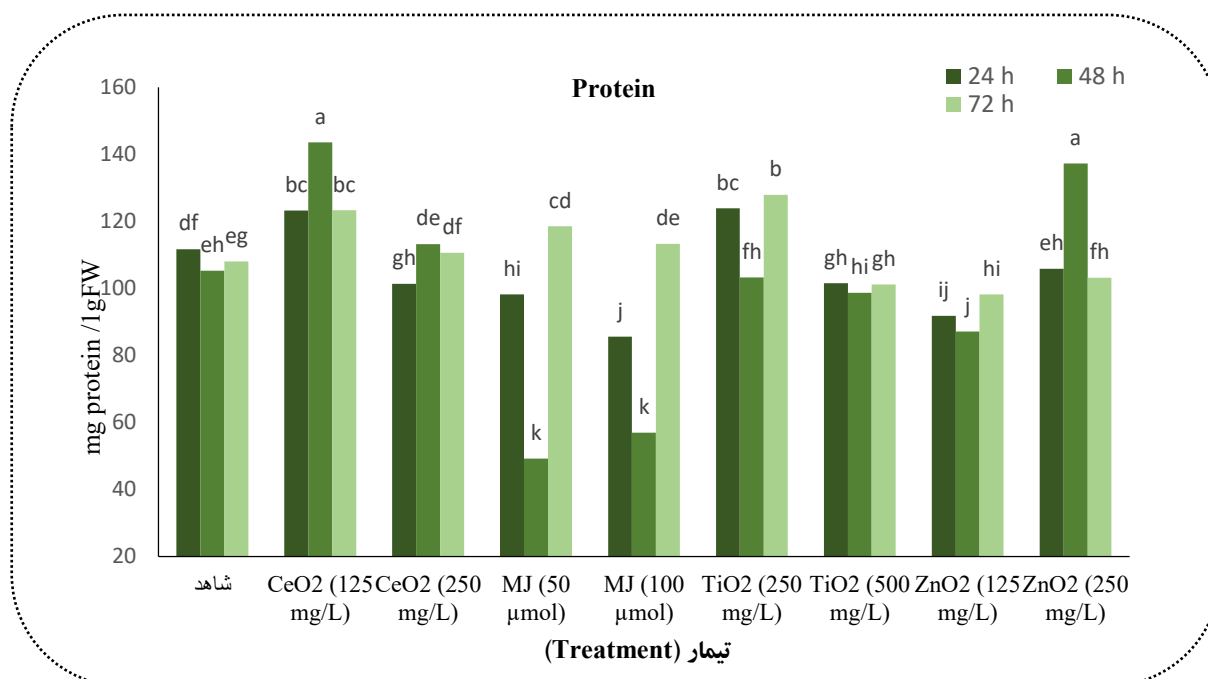
جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر نانوذرات روی، سریم و تیتانیوم و متیل جاسمونات بر میزان پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی شاهده.

Table 1- Variance analysis of zinc, cerium and titanium nanoparticles and methyl-jasmonate effect on protein content and antioxidant enzymes activity in hemp.

Sources of Variations	df	Protein	CAT	SOD	GPX	APX	GR
Elicitor	8	1991.6**	41.17**	0.69**	0.006**	0.217**	0.054**
Sampling Time	2	1003.9**	40.98**	0.34**	0.0005*	0.030**	0.004**
Time× Elicitor	16	930.2**	7.36**	0.15**	0.001**	0.107**	0.005**
Error	54	12.75	0.045	0.004	0.00004	0.002	0.00007
CV%		3.39	8.24	9.53	8.03	8	6.15

** : Significant at the 0.01 probability level.

CAT: Catalase; SOD: Super Oxide Dismutase; GPX: Guaiacol Peroxidase; APX: Acrobat Peroxidase; GR: Glutathione Reductase.



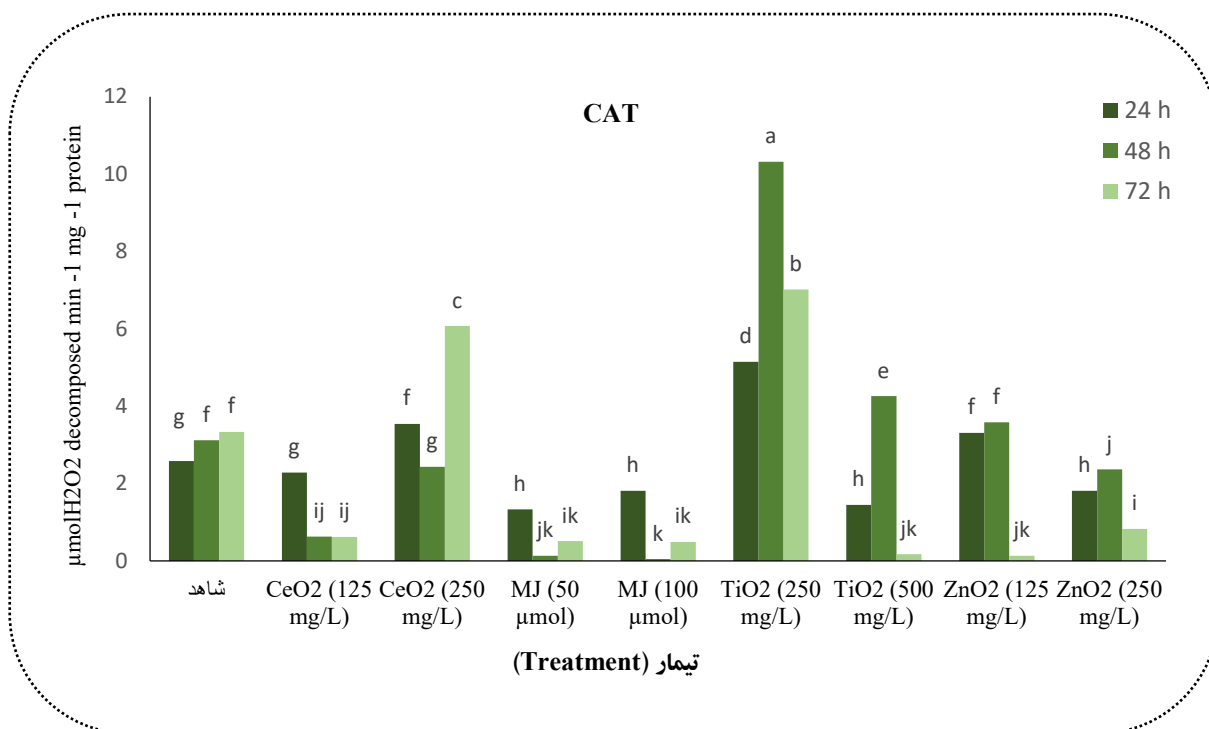
شکل ۱- تاثیر نانوذرات روی، سریم و تیتانیوم و متیل جاسمونات بر میزان پروتئین کل در شاهده. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig 1. Effect of zinc, cerium and titanium nanoparticles and methyl-jasmonate on total protein in hemp. Means with the same letters is not significant at 0.01 level of Duncan test.

پس از ۷۲ ساعت نمونه برداری، دی اکسید سریم با غلظت ۲۵۰ میلی گرم در لیتر پس از ۷۲ ساعت نمونه برداری و کمترین میزان کاتالاز (۰/۰۶۶ میکرومول) در غلظت ۱۰۰ میکرومول متیل جاسمونات با زمان ۴۸ ساعت بعد از اعمال محرک مشاهده گردید (شکل ۲).

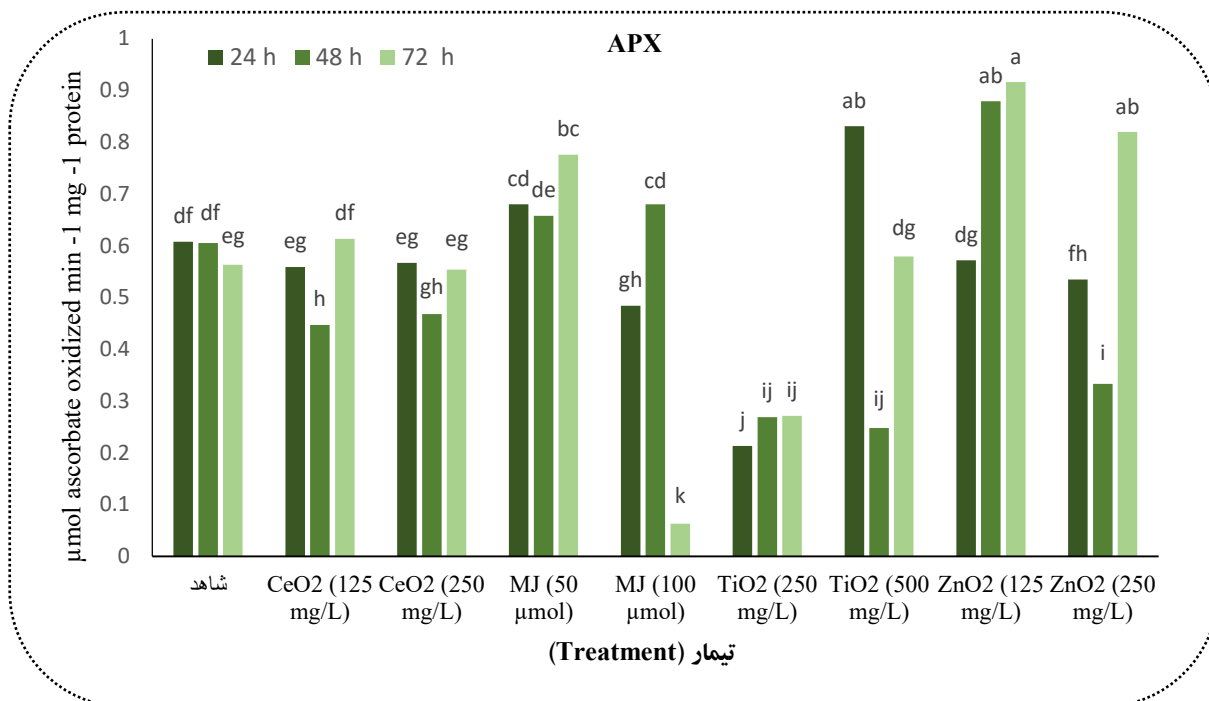
کاتالاز (CAT)

در مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دوگانه محرک × زمان نمونه برداری، بیشترین میزان کاتالاز (۱۰/۳۲، ۷/۰۲ و ۶/۰۷ میکرومول) به ترتیب برای دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۲۵۰ میلی گرم در لیتر پس از ۴۸ ساعت نمونه برداری، دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۲۵۰ میلی گرم در لیتر



شکل ۲- تاثیر نانوذرات روی، سریم و تیتانیوم و متیل جاسمونات بر میزان کاتالاز در شاهدانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig 2. Effect of zinc, cerium and titanium nanoparticles and methyl-jasmonate on catalase in hemp. Means with the same letters is not significant at 0.01 level of Duncan test.



شکل ۳- تاثیر نانوذرات روی، سریم و تیتانیوم و متیل جاسمونات بر میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شاهدانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig 3. Effect of zinc, cerium and titanium nanoparticles and methyl-jasmonate on Ascorbate Peroxidase in hemp. Means with the same letters is not significant at 0.01 level of Duncan test.

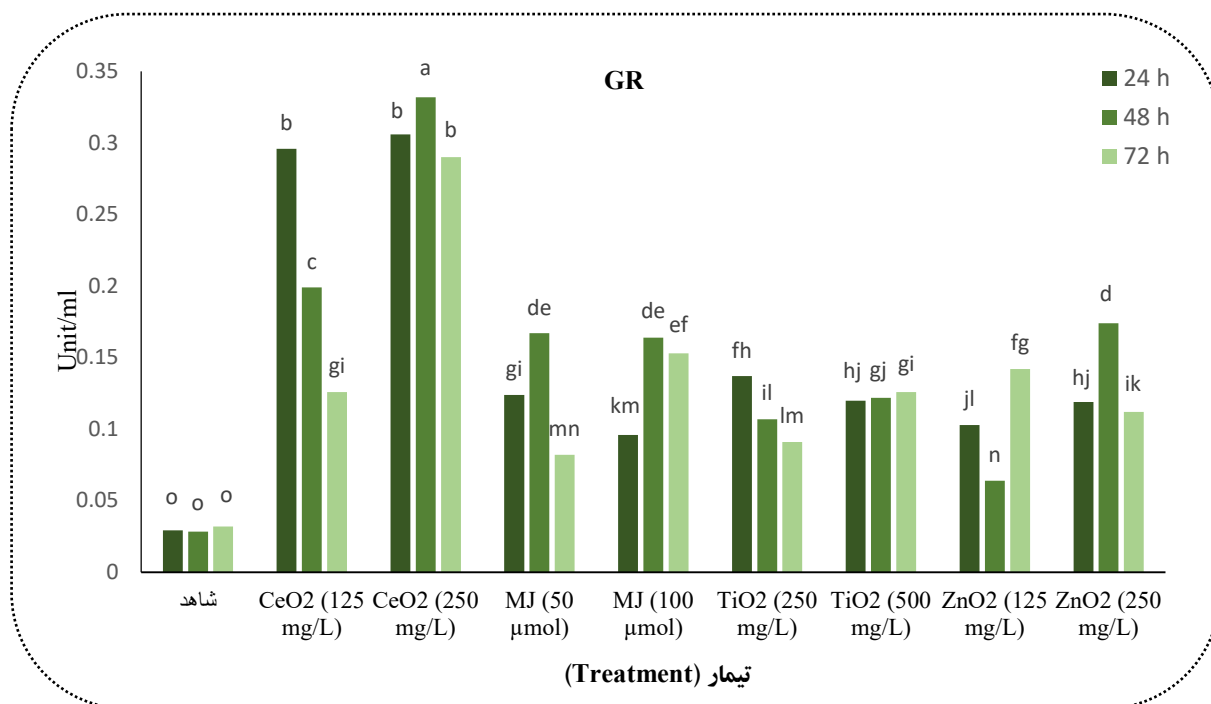
آسکوربات پراکسیداز (APX)

در نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دوگانه محرک × زمان نمونه‌برداری، بیش‌ترین میزان آسکوربات پراکسیداز (۰/۹۱۶، ۰/۸۷۹ و ۰/۸۳۱ و ۰/۸۲ میکرومول) به ترتیب برای دی اکسید روی با غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر پس از ۷۲ و ۴۸ ساعت نمونه برداری، دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پس از ۲۴ ساعت نمونه برداری، دی اکسید روی با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر پس از ۷۲ ساعت نمونه برداری و کم‌ترین میزان آسکوربات پراکسیداز (۰/۰۶۳ میکرومول) در غلظت ۱۰۰ میکرومول متیل جاسمونات با زمان ۷۲ ساعت بعد از

اعمال محرک مشاهده گردید (شکل ۳).

تغییرات گلوتاتیون ردوکتاز (GR)

در مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دوگانه محرک × زمان نمونه‌برداری، بیش‌ترین میزان گلوتاتیون ردوکتاز (۰/۳۳۲، ۰/۳۰۶ و ۰/۲۹ و ۰/۲۹۶ واحد) به ترتیب برای دی اکسید سریم با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر پس از ۴۸، ۲۴ و ۷۲ ساعت نمونه برداری، دی اکسید سریم با غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر پس از ۲۴ ساعت نمونه برداری و کم‌ترین میزان گلوتاتیون ردوکتاز (۰/۰۲۸ واحد) در تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل ۴).



شکل ۴- تاثیر نانوذرات روی، سریم و تیتانیوم و متیل جاسمونات بر میزان آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز در شاهدانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig 4. Effect of zinc, cerium and titanium nanoparticles and methyl-jasmonate on Glutathione Reductase in hemp. Means with the same letters is not significant at 0.01 level of Duncan test.

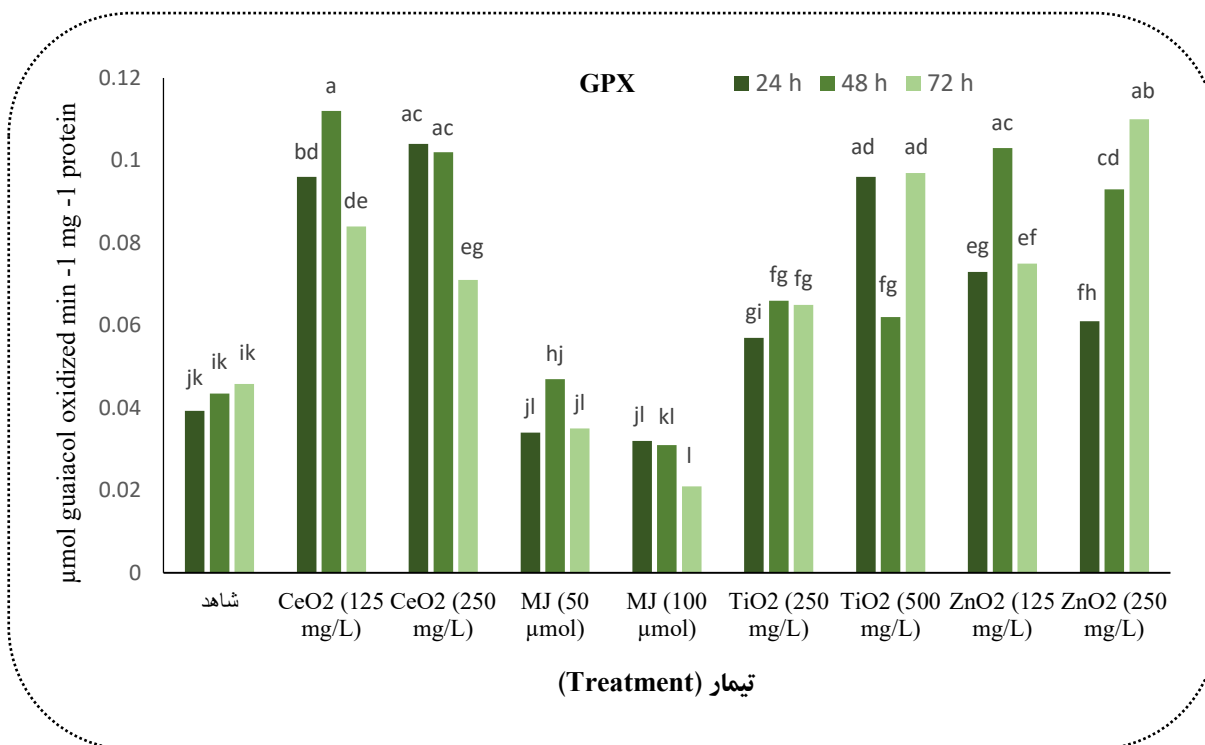
گایاکول پراکسیداز (GPX)

در مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دوگانه محرک × زمان نمونه‌برداری، بیش‌ترین میزان گایاکول پراکسیداز (۰/۱۱۲، ۰/۱۱۰ و ۰/۱۰۴ و ۰/۱۰۳ میکرومول) به ترتیب

برای دی اکسید سریم با غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر پس از ۴۸ ساعت نمونه برداری، دی اکسید روی با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر پس از ۷۲ ساعت نمونه برداری، دی اکسید سریم با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر پس از ۲۴

جاسمونات با غلظت ۱۰۰ میکرومول پس از ۷۲ ساعت نمونه برداری مشاهده گردید (شکل ۵).

ساعت نمونه برداری و دی اکسید روی با غلظت ۱۲۵ میلی گرم در لیتر پس از ۴۸ ساعت نمونه برداری و کمترین میزان گایاکول پراکسیداز (۰/۰۲۱ میکرومول) در تیمار متیل



شکل ۵- تاثیر نانوذرات روی، سریم و تیتانیوم و متیل جاسمونات بر میزان آنزیم گایاکول پراکسیداز در شاهدانه. میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی داری ندارند.

Fig 5. Effect of zinc, cerium and titanium nanoparticles and methyl-jasmonate treatment on Guaiacol Proxidase in hemp. Means with the same letters is not significant at 0.01 level of Duncan test.

خسارت به پروتئین های غشاء سلولی نقش حفاظتی مهمی برای گیاه داشته باشد. محتوای پروتئین محلول، شاخص مهمی جهت رشد گیاه محسوب می شود. افزایش پروتئین همچنین می تواند به علت تولید پروتئین های مرتبط با پاسخ دفاعی، آنتی اکسیدانی و ذخیره ای باشد تا گیاه از آسیب های تنش حفظ گردد (Alharby et al., 2016). افزایش پروتئین با استفاده از نانوذره سریم می تواند به این علت باشد که نانو ذرات اکسید سریم شکل اکسید شده عنصر سریم می باشد که به جهت تغییرات جای خالی اکسیژن سطحی و آرایش ظرفیتی می تواند فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را تقلید کنند، بنابراین قادر هستند به عنوان جاروب کننده های گونه های اکسیژن

سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

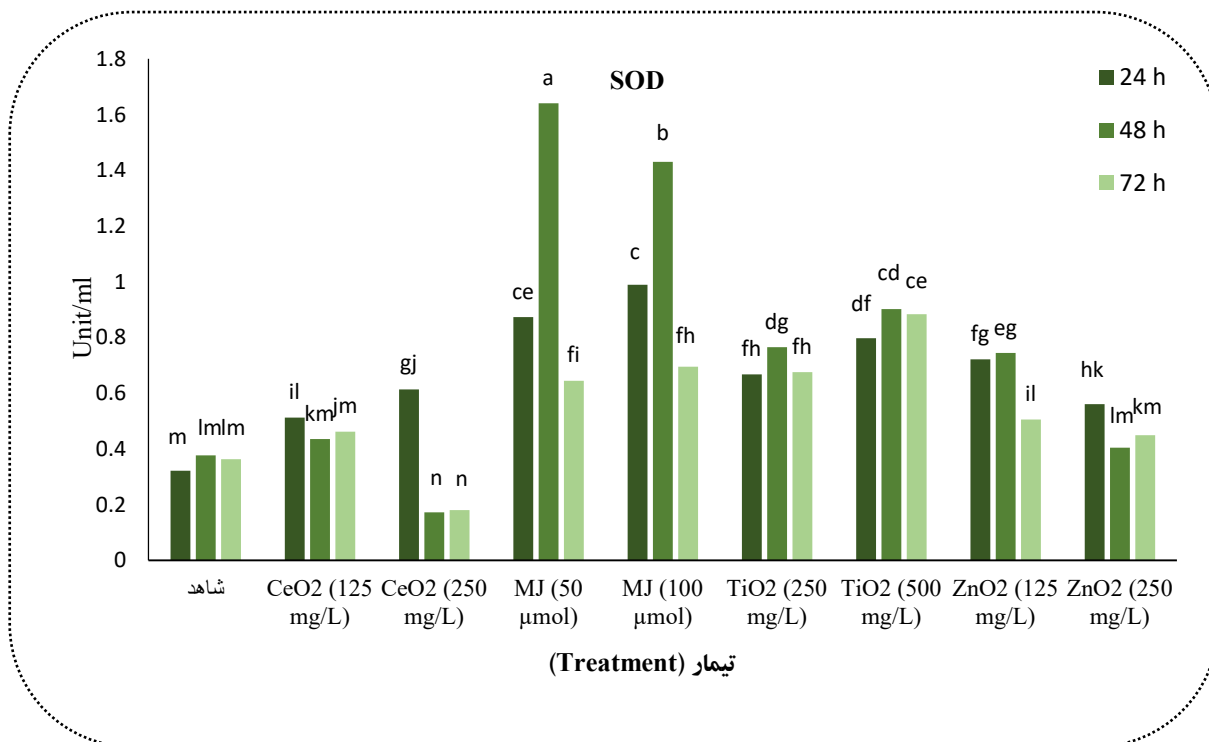
در مقایسه میانگین های اثر متقابل دوگانه محرک × زمان نمونه برداری، بیشترین سوپراکسید دیسموتاز (۱/۶۴ و ۱/۴۳ واحد) به ترتیب برای متیل جاسمونات با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر پس از ۴۸ ساعت نمونه برداری و کمترین میزان سوپراکسید دیسموتاز (۰/۱۷۳ و ۰/۱۸) واحد) در تیمار دی اکسید سریم با غلظت ۲۵۰ میلی گرم در لیتر پس از ۴۸ و ۷۲ ساعت نمونه برداری مشاهده گردید (شکل ۶).

بحث

افزایش پروتئین کل در این تحقیق می تواند با مهار

بیشتر سطح به حجم افزایش پیدا می‌کند (Celardo et al., 2011).

واکنش پذیر (ROS) در بسیاری از زمینه‌های بیولوژیک عمل کنند. این ویژگی سریم در مقیاس نانو به دلیل نسبت



شکل ۶- تاثیر نانوذرات روی، سریم و تیتانیوم و متیل جاسمونات بر میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شاهدانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig 6. Effect of zinc, cerium and titanium nanoparticles and methyl-jasmonate on Superoxide dismutase in hemp. Means with the same letters is not significant at 0.01 level of Duncan test.

همکاران، ۱۳۹۷؛ Kumari et al., 2006). در گزارشی دیگر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در تیمارهای نانوذرات دی اکسید سریم بیش‌تر از فعالیت آن‌ها در تیمارهای اکسید روی در گیاه لوبیا بود (صالحی و همکاران، ۱۳۹۸). در بررسی دیگر روی گیاهچه ذرت، بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و مقدار پرولین در شرایط تنش شوری و استفاده از تیمار روی مشاهده شد (رشیدی فرد، ۱۳۹۹). در گزارش Amirjani و همکاران (۲۰۱۴) اعلام شد تیمار گیاه پریش با نانوذره روی سبب افزایش فعالیت کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و گایاکول پراکسیداز می‌شود. در آزمایش نجفی وفا و همکاران (۱۳۹۹) نیز بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز و آنزیم کاتالاز در محلول پاشی ۲ گرم در

پایین بودن سطح پروتئین برگ در استفاده از سایر محرک‌ها می‌تواند ناشی از وجود نداشتن اثرات سمی نانوذره در سلول بر سطح برگ باشد. این بررسی با نتایج Moaveny (۲۰۱۱) روی گیاه همیشه بهار مطابقت دارد و در بررسی او فعالیت کاتالاز با به کار بردن تیتانیوم به صورت معنی‌داری افزایش یافت. در بررسی Martinez (۱۹۹۳) نیز مشخص شد تیتانیوم باعث افزایش فعالیت کاتالاز می‌گردد. در بررسی مزارعی مشخص شد که با افزایش مصرف تیتانیوم (۰، ۷۵ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر) میزان آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد روند افزایشی که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در یک بررسی دیگر اعلام شد غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات موجب افزایش کاتالاز، در بادام زمینی می‌شود (مزارعی و

لیتر نانوکلات روی مشاهده شد که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد. همچنین در بررسی روی گیاه نخود مشخص شد که در گیاهان تحت تاثیر تیمارهای مختلف روی، میزان آنزیم کاتالاز تا غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر افزایش می یابد (Pandey, 2012). در بررسی نجفی وفا و همکاران (۱۳۹۹) بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط محلول پاشی ۲ گرم در لیتر نانو کلات روی مشاهده شد. در این بررسی دلیل بالا رفتن میزان آنزیم کاتالاز نقش ساختاری روی در این آنزیمها و نقش مستقیم آن در بیان ژن و ساخت پروتئینها بود. با توجه به اینکه کاربرد تیتانیوم، محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید و همچنین اثرات مخرب بالارفتن رادیکالهای آزاد و میزان نشت الکترولیت در سلولهای گیاهی را کم می کند و یون آهن به عنوان گروه پروستتیک در هموپروتئینهایی مانند کاتالاز، پروکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز در نابودی رادیکالهای آزاد اکسیژن در گیاه نقش دارد و نیز با توجه به بررسیهای محققین به نظر می رسد افزایش کاتالاز به دلیل افزایش جذب آهن باشد. این نتایج با بررسی کرامت و همکاران (۱۳۹۱) که اعلام کردند با به کار بردن متیل جاسمونات، میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز نسبت به شاهد کاهش می یابد تطابق دارد اما با بررسی مزارعی و همکاران، که در مطالعه ای بیان کردند با افزایش مصرف تیتانیوم (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر) و متیل جاسمونات (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر) میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز، نسبت به شاهد روند افزایشی داشت مطابقت ندارد (مزارعی و همکاران، ۱۳۹۷).

از آن جا که فلز روی به عنوان فعال کننده و کوفاکتور برخی آنزیمهای حیاتی گیاه از جمله دهیدروژناز و RNA پلیمراز، در متابولیسم پروتئین ها، قندها، اسیدهای نوکلئیک، چربی ها، فنوستنژ گیاه و بیوستنژ اکسین نقش دارند و تجمع پایین روی سبب می شود تا سیستم آنٹی-اکسیدانی گیاه قادر به از بین بردن رادیکالهای آزاد باشد، اما در صورت تجمع بالای گونه های فعال اکسیژن بر

سیستم آنٹی اکسیدانی غلبه می کند. به نظر می رسد که در این بررسی میزان نانوذره روی، تجمع بالایی در گیاه داشته و میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز به همین دلیل افزایش یافته است و سایر محرکها تجمع قابل تحملی در گیاه داشته اند (زارع و اسرار، ۱۳۸۷؛ Rion and Allowey, 2004). همچنین گزارش شده است نانو ذرات اکسید روی باعث القای ژن *AtKCI* و *AtCHX17* در ریشه و قسمت هوایی آرابیدوپسیس شد که این ژنها مسئول حفظ هوموستاز مواد معدنی و یونها هستند. این نتایج بیان می کند که گیاهان تنش غیرزیستی را با افزایش ساخت برخی پروتئینها خنثی می کنند (Nair and Chung, 2015).

نتایج به دست آمده از این تحقیق با مطالعه مزارعی و همکاران (۱۳۹۷) که در آن بیان شد با افزایش مصرف تیتانیوم (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر) میزان آنزیم گایاکول پراکسیداز نسبت به شاهد روند افزایشی داشت مطابقت دارد. محققین دیگری نیز بیان نموده اند که متیل جاسمونات اثری بر فعالیت گایاکول پراکسیداز در تاتوره نداشت. در یک گزارش دیگر نیز، اعلام شده تیمار گیاه پریش با نانوذره روی سبب افزایش فعالیت گایاکول پراکسیداز می شود (Hare and Walling 2006; Amirjani, Askari and Askari 2014). نتایج مطالعه Moaveni و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که بیشترین فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز در محلول پاشی تیتانیوم ۰.۰۳ درصد و کمترین مربوط به شاهد بود. در مطالعه مزارعی و همکاران (۱۳۹۷) نیز بیان شد که با افزایش مصرف تیتانیوم (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر) میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز نسبت به شاهد روند افزایشی داشت، همچنین در این تحقیق بیان شد که با افزایش مصرف متیل جاسمونات (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر) میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز افزایش می یابد (مزارعی و همکاران، ۱۳۹۷). Kumari و همکاران (۲۰۰۶) بیان کرده اند که متیل جاسمونات سطوح رادیکالهای آزاد را از طریق افزایش آنٹی اکسیدانها کاهش می دهد و غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰

روی در این آنزیم‌ها و نقش مستقیم آن در بیان ژن و ساخت پروتئین‌ها بود. عنصر روی در فتوسنتز، تقسیم سلولی و طویل شدن سلول، حفظ ساختمان و عملکرد غشای سلولی، افزایش هورمون تحریک کننده رشد و باروری گیاهان و تولید آنزیم‌های آنتی اکسیدانی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. روی یک کوفاکتور ضروری برای تولید آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز و افزایش طول ریشه می‌باشد و می‌تواند برای مقابله با گونه‌های فعال اکسیژنی که در اثر تنش‌های محیطی در گیاه به وجود می‌آید مؤثر باشد.

منابع

Aebi, H. 1984. Catalase *in vitro*. In Methods in Enzymology, 105: 121-126.

Alharby, H. F., Metwali, E. M., Fuller, M. P., and Aldhebiani, A. Y. 2016. The alteration of mRNA expression of SOD and GPX genes, and proteins in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) under stress of NaCl and/or ZnO nanoparticles. Saudi Journal of Biological Sciences, 23(6): 773-781.

Amirjani, M.R., Askari, M., and Askari, M. 2014. The effect of nano oxide zink on the amount of alkaloids enzymatic and non-enzymatic antioxidants and some indicator of physiology Catharantus. Cells and Tissues Journal, 5(2): 173-183.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72(1-2): 248-254.

Brouki milan, E., Hassni, L., Abdollahi Mandoulakani, B., Darvishzadeh, R., Kheradmand, F., and Hassani, A. 2016. The effect of different concentrations of methyl jasmonate on the activity of antioxidant enzymes and total protein in basil. *Journal of Crops Improvement*, 18(1): 103-115.

Celardo, I., Pedersen, J. Z., Traversa, E., and Ghibelli, L. 2011. Pharmacological potential of cerium oxide nanoparticles. *Nanoscale*, 3(4):1411-1420.

Comparot, S. M., Graham, C. M., and Reid, D. M. 2002. Methyl jasmonate elicits a differential antioxidant response in light-and dark-grown canola (*Brassica napus*) roots and shoots. *Plant Growth Regulation*, 38(1): 21-30.

میکرومولار متیل جاسمونات موجب افزایش سوپراکسیددیسموتاز، در بادام زمینی می‌شود. در گزارشی دیگر افزایش مصرف متیل جاسمونات تا ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سبب افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدان شد. در بررسی دیگر بیان شد که افزایش متیل جاسمونات سبب افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در گیاهان می‌شود (Parra-Labato et al., 2009; Broooke Melan, et al. 2016).

نجفی وفا و همکاران (۱۳۹۹) بیان نمودند که اثر مقادیر مختلف کود نانو روی و اثر متقابل تیمارها روی آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. در بررسی Amirijani و همکاران (۲۰۱۴) اعلام شد تیمار گیاه پریوش با نانوذره روی سبب افزایش فعالیت سوپراکسیددیسموتاز می‌شود. همچنین گزارش شده است که متیل جاسمونات بر فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه آراییدوپسیس نقش دارد. در بررسی دیگری نیز مشخص شد متیل جاسمونات بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در گیاه آراییدوپسیس، کلزا و بادام زمینی تاثیر گذار بوده است (کرامت، ۱۳۹۱؛ Comparot et al., 2002).

فلز روی به همراه مس بخش اصلی آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را به عنوان حذف کننده رادیکال‌های آزاد تشکیل می‌دهد (Rion and Alloway, 2004; Franklin et al., 2007). در این راستا قنبری و همکاران (۱۴۰۱) نیز گزارش کردند که بیشترین میزان فعالیت‌های آنتی اکسیدانی و غلظت پرولین از تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان نانو کلات‌های مس و روی به‌دست آمد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که سمی بودن فلز روی در غلظت بالا به دلیل این است که این ترکیب، با مهار فرایند انتقال الکترون فتوسنتزی، به عنوان یک تولید کننده فعال رادیکال‌های سمی اکسیژن سلول عمل می‌کند و همچنین به صورت غیرمستقیم با کاهش جذب و جابه‌جا کردن آهن در گیاه واکنش‌های اکسیداتیو را راه‌اندازی می‌کند (Alia Prasad, 1995). در مطالعه Bady و Jini (۲۰۱۱) دلیل بالا رفتن میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نقش ساختاری

Nutrition, 16(5): 975-981.

Mazarie, A., Mousavi-nik, S. M., Ghanbari, A., and fahmideh, L. 2019. Effect of different spraying concentrations of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on some physiological traits and antioxidant system activity of Sage (*Salvia officinalis* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*, 11(1): 1-22.

Misra, H. and Fridovich, I., 1972. The generation of superoxide radical during auto oxidation. *Journal of Biology and Chemistry*, 247: 6960-6966.

Moaveni, P., Lotfi, M., Farahani, M. K., and Maroufi, K. 2011. Effect of spraying TiO₂ nano particles on some of physiological and chemical parameters in maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Bioscience*, 1(4), 63-67.

Nair, P. M. G., and Chung, I. M. 2015. Changes in the growth, redox status and expression of oxidative stress related genes in chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to copper oxide nanoparticle exposure. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34(2): 350-361.

Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y., and Kumar, D. S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science*, 179(3): 154-163.

Najafi vafa, Z., Sirousmehr, R., and Bijhani, M. 2020. Effect of different levels of humic acid and nano-zinc fertilizer on the antioxidant enzyme activities and essential oil of Savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 3(2): 43-58.

Nakano, Y., and Asada, K. 1987. Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts; its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. *Plant and Cell Physiology*, 28(1): 131-140.

Pandey, N., Gupta, B., and Pathak, G. C. 2012. Antioxidant responses of pea genotypes to zinc deficiency. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59(2): 198-205.

Pandey, N., Singh, A. K., Pathak, G. C., and Sharma, C. P. 2002. Effect of zinc on antioxidant response in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Indian Journal of Experimental Biology*, 40(8): 954-956.

Parra-Labato, M.C., Fernandez-Garcia, N., Olmas, E., Alvares-Tinaut, M., and GomezJimenez, C. 2009. Methyl jasmonate-induced antioxidant defence in root apoplast from sun flower seedling. *Environmental and Experimental Botany*, 9-17.

Davari, A., Solouki, M., and Fazeli-Nasab, B. 2018. Effects of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on process of changes of phytochemical and antioxidant in genotypes of *Satureja hortensis*. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 5(4): 1-20.

Flores-Sanchez, I. J., and Verpoorte, R. 2008. Secondary metabolism in cannabis. *Phytochemistry reviews*, 7(3): 615-639

Franklin, N. M., Rogers, N. J., Apte, S. C., Batley, G. E., Gadd, G. E., and Casey, P. S. 2007. Comparative toxicity of nanoparticulate ZnO, bulk ZnO, and ZnCl₂ to a freshwater microalga (*Pseudokirchneriella subcapitata*): the importance of particle solubility. *Environmental Science & Technology*, 41(24): 8484-8490.

Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Talebi-Siahsaran, P., and Moradi-Latmahaleh, R. 2022. 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. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 5(1): 28-43.

Gawande, M. B., Goswami, A., Felpin, F. X., Asefa, T., Huang, X., Silva, R. and Varma, R. S. 2016. Cu and Cu-based nanoparticles: synthesis and applications in catalysis. *Chemical Reviews*, 116(6): 3722-3811.

Gill, S. S., and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12): 909-930.

Keramat B, and Daneshmand F. 2012. Dual role of methyl jasmonate in physiological responses of soybean (*Glycine max* L.) plant. *Plant Process and Function*, 1 (1):25-37.

Khalilvand Behrouzfar, E. 2020. Effect of nano-TiO₂ foliar application on ear weight and some of biochemical characteristics of sweet corn (*Zea mays* var *saccharata*) under water deficit stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(2): 491-502.

Kumari, G.J., Reddy, A.M., Naik, S.T., Kumar, S.G. and Parasanthi, J. 2006. Jasmonic acid induced changes in protein pattern, antioxidative enzyme activities and peroxidase isozymes in peanut seedlings. *Biologia Plantarum* 219-226.

Martínez-Sánchez, F., Nunez, M., Amorós, A., Gimenez, J. L., and Alcaraz, C. F. 1993. Effect of titanium leaf spray treatments on ascorbic acid levels of *Capsicum annuum* L. fruits. *Journal of Plant*

nanoparticles on the element accumulation, growth and biochemical parameters in *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Plant Research*, 32(2): 390-405.

Turkan, I. 2011. Plant responses to drought and salinity stress: developments in a post-genomic era. Academic Press.

Upadhyaya, A., Sankhla, D., Davis, T. D., Sankhla, N. and Smith, B. N. 1985. Effect of paclobutrazol on the activities of some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. *Journal of Plant Physiology*, 121(5): 453-461.

Zare-Dehabadi, S., and Asrar, Z. 2009. Effect of excess zinc on the concentration of some mineral element and antioxidant responses of spearmint (*Mentha spicata* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 24(4): 530-540.

Prasad, K. V. S. K., and Saradhi, P. P. 1995. Effect of zinc on free radicals and proline in Brassica and Cajanus. *Phytochemistry*, 39(1): 45-47.

Prasad, M. N., and Strzalka, K. 2013. Physiology and biochemistry of metal toxicity and tolerance in plants. Springer Science & Business Media.

Rion, B., and Allowey, J. 2004. Fundamental aspects of zinc in soils and plants. *International Zinc Association*, 1-128.

Saisavoey, T., Thongchul, N., Sangvanich, P., and Karnchanatat, A. 2014. Effect of methyl jasmonate on isoflavonoid accumulation and antioxidant enzymes in *Pueraria mirifica* cell suspension culture. *Journal of Medicinal Plants Research*, 8(9): 401-407.

Salehi, H., Chehregani Rad, A., Majd, A., and Gholami, M. 2019. Effect of ZnO and CeO₂

The influence of haloalkaliphilic bacteria on pistachio seedlings' vegetative growth and some nutrient concentration

Mehrnoush Eskandari Torbaghan^{1*}, Abdolhamid Sherafati², Masoud Eskandari Torbaghan³, Akbar Mohammadi Mohammadabadi⁴, Sedigheh Anahid⁵

1- Corresponding Author, Researcher, Soil and Water Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. (mehrnoosh.eskandary@gmail.com)

2- Instructor, Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. (Hamidsherafati47@gmail.com)

3- Instructor, Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. (Tem3431@gmail.com)

4- Research instructor, Iranian Pistachio Research Institute, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rafsanjan, Iran. (a-mohammadi@pri.ir)

5- M.Sc., Department of Horticulture Crops, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. (sedi_anahid@yahoo.com)

Received Date: 09/05/2022

Accepted Date: 11/10/2022

Abstract

Introduction: Soil salinity and alkalinity are some of the biggest factors limiting the production of agricultural products worldwide. Pistachio (*Pistacia vera* L.) is the most commonly cultivated fruit tree in Iran due to its relatively high salt tolerance, low water requirements, and high economic value (Sherafati et al., 2022). Several factors have caused a decrease in the yield of pistachio orchards in the country, including the selection of incompatible cultivars, soil and water salinity, climatic stress, and imbalanced nutrition (Sherafati et al., 2016). Recent studies indicate that microorganisms can make plants more resistant to salinity and alkalinity stress (Khavazi et al., 2013).

Material and methods: The present study was conducted to investigate the effect of haloalkaliphilic bacterial strains native to the Razavi Khorasan region (which had the highest ability to produce plant growth promoting, including production of ammonia, tri-indole acetic acid, and ACC deaminase) on the vegetative growth of pistachio seedlings and some nutrients concentration (phosphorous, potassium, calcium, sodium, chlorine, zinc and boron) in the factorial split-plot arrangement based on a randomized complete design (RCD) and under garden conditions in 2021-2022. Three levels of saline irrigation (8, 12 and 16 ds m⁻¹), two pistachio cultivars, Daneshmandi and Akbari, and the use of two superior and selected strains of native haloalkaliphilic bacteria, *Virgibacillus marismortui*, and *Alkalibacillus haloalkaliphilus* at four levels (each one alone, mixing both strains and control) were studied in three replicates consisting of two seedlings in each replicate. The studied traits in the project included stem length and diameter, number of leaves, leaf area, and chlorophyll index in the seedlings, and phosphorous, potassium, calcium, sodium, chlorine, zinc, and boron concentrations which were recorded and analyzed.

Results and discussion: The results of the analysis of variance showed that almost all traits were significant at the 0.01 level under the influence of salinity, variety, and bacterial strain. The effect of cultivar type on measured vegetative traits and bacteria type on element concentration was more significant than the effect of other experimental factors. Akbari cultivar showed superiority in all traits and calcium concentrations except for the chlorophyll index. The trend of chlorophyll index was inverse of the leaf area; and increased with increasing salinity. *Virgibacillus marismortui* bacteria strain increased vegetative traits including stem length and diameter and leaf area, calcium concentration by 6, 5, 0.17, and 0.2 %, respectively, compared to the control. However, the application of *Alkalibacillus haloalkaliphilus* bacteria treatment decreased the concentration of sodium and chlorine ions by 18.5% and 12.8%, respectively, compared to the control. The application of the mixed stains treatment of *Virgibacillus marismortui*, and *Alkalibacillus haloalkaliphilus* caused an increase in the chlorophyll index (0.6%), the least decrease in the number of fallen leaves (5.7%) and microelements increasing concentration of zinc (2.1%) and boron (1.5%) compared to the control. The highest concentration of calcium and the lowest concentration of sodium were obtained under the influence of *Virgibacillus marismortui* bacteria, and the lowest concentration of chlorine and the highest concentration of phosphorus, potassium, zinc, and boron were obtained under the influence of inoculation with *Alkalibacillus haloalkaliphilus* bacteria.

Conclusions: In general, *Virgibacillus marismortui* strain in salinities of 12 to 16 dS m⁻¹ in the Akbari cultivar is known as the best treatment for increasing the growth characteristics of pistachio seedlings. However, the highest chlorophyll index, and concentration of phosphorus, potassium, zinc, and boron elements were obtained under the influence of *Alkalibacillus haloalkaliphilus* strain at the highest salinity level (16 dS m⁻¹) for the Akbari cultivar. In general, the use of extremophilic bacteria in high salinities is recommended, and due to the different chemistry of the investigated elements and the different growth characteristics of these two bacteria, the use of *Virgibacillus marismortui* bacteria in sodium salt conditions is recommended.

Keywords: Akbari cultivar, *Alkalibacillus haloalkaliphilus* bacteria, Pistachio, Stem height, Calcium, Sodium.

تأثیر باکتری‌های شور و قلیا پسند بر رشد رویشی و غلظت برخی عناصر غذایی در دانهال‌های پسته

- مهرنوش اسکندری تربقان^{۱*}، عبدالحمید شرافتی^۲، مسعود اسکندری تربقان^۳، اکبر محمدی محمد آبادی^۴، صدیقه آناهید^۵
- ۱- نویسنده مسئول، محقق، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. (mehrnosh.eskandary@gmail.com)
- ۲- مربی پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی - باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. (Hamidsherafati47@gmail.com)
- ۳- مربی پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی - باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. (tem3431@gmail.com)
- ۴- مربی پژوهشی، پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران. (a-mohammadi@pri.ir)
- ۵- کارشناس فیزیولوژی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. (sedi_anahid@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹

چکیده

راهکارهای افزایش تحمل به شوری در کاشت پسته از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش اثر دو سویه باکتری شورقلیا پسند بومی (ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی و آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس) در چهار سطح (هر یک به تنهایی، مصرف توأم دو سویه و شاهد)، همراه با سه سطح شوری آب آبیاری (۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) بر رشد رویشی و غلظت برخی عناصر غذایی دانهال‌های پسته دو رقم اکبری و دانشمندی، به صورت آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار (هر تکرار شامل دو دانهال)، در شرایط باغ ایستگاه تحقیقات پسته فیض‌آباد (۱۴۰۰-۱۴۰۱) بررسی شد. صفات مورد بررسی شامل طول و قطر ساقه، تعداد و سطح برگ، شاخص کلروفیل و غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم، سدیم، کلر، روی و بور بود. نتایج نشان داد که اثرات شوری، رقم و باکتری بر صفات طول و قطر ساقه، تعداد برگ، سطح برگ و عناصر کلسیم و سدیم در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. تأثیر رقم بیش‌تر بر صفات رویشی، و نوع باکتری بیش‌تر بر غلظت عناصر غذایی معنی‌دار بود. رقم اکبری در تمامی صفات رویشی و غلظت کلسیم به استثنای شاخص کلروفیل، نسبت به رقم دانشمندی برتری نشان داد. روند شاخص کلروفیل عکس سطح برگ بود؛ و با افزایش شوری افزایش یافت. سویه باکتری ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی موجب افزایش صفات رویشی شامل طول و قطر ساقه؛ سطح برگ و غلظت کلسیم به ترتیب به میزان ۶، ۵، ۰/۱۷ و ۰/۲ درصد نسبت به شاهد گردید. باکتری آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس موجب کاهش غلظت یون‌های سدیم و کلر به ترتیب به میزان ۱۸/۵ و ۱۲/۸ درصد نسبت به شاهد شد. تیمار مخلوط باکتری‌های ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی و آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس موجب افزایش شاخص کلروفیل (۰/۶ درصد)، کم‌ترین کاهش در تعداد برگ‌های ریزشی (۵/۷ درصد) و افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف روی (۲/۱ درصد) و بور (۱/۵ درصد) نسبت به شاهد شد. در مجموع، استفاده از باکتری قرین‌دوست ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی با هدف افزایش شاخص‌های رشدی از جمله قطر دانهال در سال‌های ابتدایی رشد جهت پیوند زنی و رسیدن به باردهی اقتصادی سریع‌تر و آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس برای بهبود وضعیت عناصر غذایی در پسته در شرایط شوری و سدیم زیاد توصیه می‌گردد.

کلمات کلیدی: پسته، رقم اکبری، باکتری آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس، قطر ساقه، کلسیم، سدیم.

مقدمه

شوری و قلیائیت خاک یکی از بزرگ‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در جهان است (Eskandari Torbaghan, 2017). در ایران نیز حدود ۱۶ درصد از وسعت کل ایران یا در حدود ۲۵ میلیون هکتار از اراضی کشور در نتیجه شوری و قلیائیت، بایر و بدون استفاده شده است (Ghare Yazdi, 2001). بر این وسعت باید اراضی تحت آبیاری که با آب شور آبیاری می‌شوند را نیز اضافه نماییم که به‌خصوص در دو دهه گذشته شتاب بیش‌تری به خود گرفته است (Ghare Yazdi, 2001). برای این اساس پسته جایگزین بسیاری از محصولات زراعی و باغی حساس به شوری شده است؛ و بر اساس آخرین آمار، سطح زیر کشت پسته در ایران بیش از ۵۰۰ هزار هکتار بوده که به طور متوسط از هر هکتار ۷۵۰ کیلوگرم پسته خشک برداشت می‌شود (Anonymous, 2022)، بنابراین مساله شوری و پسته به هم گره خورده‌اند (Sherafati et al., 2013). در مجموع می‌توان عنوان نمود که عوامل متعددی موجب کاهش عملکرد باغ‌های پسته کشور شده است که از آن جمله می‌توان به انتخاب ارقام ناسازگار، شوری آب و خاک، تنش‌های اقلیمی و تغذیه نامناسب اشاره نمود (Sherafati et al., 2016).

مطالعات اخیر نشان داده که ریزجانداران می‌توانند گیاهان را برای غلبه بر تنش شوری و قلیائیت مقاوم سازند (Khavazi et al., 2013). ریزجانداران شورقلیایسند به شرایط نمک و pH بالا سازگار شده و برای رشد مطلوب به مقدار مشخصی نمک همانند کلرید سدیم نیاز دارند (Venkateswarlu and Shanker, 2009). باکتری‌های شورقلیایسند، به طور گسترده از محیط‌هایی با شوری زیاد استخراج شده و مورد مطالعه قرار می‌گیرند. در دهه‌های اخیر، اکتشاف و استخراج آن‌ها از محیط‌های شور و قلیای معمولی نیز انجام می‌شود (Singh et al., 2010). بسیاری از پژوهشگران توانایی بالای این محیط‌ها به‌خصوص منابع شور و قلیا با تنوع ریزجانداران پروکاریوتی بسیار زیاد، که

مسئول چرخش عناصر غذایی در اکوسیستم نیز می‌باشند، را گزارش نموده‌اند (Sahay et al., 2012).

جداسازی تعداد ۳۰۰ جدایه باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه پسته و غربالگری آن‌ها، از منطقه ریزوسفر درختان پسته در استان کرمان انجام شد (Sarcheshmepour et al., 2010). تعداد ۱۰۴ جدایه از سطوح مختلف شوری (۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار مخلوطی از کلریدهای سدیم، کلسیم و منیزیم) انتخاب؛ و از نظر ویژگی‌های مهم محرک رشدی گیاه شامل توان حل‌کنندگی فسفات‌های نامحلول معدنی و آلی و توان تولید سیدروفور، IAA و ACC دی‌آمیناز مورد ارزیابی قرار گرفتند. بیش از ۸۰ درصد جدایه‌ها توانستند در سطح شوری ۶۰۰ میلی‌مولار رشد کنند و ۲۵ درصد جدایه‌ها در گروه بسیار متحمل قرار گرفتند. از ۱۰۴ جدایه مورد ارزیابی برای صفات محرک رشدی، ۸۰ درصد حداقل دارای یکی از صفات^۱ PGPRs بودند. ۴۶ درصد از جدایه‌ها مولد سیدروفور، ۴۷ درصد مولد IAA، ۳۳ درصد دارای توان حل‌کنندگی فسفات‌های نامحلول و ۲۲ درصد قادر به تولید آنزیم ACC دی‌آمیناز بودند که از بین آنها ۱۱ جدایه به‌عنوان جدایه‌های نهایی برتر انتخاب گردیدند. (Sarcheshmepour et al., 2010). در مطالعه‌ای دیگر پتانسیل استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تیوباسیلوس بومی باغات پسته برای افزایش کارایی خاک فسفات و بهبود شرایط تغذیه‌ای نهال پسته با تیمارهای تلقیحی نشان داد تیمارهای باکتری تاثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی، میانگین ارتفاع و تعداد برگ، غلظت فسفر و آهن و میزان جذب عناصر فسفر، آهن و روی داشتند (Sarcheshmepour et al., 2015). استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات به همراه خاک فسفات بیش‌ترین تاثیر مثبت را بر وزن تر و خشک اندام هوایی، میانگین ارتفاع و تعداد برگ در نهال داشت و صفات فوق را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۳۶/۱، ۳۷/۸، ۱۱/۵ و

دسی‌زیمنس برمتر، بر صفات وابسته به رشد رویشی و غلظت برخی عناصر در دانه‌های پسته دو رقم دانشمندی (حساس به شوری) و اکبری (متحمل به شوری) در شرایط باغ بود.

مواد و روش‌ها

جداسازی و خالص‌سازی سوبه‌های باکتری

در پژوهش حاضر، جهت جداسازی و خالص‌سازی دو جدایه شورقلیای پسند از خاک، از محیط کشت اختصاصی (جدول ۱) آن‌ها استفاده شد. جهت جداسازی، سوسپانسیون ۱:۱ از خاک و آب (یک گرم خاک به یک میلی‌لیتر آب مقطر استریل) تهیه شد (Horikoshi, 2006). ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون فوق بر روی محیط کشت اختصاصی جامد پخش گردید. محیط کشت‌ها در دمای مناسب (۳۵ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۳ تا ۷ روز انکوباسیون شدند. ۱۴ جدایه شورقلیای پسند توسط محیط کشت اختصاصی (Jones et al., 1992) جداسازی شدند. پس از جداسازی، برای اطمینان از خالص بودن آن‌ها، چندین مرتبه بازکشت انجام شد. جدایه‌های خالص‌سازی شده جهت نگهداری طولانی مدت به‌روش نیتروژن مایع (Horikoshi, 1999) ذخیره‌سازی شدند.

اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های افزایش‌دهنده رشد باکتری

برخی ویژگی‌های افزایش‌دهنده رشد جدایه‌ها در شرایط آزمایشگاهی شامل اندازه‌گیری کمی غلظت آمونیاک تولیدی با روش نسلر اصلاح شده (Heonsang et al., 2013)، غلظت تری‌ايندول‌استیک‌اسید تولیدی با روش سالکوسکی (Glickmann and Dessaux, 1995; Gutierrez et al., 2009)، و فعالیت آنزیم ACC دی‌آمیناز از روش پنروز و گلیک (Penrose and Glick, 2003) که روش تغییر یافته هونما و شیمونورا (Honma and Shimomura, 1978) است، اندازه‌گیری شد تا برترین جدایه‌ها به لحاظ تنوع در دارابودن ویژگی‌های افزایش‌دهنده

۲۷/۱ درصد افزایش داد (Sarcheshmepour et al., 2015). تأثیر باکتری‌های بومی شورپسند، قلیا پسند و شورقلیای پسند ریزوسفری بادام (*Prunus amygdalus* L.) بر فراهمی عناصر غذایی در خاک‌های شور و سدیمی نشان داد انواع باکتری‌های بومی شورقلیا در شوری بیش از ۸ دسی‌زیمنس-برمتر و SAR بالاتر از ۱۵ کارایی بیش‌تری در فراهمی عناصر ضروری و یا نگهداری برخی یون‌های سمی مانند کلر و سدیم در خاک و ممانعت از جذب آن‌ها نشان دادند (Eskandari Torbaghan et al., 2022). ارزیابی جمعیت و خواص محرک رشدی باکتری‌های اندوریزوسفری، ریزوسفری و غیرریزوسفری در دانه‌های پسته (*Pistacia vera*) تحت شرایط گلخانه‌ای نشان داد، فراوانی جدایه‌های اندوریزوسفری، ریزوسفری و غیرریزوسفری در تولید ایندول‌استیک‌اسید، به‌ترتیب، ۴۸/۵، ۶۰ و ۴۷/۸ درصد و فراوانی جدایه‌ها در تثبیت نیتروژن، به‌ترتیب ۲۷، ۶۴/۳ و ۱۷/۴ درصد بود (Hojjat Noughi et al., 2013). به‌منظور بررسی نقش باکتری‌های محرک رشد گیاه بر رشد و جذب برخی از عناصر در اندام هوایی دانه‌های پسته در شرایط شور، آزمایشی با چهارسطح باکتری سودوموناس فلوروسنت (شاهد) (pf(0)، pf(1)، pf(2) و سه سطح شوری (۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم بر کیلوگرم) در سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد و نتایج نشان داد که شوری خاک موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه دانه‌ها شد. اما تلقیح با جدایه‌ها موجب افزایش معنی‌دار این پارامترها گردید. همچنین با افزایش شوری جذب فسفر و پتاسیم کاهش ولی، جذب سدیم، کلر و کلسیم افزایش یافت. از طرف دیگر تلقیح با باکتری‌های سودوموناس فلوروسنت موجب افزایش جذب فسفر، پتاسیم و کلسیم در اندام هوایی دانه‌های پسته شد (Azarmi Atajan, 2017).

هدف از این پژوهش، ارزیابی و مقایسه تأثیرگذاری دو سوبه منتخب باکتری فَرین‌دوست شورقلیای پسند بومی خراسان رضوی، تحت تیمارهای شوری آب ۸، ۱۲ و ۱۶

رشد گیاهی و غلظت بیش‌تر تولیدی مشخص گردند. با نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه آماری و مقایسه میانگین مقادیر آمونیاک، تری‌ا‌پندول‌استیک‌اسید و ACC دی‌آمیناز داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) تولیدی جدایه‌ها، در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

جدول ۱. محیط کشت‌های اختصاصی جدایه‌های شورقلی‌پسند (Jones et al., 1992)

Table 1. Specific culture media of haloalkaliphilic isolates (Jones et al., 1992)

Compounds	Amount (g L ⁻¹)
Glucose	–
Poly Peptone	–
Yeast extract	10
Di potassium hydrogen phosphate	–
Magnesium sulphate seven H ₂ O	1
Sodium carbonate	18.5 [▲]
Sodium Chloride	200
Magnesium chloride two H ₂ O	–
Calcium chloride	–
Potassium chloride	2
Sodium hydrogen bicarbonate	–
Sodium bromide	–
Protease Peptone	–
Casino acid	7.5
Tri sodium citrate	3
Manganese (II) chloride	0.00036
Ferrous sulfate	0.05
Agar	20
Electrical conductivity of the culture medium , dS m ⁻¹	39.90
pH of culture medium	9.18

▲ جداگانه از سایر مواد استریل گردیده و قبل از کشت جدایه‌ها به محیط کشت اضافه گردید.

▲ were sterilized separately from other materials and added to the culture medium before culturing the isolates.

استخراج DNA ژنومی جدایه‌های باکتری

از بین ۱۴ جدایه، دو جدایه که بیش‌ترین ویژگی‌های افزایش‌دهنده رشد را از خود نشان دادند، انتخاب و مورد شناسایی فیلوژنتیک قرار گرفتند. استخراج DNA ژنومی جدایه‌های باکتری با استفاده از روش (Leach et al., 1990) با کمی تغییرات جهت استخراج جدایه‌های فرین‌دوست انجام شد. جهت تکثیر ژن 16S rRAN از DNA ژنومی، از دستگاه PCR مدل (T100 Thermal Cycler) شرکت BIO RAD-USA استفاده گردید. شناسایی تکمیلی

جدایه‌های منتخب با تکثیر و تعیین توالی ژن 16S rRAN

انجام شد. برای این منظور از پرایمرهای عمومی 16S rRAN 27F با توالی:

5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3'

1492R با توالی:

5'-GGTTACCTTGTTACGACT T-3'

8fd با توالی:

5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3'

و 1488R با توالی:

5'-CGGTTACCTTGTTACGACTTCACC-3'

و از طریق واکنش زنجیره‌ای پلیمراز استفاده شد (Soto-Padilla et al., 2013). محصولات نهایی حاصل از واکنش زنجیره‌ای پلیمراز توسط روش ختم سنتز DNA به شکل رفت و برگشت توسط شرکت ماکروژن کره جنوبی تعیین ترادف شد. نتایج حاصل از آن با استفاده از نرم افزار Chromas Pro ویرایش شده و با استفاده از نرم افزار BLAST با توالی‌های معتبر ثبت شده در پایگاه داده (NCBI) National Center for Biotechnology Information (Chun et al., 2007) مقایسه، نزدیک‌ترین سویه از نظر توالی ژن 16S rRNA مشخص شد.

آماده سازی زمین و پیاده سازی نقشه اجرایی پژوهش

در این پژوهش پس از انتخاب زمینی بکر، و آماده سازی آن (شخم با زیر شکن)، تسطیح انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور (۱) شوری آب آبیاری در سه سطح (۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان کرت اصلی، (۲) دو رقم پسته (*Pistacia vera* L.) ۱- دانشمندی ۲- اکبری به عنوان کرت فرعی؛ و (۳) دو سویه باکتری شور قلیا پسند به نام‌های ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی و آلکالی-باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس هر یک جداگانه به همراه به‌کارگیری توام دو سویه و نیز شاهد (محیط کشت عاری از باکتری) به عنوان کرت فرعی فرعی با سه تکرار (هر تکرار شامل دو دانهال پسته) در سال ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات پسته فیض‌آباد خراسان رضوی (۳۴° ۵۴' ۱۵" عرض شمالی، ۵۸° ۴۵' ۳۷" طول شرقی) و در شرایط زمین اصلی اجرا شد.

پس از آماده سازی زمین و پیاده‌سازی نقشه آزمایش، اولین آبیاری به منظور آبتوبی با آب با شوری ۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. بذور قبل از کاشت در شرایط مطلوب از نظر رطوبت و درجه حرارت قرار داده شدند (شرایط کنترل شده) تا شروع به جوانه‌زنی نمایند. بذور به مدت ۴۸ ساعت در آب با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

خیسانده شدند و پس از خروج از آب در پارچه تنظیف از جنس کف در دمای معمولی اتاق به مدت یک هفته نگهداری و به‌طور مرتب مرطوب‌سازی شدند. در این فاصله بذور شروع به جوانه‌زنی نموده و در آستانه خروج ریشه‌چه و رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه، کاشت مستقیم بذور در محیط با خاکی سبک (ماسه بادی) انجام شد و سپس بذور کاشته شده با ظروف یک بار مصرف پوشش داده شد. حدود بیست روز پس از کاشت، بذور سبز شدند و بنابراین به منظور هوادهی، بخش انتهایی ظروف برداشته شد تا رشد ادامه پیدا کند.

تلقیح دانهال‌ها با زادمایه باکتریایی

میزان آب لازم برای تامین تلقیح یک نهال به صورت تجربی اندازه‌گیری شد. این بررسی با اندازه‌گیری میزان رشد ریشه‌های پسته انجام شد، که نشان داد نهال‌ها دارای ریشه‌ای به عمق ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر بودند و در نتیجه میزان زادمایه مورد نیاز برای تلقیح در حدود ۲/۵ تا ۳ لیتر برای هر نهال به دست آمد؛ که برای هر ردیف با ۱۸ نهال حدود ۲۰ لیتر و در مجموع برای ۲۴ کرت ۵۰۰ لیتر محیط کشت رقیق شده (۱:۴۰) در نظر گرفته شد (شکل ۱). برای هر نهال ۵۰ میلی‌لیتر زادمایه با باکتری مورد نظر آماده شد. بدین صورت که ۵۰ میلی‌لیتر زادمایه با ۲ لیتر آب مقطر مخلوط و در قسمت تشتک ایجاد شده برای هر نهال آبیاری گردید. مقدار آب جهت رقیق‌سازی (۲ لیتر) به گونه‌ای انتخاب شد که پس از ورود به خاک به ناحیه توسعه ریشه برسد.

اعمال تیمارهای آبیاری

اولین آبیاری به دلیل حساسیت نهال‌ها با آب شور ۶ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد و سپس به تدریج، شوری مورد نظر در تیمارها اعمال شد. پس از تلقیح، آبیاری تیمارها بر اساس نقشه اجرایی با آب شور انجام شد. فاکتور اول در این آزمایش سطوح مختلف شوری (۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) بود که با استفاده از اختلاط دو

آب موجود با شوری‌های ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (آب چاه عمیق ایستگاه (جدول ۲) که به‌طور مستقیم برای سطح شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در پروژه استفاده گردید) و آب با شوری ۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر که به نسبت ۲ به ۱ به‌ترتیب از ۱۶ و ۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر برای ایجاد تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر؛ و نسبت ۱ به ۲ به‌ترتیب از همین شوری‌ها برای ایجاد شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر استفاده - گردید.

S8DaB2	S8DaB2	S8DaB2	S8DaB2	S8DaB2	S8DaB2	S8AkB3	S8AkB3	S8AkB3	S8AkB3	S8AkB3	S8AkB3
S8DaB3	S8DaB3	S8DaB3	S8DaB3	S8DaB3	S8DaB3	S8AkB4	S8AkB4	S8AkB4	S8AkB4	S8AkB4	S8AkB4
S8DaB1	S8DaB1	S8DaB1	S8DaB1	S8DaB1	S8DaB1	S8AkB2	S8AkB2	S8AkB2	S8AkB2	S8AkB2	S8AkB2
S8DaB4	S8DaB4	S8DaB4	S8DaB4	S8DaB4	S8DaB4	S8AkB1	S8AkB1	S8AkB1	S8AkB1	S8AkB1	S8AkB1
S12AkB1	S12AkB1	S12AkB1	S12AkB1	S12AkB1	S12AkB1	S12DaB2	S12DaB2	S12DaB2	S12DaB2	S12DaB2	S12DaB2
S12AkB2	S12AkB2	S12AkB2	S12AkB2	S12AkB2	S12AkB2	S12DaB4	S12DaB4	S12DaB4	S12DaB4	S12DaB4	S12DaB4
S12AkB3	S12AkB3	S12AkB3	S12AkB3	S12AkB3	S12AkB3	S12DaB3	S12DaB3	S12DaB3	S12DaB3	S12DaB3	S12DaB3
S12AkB4	S12AkB4	S12AkB4	S12AkB4	S12AkB4	S12AkB4	S12DaB1	S12DaB1	S12DaB1	S12DaB1	S12DaB1	S12DaB1
S16DaB4	S16DaB4	S16DaB4	S16DaB4	S16DaB4	S16DaB4	S16AkB3	S16AkB3	S16AkB3	S16AkB3	S16AkB3	S16AkB3
S16DaB2	S16DaB2	S16DaB2	S16DaB2	S16DaB2	S16DaB2	S16AkB4	S16AkB4	S16AkB4	S16AkB4	S16AkB4	S16AkB4
S16DaB1	S16DaB1	S16DaB1	S16DaB1	S16DaB1	S16DaB1	S16AkB1	S16AkB1	S16AkB1	S16AkB1	S16AkB1	S16AkB1
S16DaB3	S16DaB3	S16DaB3	S16DaB3	S16DaB3	S16DaB3	S16AkB2	S16AkB2	S16AkB2	S16AkB2	S16AkB2	S16AkB2

شکل ۱- نقشه اجرایی پروژه، که در آن سطوح شوری، رقم و سویه مشخص شده‌اند.

S₈=شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، S₁₂=شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، S₁₆=شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر؛ Da= دانشمندی، Ak= اکبری B₁= سویه اول (ویرجی باسیلیوس مارسمورتی)، B₂= سویه دوم (آلکالی باسیلیوس هالوآلکالیفیلوس)، B₃= مخلوط سویه اول و دوم، B₄= شاهد

Figure 1 - The implementation map of the project, where salinity levels, variety, and strain are specified. Ak= Akbari var., Da=Daneshmandi Var., B₁= *Virgibacillus marismortui*, B₂= *Alkalibacillus haloalkaliphilus*, B₃=Mixed of two strains in equal proportion, C=Control

جدول ۲. خصوصیات کیفی آب چاه عمیق ایستگاه تحقیقات پسته فیض‌آباد (۱۴۰۰)

Table 2. Quality characteristics of deep well water of Feizabad Pistachio Research Station (2021)

Parameters	EC	pH	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	(Ca+Mg) ⁺²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	SAR ¹
Unit	dS/m		-	meq/l						-
Irrigation water	16.25	7.3	93.9	20.3	36	56.3	135	3.1	0	17.7

¹SAR= Sodium adsorption ratio

زیمنس بر متر در جدول ۳ نشان داده شده است. به‌منظور آشنایی با خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک، قبل از اجرای آزمایش، با حفر پروفیل، دو نمونه خاک نیز از عمق‌های ۵۰-۵۰ و ۱۰۰-۵۰ سانتی‌متر تهیه گردید؛ که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

سه نمونه آب از سه تیمار شوری مورد استفاده در طرح برای اندازه‌گیری پارامترهای آن‌ها شامل برخی از آنیون‌ها و کاتیون‌های مهم در آب آبیاری به همراه هدایت الکتریکی و pH برداشت و به آزمایشگاه خاک و آب منتقل گردید. نتایج تجزیه شیمیایی سه آب با شوری ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی-

جدول ۳. تجزیه شیمیایی سه نمونه آب مورد استفاده در آزمایش (۱۴۰۰)
Table3. Chemical analysis of three water samples used in the experiment (2021)

Salinity level dS/m	pH	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR
		meq/l							
8.2	7.8	0	3.3	78.3	24	7	0.1	62.3	17.5
12.08	8	0	3.5	120.3	38	11.6	0.2	92.5	20
16.30	8.1	0	3.8	182.5	45.6	11.6	0.2	130.4	23.7

جدول ۴. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای پروژه، قبل از اجرای آزمایش (۱۴۰۰)
Table 4. Some of the physicochemical properties of the soil at the project site before the experiment (2021)

Depth	EC ¹ (dS/m)	pH	T.N.V. ² %	O.C ³	Sand	Silt	Clay	N _T	P _{av}	K _{av}	Ca	Mg	SAR ⁴
			mg/kg										
0-50	58.10	7.5	16.7	0.17	40	43	17	0.019	2.0	106	2320	960	30.1
50-100	26.40	7.6	17.2	0.19	32	47	21	0.016	0.8	119	72	366	27.5

¹EC = Electrical conductivity, ²T.N.V = Total Neutralizing Value, ³O.C = Organic Carbon, ⁴SAR= Sodium adsorption ratio

Depth	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na	Mg	Ca	(Ca+Mg) ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	(CO ₃) ²⁻
	mg/kg					meq/kg						
0-50	3.80	3.00	0.40	0.90	2.64	300.7	98.0	102.0	200.0	502.5	4.0	0.0
50-100	4.60	5.06	0.56	1.80	2.24	170.4	35.0	42.0	77.0	203.8	6.5	0.0

اندازه‌گیری صفات مورفولوژی و بیوشیمیایی

برخی صفات قابل اندازه‌گیری شامل طول ساقه بر حسب سانتی‌متر، قطر ساقه در ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک بر حسب میلی‌متر و با استفاده از کولیس، تعداد برگ موجود و تعداد برگ ریزشی با شمارش آن‌ها ثبت گردید و سپس از هر نهال ۵ عدد برگ، از برگ‌های قسمت میانی شاخه اصلی جمع‌آوری و برای اندازه‌گیری دو صفت سطح برگ و شاخص کلروفیل که به ترتیب با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ^۲ و کلروفیل‌سنج^۳ اندازه‌گیری شدند (Sherafati et al., 2023)، به آزمایشگاه فیزیولوژی و به‌زراعی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی ارسال شد.

2. Leaf area meter
3. SPAD

اندازه‌گیری برخی عناصر غذایی در برگ پسته

اندازه‌گیری عناصر غذایی در برگ پسته به استثناء بور، به روش هضم تر توسط اسید پرکلریک و آب اکسیژنه انجام شد (Sherafati et al., 2022). فسفر به روش مولیبدات آمونیوم و رنگ‌سنجی به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (Richards, 1954)، پتاسیم به روش استات آمونیوم و اندازه‌گیری با دستگاه فلایم‌فتومتر در عصاره‌های گیاهی (Manteghi, 1968)، سدیم با دستگاه فلایم‌فتومتر (Rayan et al., 2001) و کلر به روش تیتراسیون با نیترات نقره ۰/۰۲ نرمال در عصاره‌های گیاه (Rayan et al., 2001)، و نیز عنصر کم‌مصرف روی با دستگاه جذب اتمی (Rayan et al., 2001) اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری عنصر بور، ابتدا نمونه‌های برگ پس از شستشو و خشک شدن در هوای آزاد، در آون ۶۵ درجه سانتی‌گراد

قرار گرفتند تا رطوبت‌گیری شوند. سپس نمونه‌های مذکور آسیاب شده یک گرم از آنها به روش خاکستر خشک و انحلال در اسیدکلریدریک عصاره‌گیری گردید. در عصاره حاصل، اندازه‌گیری بور به روش آزومتین اچ و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر (Keren, 1996) انجام شد.

در پایان، اطلاعات جمع‌آوری شده طرح توسط نرم افزار آماری MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

نتایج

طول و قطر ساقه

نتایج نشان داد با افزایش شوری، طول ساقه کاهش معنی‌داری داشت (شکل ۲) درحالی‌که بر قطر ساقه تأثیری نداشت (جدول ۵). رقم اکبری در مقایسه با رقم دانشمندی با ۲/۶۱ سانتی‌متر و ۰/۲۶ میلی‌متر اختلاف، به ترتیب طول و قطر ساقه بیش‌تری داشت (جدول ۶). بیش‌ترین طول (۲۸/۸۳ سانتی‌متر) و قطر ساقه (۶/۰۴ میلی‌متر) در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر و رقم اکبری و کم‌ترین طول (۲۳/۲۱ سانتی‌متر) و قطر ساقه (۵/۲۹ میلی‌متر) در همان سطح شوری و رقم دانشمندی مشاهده گردید (جدول ۷). بیش‌ترین طول ساقه با ۲۷/۳۳ سانتی‌متر (شکل ۳) و قطر با

۵/۷۷ میلی‌متر در سویه باکتری ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی مشاهده شد (جدول ۸). لیکن، بیش‌ترین طول دانهال (۳۲/۲۵ سانتی‌متر) تحت تأثیر اثر متقابل شوری و نوع سویه در شوری ۸ دسی‌زیمنس برمتر و تیمار مخلوط باکتری‌ها و بیش‌ترین قطر (۶/۲۲ میلی‌متر) در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر و باکتری ویرجی باسیلیوس- ماریسمورتی بدست آمد (جدول ۹). حداکثر طول (۳۰/۴۴ سانتی‌متر) (جدول ۱۰) و قطر (۵/۱۰ میلی‌متر) دانهال در تیمار باکتری ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی و رقم اکبری مشاهده شد و حداقل طول (۲۳/۳۳ سانتی‌متر) (جدول ۱۰) و قطر (۵/۱۰ میلی‌متر) دانهال در تیمار شاهد و رقم دانشمندی بدست آمد (شکل ۴). اثرات سه‌گانه شوری، رقم و نوع باکتری نشان داد که بیش‌ترین طول ساقه با ۳۳/۵ سانتی‌متر در شوری ۸ دسی‌زیمنس برمتر، رقم اکبری و تیمار مخلوط باکتری‌ها مشاهده شد (جدول ۱۱). شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر، رقم اکبری و باکتری ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی با ۶/۷۸ میلی‌متر قطر دانهال، و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر در رقم اکبری و باکتری ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی، با ۶/۶۶ میلی‌متر، بیش‌ترین قطر ساقه را داشتند و البته فاقد اختلاف معنی‌دار بودند (جدول ۱۱).

جدول ۵. اثر سطوح شوری بر برخی صفات رویشی و عناصر غذایی دانهال‌های پسته

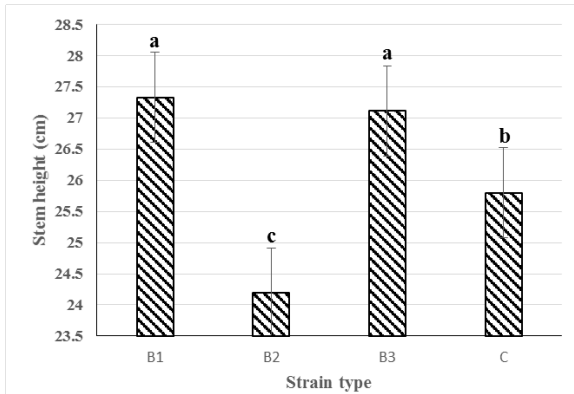
Table 5. Effect of salinity levels on some vegetative parameters and nutritional elements of pistachio seedlings

Treat.	Stem diameter	No. of remained leaves	No. of abscission leaf	No. of total leaf	Leaf area	Chlorophyll index	P	K	Ca	Na	Cl	Zn	B
Unit	mm	-	-	-	cm ²	-	%					mg kg ⁻¹	
S ₈	5.588 ^a	32.00 ^a	1.625 ^{ab}	33.63 ^a	11.75 ^a	65.45 ^b	0.294 ^b	2.455 ^b	1.631 ^a	0.0305 ^b	2.529 ^b	44.99 ^b	272.7 ^b
S ₁₂	5.669 ^a	32.17 ^a	1.750 ^a	33.96 ^a	11.55 ^a	64.62 ^b	0.277 ^b	2.347 ^b	1.590 ^a	0.0666 ^a	2.415 ^b	42.83 ^b	263.4 ^b
S ₁₆	5.550 ^a	30.81 ^b	1.375 ^b	32.17 ^b	11.00 ^b	68.27 ^a	0.353 ^a	2.822 ^a	1.483 ^b	0.0680 ^a	2.917 ^a	52.32 ^a	304.4 ^a

S₈= 8 dS/m, S₁₂=12 dS/m, S₁₆=16 ds/m

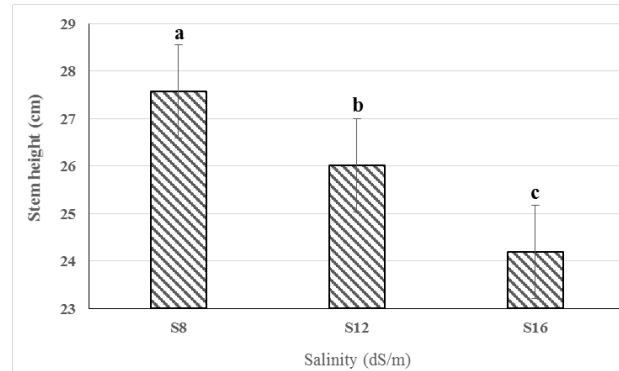
میانگین‌ها در هر ستون با حروف غیرمشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

Means in each column with different letters are significant based on the LSD test at the 5% probability level.



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف شوری بر طول ساقه دانهال پسته (cm)

Fig 2. The effect of different salinity levels on pistachio stem height (cm)



شکل ۳. تأثیر نوع سویه بر طول ساقه (cm) (B₁ = ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی، B₂ =

آکالی باسیلیوس هالوآکالوفیلوس، B₃ = مخلوط سویه‌ها و C = شاهد)

Fig 2. Figure 3. The effect of strain type on stem height (cm) (B₁= *Virgibacillus marismortui*, B₂= *Alkalibacillus haloalkaliphilus*, B₃=Mixed of two strains in equal proportion, C=Control)

جدول ۶. اثر رقم بر برخی صفات رویشی و عناصر غذایی دانهال‌های پسته

Table 6. Effect of varity on some vegetative paramters and nutritional elements of pistachio seedlings

Treat.	Stem height	Stem diameter	No. of remained leaves	No.of abscission leaf	No. of total leaf	Leaf area	Cholorophil index	P	K	Ca	Na	Cl	Zn	B
Unit	cm	mm	-	-	-	cm ²	-			%			mg kg ⁻¹	
Da	24.625 ^b	5.474 ^b	29.264 ^b	1.556 ^a	30.833 ^b	10.106 ^b	66.215 ^a	0.311 ^a	2.555 ^a	1.307 ^b	0.089 ^a	2.634 ^a	46.97 ^a	281.29 ^a
Ak	27.236 ^a	5.731 ^a	34.056 ^a	1.611 ^a	35.667 ^a	12.761 ^a	66.014 ^a	0.306 ^a	2.528 ^a	1.828 ^a	0.021 ^b	2.606 ^a	46.45 ^a	279.03 ^a

Ak= Akbari var., Da=Daneshmandi Var.

میانگین‌ها در هر ستون با حروف غیرمشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

Means in each column with different letters are significant based on the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۷. اثر متقابل سطوح شوری و رقم بر برخی صفات رویشی و عناصر غذایی دانهالهای پسته

Table 7. Interaction effect of salinity levels and varity on some vegetative paramters and nutritional elements of pistachio seedlings

Treat.	Stem height	Stem diameter	No. of remained leaves	No.of abscission leaf	No. of total leaf	Cholorophil index	P	K	Ca	Na	Cl	Zn	B
Unit	cm	mm	-	-	-	-	%				mg kg ⁻¹		
S ₈ ×Da	27.33 ^b	5.787 ^b	30.13 ^c	1.583 ^b	31.71 ^d	66.60 ^b	0.318 ^b	2.605 ^b	1.447 ^d	0.0549 ^c	2.688 ^b	47.98 ^b	285.7 ^b
S ₈ ×Ak	27.83 ^b	5.387 ^c	33.88 ^b	1.667 ^b	35.54 ^b	64.30 ^c	0.271 ^c	2.306 ^c	1.814 ^b	0.0062 ^d	2.371 ^c	42.00 ^c	259.8 ^c
S ₁₂ ×Da	23.21 ^d	5.292 ^c	29.04 ^d	1.167 ^c	30.29 ^c	64.33 ^c	0.271 ^c	2.310 ^c	1.130 ^f	0.1332 ^a	2.375 ^c	42.08 ^c	260.1 ^c
S ₁₂ ×Ak	28.83 ^a	6.046 ^a	35.29 ^a	2.333 ^a	37.63 ^a	64.91 ^c	0.283 ^c	2.385 ^c	2.050 ^a	0.0000 ^d	2.454 ^c	43.58 ^c	266.6 ^c
S ₁₆ ×Da	23.23 ^d	5.342 ^c	28.63 ^d	1.917 ^b	30.50 ^c	67.71 ^{ab}	0.341 ^{ab}	2.749 ^{ab}	1.345 ^c	0.0797 ^b	2.840 ^{ab}	50.86 ^{ab}	298.1 ^{ab}
S ₁₆ ×Ak	25.04 ^c	5.758 ^b	33.00 ^b	0.833 ^c	33.83 ^c	68.83 ^a	0.364 ^a	2.894 ^a	1.620 ^c	0.0564 ^c	2.994 ^a	53.78 ^a	310.7 ^a

S₈= 8 dS/m, S₁₂=12 dS/m, S₁₆=16 ds/m , Ak= Akbari var., Da=Daneshmandi Var

میانگین‌ها در هر ستون با حروف غیرمشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

Means in each column with different letters are significant based on the LSD test at the 5% probability level

جدول ۸. اثر سویه باکتری بر برخی صفات رویشی و عناصر غذایی دانهالهای پسته

Table 8. Effect of strain type on some vegetative paramters and nutritional elements of pistachio seedlings

Treat.	Stem diameter	No. of remained leaves	No.of abscission leaf	No. of total leaf	Leaf area	Cholorophil index	P	K	Ca	Na	Cl	Zn	B
Unit	mm	-	-	-	cm ²	-	%					mg kg ⁻¹	
B ₁	5.769 ^a	29.25 ^c	2.806 ^a	32.11 ^b	11.63 ^a	65.41 ^b	0.294 ^b	2.451 ^b	1.606 ^a	0.0539 ^b	2.524 ^b	44.89 ^b	272.3 ^b
B ₂	5.642 ^{ab}	31.14 ^b	1.528 ^b	32.67 ^b	11.34 ^b	64.50 ^b	0.275 ^b	2.332 ^b	1.550 ^b	0.0457 ^c	2.399 ^b	42.53 ^b	262.1 ^b
B ₃	5.500 ^b	33.06 ^a	1.028 ^c	34.08 ^a	11.15 ^b	67.47 ^a	0.336 ^a	2.718 ^a	1.512 ^b	0.0644 ^a	2.807 ^a	50.25 ^a	295.4 ^a
C	5.479 ^b	33.19 ^a	0.972 ^c	34.14 ^a	11.61 ^a	67.07 ^a	0.328 ^a	2.665 ^a	1.603 ^a	0.0561 ^{ab}	2.751 ^a	49.19 ^a	290.9 ^a

B₁= *Virgibacillus marismortui*, B₂= *Alkalibacillus haloalkaliphilus*, B₃=Mixed of two strains in equal proportion, C=Control

میانگین‌ها در هر ستون با حروف غیرمشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

Means in each column with different letters are significant based on the LSD test at the 5% probability level

جدول ۹. اثر متقابل سطوح شوری و سویه باکتری بر برخی صفات رویشی و عناصر غذایی دانه‌های پسته

Table 9. Interaction effect of salinity levels and strain type on some vegetative parameters and nutritional elements of pistachio seedlings

Treat.	Stem height	Stem diameter	No. of remained leaves	No. of abscission leaf	No. of total leaf	Leaf area	Chlorophyll index	P	K	Ca	Na	Cl	Zn	B
Unit	cm	mm	-	-	-	cm ²	-	%					mg kg ⁻¹	
S ₈ ×B ₁	25.58 ^d	5.225 ^{ef}	29.25 ^e	2.250 ^b	31.50 ^{efg}	10.27 ^e	65.98 ^{bcd}	0.305 ^{bcd}	2.524 ^{bcd}	1.339 ^e	0.0723 ^{cd}	2.602 ^{bcd}	46.37 ^{bcd}	278.7 ^{bcd}
S ₈ ×B ₂	27.42 ^c	5.717 ^{bc}	31.42 ^c	1.083 ^{cd}	32.50 ^{def}	12.75 ^b	61.39 ^e	0.211 ^e	1.929 ^e	1.826 ^b	0.000 ^g	1.971 ^e	34.44 ^e	277.1 ^e
S ₈ ×B ₃	32.25 ^a	5.775 ^{bc}	34.00 ^a	1.917 ^b	35.92 ^a	12.05 ^e	67.04 ^{bc}	0.327 ^{bc}	2.662 ^{bc}	1.689 ^e	0.0150 ^f	2.748 ^{bc}	49.12 ^{bc}	290.6 ^{bc}
S ₈ ×C	25.08 ^{de}	5.633 ^{bc}	33.33 ^{ab}	1.250 ^{cd}	34.58 ^{ab}	11.95 ^e	67.39 ^{bc}	0.334 ^{bc}	2.707 ^{bc}	1.669 ^e	0.0349 ^e	2.796 ^{bc}	50.03 ^{bc}	294.5 ^{bc}
S ₁₂ ×B ₁	30.58 ^b	6.225 ^a	31.17 ^{cd}	3.083 ^a	34.42 ^{ab}	13.45 ^a	65.58 ^{cd}	0.297 ^{cd}	2.473 ^{cd}	1.964 ^a	0.0125 ^{fg}	2.547 ^{cd}	45.33 ^{cd}	274.2 ^{cd}
S ₁₂ ×B ₂	23.33 ^f	5.633 ^{bc}	32.25 ^{bc}	2.167 ^b	34.42 ^{ab}	10.03 ^e	59.54 ^e	0.172 ^e	1.689 ^e	1.293 ^e	0.0986 ^{ab}	1.716 ^e	29.64 ^e	206.3 ^e
S ₁₂ ×B ₃	25.92 ^d	5.533 ^{cde}	32.00 ^{bc}	0.833 ^{cde}	32.83 ^{cde}	11.83 ^e	67.35 ^{bc}	0.334 ^{bc}	2.702 ^{bc}	1.646 ^e	0.0690 ^d	2.790 ^{bc}	49.92 ^{bc}	294.0 ^{bc}
S ₁₂ ×C	24.25 ^{ef}	5.283 ^{def}	33.25 ^{ab}	0.916 ^{cd}	34.17 ^{bc}	10.87 ^d	66.00 ^{bcd}	0.306 ^{bcd}	2.527 ^{bcd}	1.456 ^d	0.0861 ^{bc}	2.604 ^{bcd}	46.42 ^{bcd}	278.9 ^{bcd}
S ₁₆ ×B ₁	25.83 ^d	5.858 ^b	27.33 ^f	3.083 ^a	30.42 ^g	11.17 ^d	64.68 ^d	0.278 ^d	2.355 ^d	1.515 ^d	0.0770 ^{cd}	2.422 ^d	42.97 ^d	264.0 ^d
S ₁₆ ×B ₂	21.83 ^g	5.575 ^{bcd}	29.75 ^{de}	1.333 ^c	31.08 ^{fg}	11.25 ^d	72.57 ^a	0.441 ^a	3.380 ^a	1.532 ^d	0.0385 ^c	3.509 ^a	63.49 ^a	352.8 ^a
S ₁₆ ×B ₃	23.17 ^f	5.192 ^f	33.17 ^{ab}	0.333 ^e	33.50 ^{bcd}	9.567 ^f	68.03 ^b	0.348 ^b	2.791 ^b	1.202 ^f	0.109 ^a	2.884 ^b	51.70 ^b	301.7 ^b
S ₁₆ ×C	25.92 ^d	5.575 ^{bcd}	33.00 ^{a^b}	0.750 ^{de}	33.67 ^{bcd}	12.02 ^e	67.81 ^b	0.343 ^b	2.761 ^b	1.682 ^e	0.0475 ^e	2.853 ^b	51.11 ^b	299.2 ^b

S₈= 8 dS/m, S₁₂=12 dS/m, S₁₆=16 dS/m, B₁= *Virgibacillus marismortui*, B₂= *Alkalibacillus haloalkaliphilus*, B₃=Mixed of two strains in equal proportion, C=Control
 میانگین‌ها در هر ستون با حروف غیرمشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

Means in each column with different letters are significant based on the LSD test at the 5% probability level

جدول ۱۰. اثر متقابل نوع رقم و سویه باکتری بر برخی صفات رویشی و عناصر غذایی دانهالهای پسته

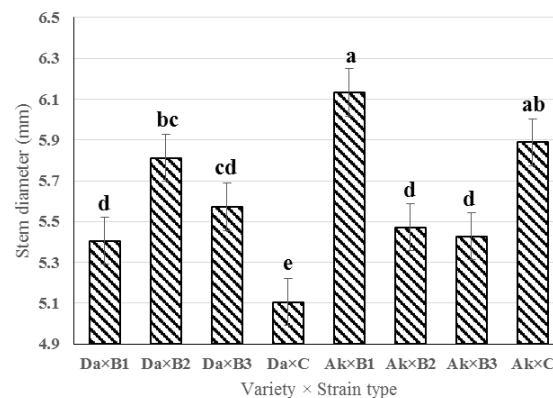
Table 10. Interaction effect of variety and strain type on some vegetative paramters and nutritional elements of pistachio seedlings

Treat.	Stem height	No. of remained leaves	No. of abscission leaf	No. of total leaf	Leaf area	Cholorophil index	P	K	Ca	Na	Cl	Zn	B
Unit	cm	-	-	-	cm ²	-			%			mg kg ⁻¹	
Da×B ₁	24.22 ^{de}	27.72 ^a	1.889 ^b	29.72 ^d	9.844 ^{ef}	66.12 ^b	0.308 ^b	2.542 ^b	1.256 ^{ef}	0.099 ^b	2.621 ^b	46.72 ^b	280.2 ^b
Da×B ₂	24.78 ^d	29.67 ^{cd}	1.500 ^{bc}	31.17 ^c	10.94 ^d	63.86 ^c	0.262 ^c	2.248 ^c	1.472 ^d	0.0657 ^d	2.310 ^c	40.85 ^c	254.8 ^c
Da×B ₃	26.17 ^c	30.28 ^{cd}	1.278 ^c	31.56 ^c	10.12 ^c	69.07 ^a	0.369 ^a	2.925 ^a	1.311 ^c	0.0793 ^c	3.027 ^a	54.40 ^a	313.4 ^a
Da×C	23.33 ^c	29.39 ^d	1.556 ^{bc}	30.89 ^{cd}	9.511 ^f	65.82 ^b	0.302 ^b	2.503 ^b	1.191 ^f	0.112 ^a	2.579 ^b	45.94 ^b	276.8 ^b
Ak×B ₁	30.44 ^a	30.78 ^c	3.722 ^a	34.50 ^b	13.41 ^a	64.71 ^{bc}	0.279 ^{bc}	2.359 ^{bc}	1.956 ^a	0.008 ^g	2.427 ^{bc}	43.07 ^{bc}	264.4 ^{bc}
Ak×B ₂	23.61 ^c	32.61 ^b	1.556 ^{bc}	34.17 ^b	11.74 ^c	65.15 ^{bc}	0.288 ^{bc}	2.416 ^{bc}	1.629 ^c	0.025 ^f	2.488 ^{bc}	44.21 ^{bc}	269.3 ^{bc}
Ak×B ₃	28.06 ^b	35.83 ^a	0.777 ^d	36.61 ^a	12.18 ^b	65.88 ^b	0.303 ^b	2.511 ^b	1.714 ^b	0.049 ^e	2.588 ^b	46.10 ^b	277.5 ^b
Ak×C	26.83 ^c	37.00 ^a	0.388 ^d	37.39 ^a	13.71 ^a	68.32 ^a	0.354 ^a	2.827 ^a	2.014 ^a	0.0000 ^g	2.923 ^a	52.43 ^a	304.9 ^a

S₈- 8 dS/m, S₁₂=12 dS/m, S₁₆=16 ds/m, Ak= Akbari var., Da=Daneshmandi Var., B₁= *Virgibacillus marismortui*, B₂= *Alkalibacillus haloalkaliphilus*, B₃=Mixed of two strains in equal proportion, C=Control

میانگین‌ها در هر ستون با حروف غیرمشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

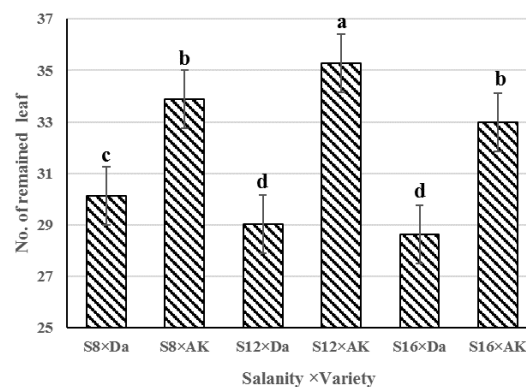
Means in each column with different letters are significant based on the LSD test at the 5% probability level



شکل ۴. اثر رقم و سویه باکتری بر قطر ساقه (mm) (B_1 = ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی، B_2 = آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس، B_3 = مخلوط سویه‌ها و C = شاهد)

Figure 4. Effect of bacterial strain and variety on stem diameter (mm)

(B_1 = *Virgibacillus marismortui*, B_2 = *Alkalibacillus haloalkaliphilus*, B_3 = Mixed of two strains in equal proportion, C = Control)



شکل ۵. اثر سطوح شوری (dS m^{-1}) و نوع رقم بر میانگین تعداد برگ سالم

Figure 5. The effect of salinity levels (dS m^{-1}) and variety type on the average number of remained leaves

جدول ۱۱. اثر متقابل سطوح شوری، رقم و سویه باکتری بر برخی صفات رویشی و عناصر غذایی دانهال‌های پسته

Table 11. Interaction effect of salinity level, variety and strain type on some vegetative paramters and nutritional elements of pistachio seedlings

Treat.	Stem height	Stem diameter	No. of remained leaves	No. of abscission leaf	No. of total leaf	Leaf area	Cholorophil index	P	K	Ca	Na	Cl	Zn	B
Unit	cm	mm	-	-	-	cm ²	-	%					mg kg ⁻¹	
S ₈ ×Da×B ₁	25.50 ^{ghi}	5.500 ^{d^{ef}}	31.83 ^{fghi}	0.500 ^{hi}	32.33 ^{hij}	9.367 ^{ij}	67.30 ^{cde}	0.333 ^{cde}	2.695 ^{cde}	1.162 ^{ij}	0.119 ^d	2.783 ^{cde}	49.79 ^{cde}	293.5 ^{de}
S ₈ ×Da×B ₂	29.67 ^{cd}	6.150 ^b	29.00 ^k	1.667 ^{efg}	30.67 ^{jk}	12.57 ^{ef}	62.23 ^{hi}	0.228 ^{gh}	2.038 ^{hi}	1.790 ^{ef}	0.0000 ^h	2.086 ^{hi}	36.63 ^{hi}	236.6 ^{hi}
S ₈ ×Da×B ₃	31.00 ^{bc}	5.900 ^{bcd}	29.17 ^k	2.667 ^{cd}	31.83 ^{ijk}	11.03 ^g	67.88 ^{cd}	0.345 ^{cd}	2.771 ^{cd}	1.490 ^g	0.0301 ^g	2.863 ^{cd}	51.31 ^{cd}	300.0 ^{cd}
S ₈ ×Da×C	23.17 ^{ki}	5.600 ^{def}	30.50 ^{hijk}	1.500 ^{efg}	32.00 ^{ijk}	10.30 ^h	69.00 ^{bc}	0.368 ^{bc}	2.916 ^{bc}	1.346 ^h	0.0698 ^f	3.017 ^{bc}	54.21 ^{bc}	312.6 ^{bc}
S ₈ ×Ak×B ₁	25.67 ^{ghi}	4950 ^h	26.67 ⁱ	4.00 ^{ab}	30.67 ^{jk}	11.17 ^g	64.67 ^{efgh}	0.278 ^{efg}	2.354 ^{efgh}	1.515 ^g	0.0248 ^g	2.421 ^{efgh}	42.95 ^{efgh}	263.9 ^{efgh}
S ₈ ×Ak×B ₂	25.17 ^{ghij}	5.283 ^{fgh}	33.83 ^{def}	0.500 ^{hi}	34.33 ^{fgh}	12.93 ^{de}	60.55 ⁱ	0.193 ^h	1.819 ⁱ	1.862 ^{de}	0.0000 ^h	1.855 ⁱ	32.26 ⁱ	217.6 ⁱ
S ₈ ×Ak×B ₃	33.50 ^a	5.650 ^{def}	38.83 ^b	1.167 ^{fgh}	40.00 ^{ab}	13.07 ^{cde}	66.20 ^{cdef}	0.310 ^{cdef}	2.553 ^{cdef}	1.888 ^{cde}	0.0000 ^h	2.632 ^{cdef}	46.94 ^{cdef}	281.1 ^{cdef}
S ₈ ×Ak×C	27.00 ^{efg}	5.667 ^{cdef}	36.17 ^c	1.00 ^{gh}	37.17 ^{cd}	13.60 ^e	65.78 ^{defg}	0.301 ^{def}	2.498 ^{defg}	1.993 ^c	0.0000 ^h	2.575 ^{defg}	45.85 ^{defg}	276.4 ^{defg}
S ₁₂ ×Da×B ₁	28.17 ^{de}	5.783 ^{bcd^e}	30.83 ^{hijk}	1.833 ^{ef}	33.00 ^{ghi}	11.43 ^g	67.85 ^{cd}	0.344 ^{cd}	2.767 ^{cd}	1.568 ^g	0.0250 ^g	2.859 ^{cd}	51.22 ^{cd}	299.7 ^{cd}
S ₁₂ ×Da×B ₂	20.67 ^{mn}	5.500 ^{def}	30.00 ^{ijk}	0.666 ^{hi}	30.67 ^{jk}	7.933 ^m	56.60 ^j	0.112 ⁱ	1.307 ^j	0.881 ^m	0.1973 ^a	1.312 ^j	22.00 ^j	173.3 ^j
S ₁₂ ×Da×B ₃	23.33 ^{kl}	5.417 ^{efg}	30.17 ^{ijk}	0.500 ^{hi}	30.67 ^{jk}	9.033 ^{jk}	67.78 ^{cd}	0.343 ^{cd}	2.758 ^{cd}	1.097 ^{jk}	0.1382 ^{cd}	2.850 ^{cd}	51.05 ^{cd}	298.9 ^{cd}
S ₁₂ ×Da×C	20.67 ^{mn}	4.467 ⁱ	25.17 ^l	1.667 ^{efg}	26.83 ^l	8.400 ^m	65.08 ^{defgh}	0.287 ^{defg}	2.408 ^{defgh}	0.972 ^{lm}	0.1723 ^b	2.478 ^{defgh}	44.03 ^{defgh}	268.6 ^{defgh}
S ₁₂ ×Ak×B ₁	23.00 ^a	6.667 ^a	31.50 ^{ghij}	4.333 ^a	35.83 ^{def}	15.47 ^a	63.32 ^{fghi}	0.250 ^{fgh}	2.178 ^{fghi}	2.359 ^a	0.0000 ^h	2.236 ^{fghi}	39.44 ^{fghi}	248.7 ^{fghi}
S ₁₂ ×Ak×B ₂	26.00 ^{fgh}	5.767 ^{bcd^e}	34.50 ^{cde}	3.667 ^{ab}	38.17 ^{bc}	12.13 ^f	62.48 ^{hi}	0.233 ^{gh}	2.070 ^{hi}	1.705 ^f	0.0000 ^h	2.121 ^{hi}	37.28 ^{hi}	239.4 ^{hi}
S ₁₂ ×Ak×B ₃	28.50 ^{de}	5.650 ^{def}	33.83 ^{def}	1.167 ^{fgh}	35.00 ^{defg}	14.63 ^b	66.92 ^{cde}	0.325 ^{cde}	2.646 ^{cde}	2.195 ^b	0.0000 ^h	2.731 ^{cde}	48.80 ^{cde}	289.2 ^{cde}
S ₁₂ ×Ak×C	27.83 ^{def}	6.100 ^{bc}	41.33 ^a	0.166 ⁱ	41.50 ^a	13.33 ^{cd}	66.92 ^{cde}	0.325 ^{cde}	2.646 ^{cde}	1.940 ^{cd}	0.0000 ^h	2.730 ^{cde}	48.80 ^{cde}	289.2 ^{cde}
S ₁₆ ×Da×B ₁	19.00 ⁿ	4.933 ^h	20.50 ^m	3.333 ^{bc}	23.83 ^m	8.733 ^{kl}	63.20 ^{ghi}	0.248 ^{fgh}	2.163 ^{ghi}	1.038 ^{kl}	0.1542 ^{bc}	2.220 ^{ghi}	39.14 ^{ghi}	247.4 ^{ghi}
S ₁₆ ×Da×B ₂	24.00 ^{ijkl}	5.783 ^{bcd^e}	30.000 ^{ijk}	2.167 ^{de}	32.17 ^{hijk}	12.33 ^f	72.73 ^a	0.445 ^a	3.401 ^a	1.744 ^f	0.0000 ^h	3.531 ^a	63.91 ^a	354.5 ^a
S ₁₆ ×Da×B ₃	24.17 ^{hijk}	5.400 ^{efg}	31.50 ^{ghij}	0.666 ^{hi}	32.17 ^{hijk}	10.30 ^h	71.55 ^{ab}	0.420 ^{ab}	3.247 ^{ab}	1.346 ^h	0.0698 ^f	3.368 ^{ab}	60.83 ^{ab}	341.2 ^{ab}
S ₁₆ ×Da×C	26.17 ^{fg}	5.250 ^{fgh}	32.50 ^{efgh}	1.500 ^{efg}	33.83 ^{fghi}	9.833 ^{hi}	63.37 ^{fghi}	0.251 ^{fgh}	2.185 ^{fghi}	1.254 ^{hi}	0.0950 ^c	2.242 ^{fghi}	39.58 ^{fghi}	249.3 ^{fghi}
S ₁₆ ×Ak×B ₁	32.67 ^{ab}	6.783 ^a	34.17 ^{cde}	2.833 ^{cd}	37.00 ^{cde}	13.60 ^e	66.15 ^{cdefg}	0.309 ^{cdef}	2.546 ^{cdefg}	1.993 ^c	0.0000 ^h	2.625 ^{cdefg}	46.80 ^{cdefg}	280.6 ^{cdefg}
S ₁₆ ×Ak×B ₂	19.67 ⁿ	5.367 ^{efgh}	29.50 ^{jk}	0.500 ^{hi}	30.00 ^k	10.17 ^h	72.42 ^a	0.438 ^a	3.359 ^a	1.319 ^h	0.0770 ^{ef}	3.487 ^a	63.08 ^a	351.0 ^a
S ₁₆ ×Ak×B ₃	22.17 ^{lm}	4.983 ^{gh}	34.83 ^{cd}	0.0000 ⁱ	34.83 ^{efg}	8.833 ^{kl}	64.52 ^{efgh}	0.275 ^{efg}	2.334 ^{efgh}	1.058 ^{kl}	0.1487 ^c	2.401 ^{efgh}	42.57 ^{efgh}	262.2 ^{efgh}
S ₁₆ ×Ak×C	25.67 ^{ghi}	5.900 ^{bcd}	33.50 ^{defg}	0.0000 ⁱ	33.50 ^{ghi}	14.20 ^b	72.25 ^a	0.435 ^a	3.338 ^a	2.110 ^b	0.0000 ^h	3.464 ^a	62.65 ^a	349.1 ^a

Ak= Akbari var., Da=Daneshmandi Var., B₁= *Virgibacillus marismortui*, B₂= *Alkalibacillus haloalkaliphilus*, B₃=Mixed of two strains in equal proportion, C=Control
Means in each column with different letters are significant based on the LSD test at the 5% probability level

میانگین‌ها در هر ستون با حروف غیرمشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

تعداد برگ سالم، ریزشی و کل

میانگین بیش‌ترین تعداد برگ در یک دانه‌ال (۳۳/۹۶) در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر مشاهده شد (جدول ۵). با افزایش شوری، تعداد برگ سالم کاهش یافت (جدول ۵). رقم اکبری با میانگین ۳۴/۰۵ برگ سالم نسبت به رقم دانشمندی با میانگین ۲۹/۲۶، برتری داشت (جدول ۶). بیش‌ترین میانگین تعداد برگ سالم (۳۵/۲۹) در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر و رقم اکبری (شکل ۵) و کم‌ترین میانگین برگ ریزشی (۰/۸۳۳) نیز در رقم اکبری و شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر تعیین شد (جدول ۷). بیش‌ترین میانگین تعداد برگ سالم در تیمارهای مخلوط دو باکتری (۳۳/۰۶) و شاهد (۳۳/۱۹) بدست آمد و اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشتند؛ و کم‌ترین میانگین برگ ریزشی نیز در همین دو تیمار مشاهده شد (جدول ۸). تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس برمتر و مخلوط باکتری‌ها بیش‌ترین تعداد برگ سالم (۳۴/۰۰) و شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر با باکتری ویرجی-باسیلیوس ماریسمورتی کم‌ترین میانگین برگ سالم (۲۷/۳۳) را داشتند (جدول ۹). کم‌ترین تعداد برگ ریزشی (۰/۳۳۳) نیز با اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر و مخلوط باکتری‌ها مشاهده گردید (جدول ۹). در رقم اکبری و مخلوط باکتری‌ها (۳۵/۸۳) و شاهد (۳۷/۰۰) بیش‌ترین تعداد برگ سالم و کم‌ترین برگ ریزشی در رقم اکبری و مخلوط باکتری‌ها (۰/۷۷۷) و شاهد (۰/۳۸۸) مشاهده شد (جدول ۱۰). شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر، رقم اکبری و شاهد؛ و سپس شوری ۸ دسی‌زیمنس برمتر، رقم اکبری و مخلوط باکتری‌ها با اختلاف معنی‌دار به ترتیب بیش‌ترین میانگین تعداد برگ سالم را با ۴۱/۳ و ۳۸/۸ داشتند. دو تیمار شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر، رقم اکبری و مخلوط باکتری‌ها و شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر، رقم اکبری و شاهد فاقد برگ ریزشی بودند (جدول ۱۱).

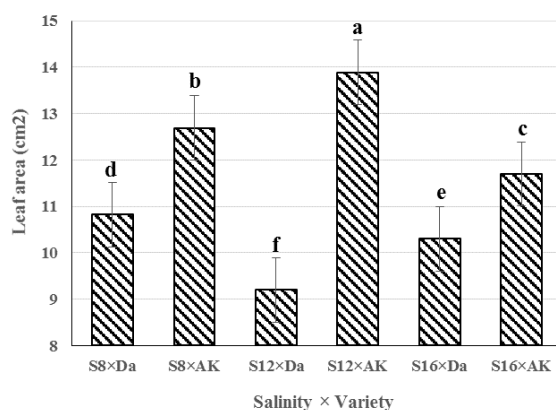
سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات سطوح شوری،

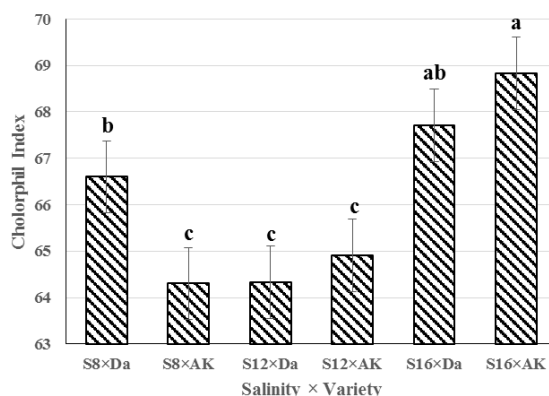
رقم و سویه‌های باکتریایی بر سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش شوری، سطح برگ کاهش یافت (جدول ۵). سطح برگ در رقم اکبری ۱۲/۷۶ سانتی-مترمربع و در رقم دانشمندی ۱۰/۱۰ سانتی-مترمربع دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۶). رقم اکبری در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر، بیش‌ترین (۱۳/۸۹) و در همان شوری، رقم دانشمندی کم‌ترین سطح برگ (۹/۲۰) را به خود اختصاص دادند (شکل ۶). سطح برگ تحت تأثیر باکتری در تیمار باکتریایی ویرجی-باسیلیوس ماریسمورتی حداکثر (۱۱/۶۳) بود (جدول ۸). تیمار شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر با باکتری ویرجی-باسیلیوس ماریسمورتی بیش‌ترین سطح برگ (۱۳/۴۵) سانتی-مترمربع و شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر با مخلوطی از دو سویه با ۹/۵۶ سانتی-مترمربع کم‌ترین سطح برگ را به خود اختصاص دادند (جدول ۱۰). باکتری ویرجی-باسیلیوس ماریسمورتی در رقم اکبری (۱۳/۴۱) حداکثر سطح برگ را داشت (جدول ۱۰). شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر، رقم اکبری و باکتری ویرجی-باسیلیوس ماریسمورتی با ۱۵/۴۷ سانتی-مترمربع حداکثر سطح برگ را نشان داد (جدول ۱۱).

شاخص کلروفیل

برخلاف سطح برگ، با افزایش شوری شاخص کلروفیل افزایش یافت؛ و حداکثر آن با مقدار ۶۸/۲۷ در تیمار شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر مشاهده شد (جدول ۵). اختلاف معنی‌داری بین دو رقم دانشمندی و اکبری در شاخص کلروفیل مشاهده نشد (جدول ۶). بیش‌ترین شاخص کلروفیل در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر در هر دو رقم اکبری و دانشمندی بدون اختلاف معنی‌دار بایکدیگر بدست آمد (شکل ۷). حداکثر شاخص کلروفیل در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر و باکتری آلکالی-باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس (۷۲/۵۷) بدست آمد (جدول ۹). رقم اکبری در تیمار شاهد (۶۸/۳۲) حداکثر شاخص کلروفیل را نشان داد (جدول ۱۰).



شکل ۶. اثر سطوح شوری (dS m^{-1}) و نوع رقم بر سطح برگ (cm^2)
Figure 6. Effect of salinity levels (dS m^{-1}) and variety type on leaf area (cm^2)



شکل ۷. اثر سطوح شوری (dS m^{-1}) و نوع رقم بر شاخص کلروفیل
Figure 7. Effect of salinity levels (dS m^{-1}) and cultivar type on chlorophyll index

فسفر، پتاسیم و کلسیم

ترین غلظت کلسیم ($1/60$ درصد) در تیمار باکتریایی ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی بدست آمد (جدول ۸). بررسی اثر متقابل شوری و باکتری نشان دهنده کارایی بیش تر باکتری آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس در شوری بالا (16 دسی زیمنس بر متر) در جذب فسفر و پتاسیم و باکتری ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی بر غلظت کلسیم بود (جدول ۹). تیمار مخلوط باکتری در رقم با کارایی جذب عناصر کمتر (دانشمندی) برای غلظت دو عنصر پرمصرف اولیه (پتاسیم و کلسیم) موفق تر عمل نمود، لیکن غلظت کلسیم در رقم اکبری و باکتری ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی حداکثر ($1/95$) بود (جدول ۱۰). بررسی اثرات متقابل سه گانه شوری، رقم و باکتری (جدول ۱۱)

بیش ترین غلظت فسفر ($0/353$ درصد) و پتاسیم ($2/82$ درصد) برگ در شوری 16 دسی زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۵)، لیکن غلظت کلسیم برگ با افزایش شوری، کاهش یافت. رقم اکبری با بیش از $0/5$ درصد اختلاف معنی دار در غلظت کلسیم برگ نسبت به رقم دانشمندی برتر بود (جدول ۶). بیش ترین غلظت فسفر ($0/364$ درصد) و پتاسیم ($2/89$ درصد) در شوری 16 دسی زیمنس بر متر و رقم اکبری بدست آمد و برای کلسیم در شوری 12 دسی زیمنس بر متر و رقم اکبری ($2/05$ درصد) مشاهده شد (جدول ۷). تیمار مخلوط باکتری ها موجب افزایش غلظت فسفر و پتاسیم گردید؛ لیکن بیش -

نشان داد بیش‌ترین غلظت فسفر (۰/۴۳۸ درصد) و پتاسیم (۳/۳۵ درصد) در تیمار شوری ۱۶ × رقم اکبری × باکتری *آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس* و برای کلسیم (۲/۳۵ درصد) در تیمار شوری ۱۲ × اکبری × باکتری ویرجی *باسیلیوس ماریسمورتی* بدست آمد.

سدیم و کلر

با افزایش شوری، روند غلظت سدیم و کلر در برگ افزایشی بود (جدول ۵). غلظت سدیم و کلر برگ در رقم اکبری نسبت به دانشمندی به ترتیب ۰/۰۶۹ و ۰/۰۲۸ درصد کمتر بود (جدول ۶). باکتری *آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس* موجب کم‌ترین غلظت یون‌های سدیم (۰/۰۴۵ درصد) و کلر (۲/۳۹ درصد) گردید (جدول ۸). باکتری *آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس* در شوری ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر در کاهش غلظت سدیم برتری نشان داد؛ لیکن، باکتری ویرجی *باسیلیوس ماریسمورتی* در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر از توان بیش‌تری در کاهش غلظت یون کلر برخوردار بود (جدول ۹). حداقل غلظت سدیم در تیمار رقم اکبری و باکتری ویرجی *باسیلیوس ماریسمورتی* (۰/۰۰۸ درصد) و برای کلر (۲/۳۱ درصد) در تیمار رقم دانشمندی و *آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس* مشاهده گردید (جدول ۱۰).

روی و بور

بیش‌ترین غلظت روی و بور برگ در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر مشاهده گردید (جدول ۵). اختلاف معنی‌داری بین دو رقم اکبری و دانشمندی در غلظت عناصر کم-مصرف روی و بور مشاهده نشد (جدول ۶). حداکثر غلظت روی (۵۳/۷۸ میلی‌گرم برکیلوگرم) و بور (۳۱۰/۷ میلی‌گرم برکیلوگرم) در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر و رقم اکبری و حداقل آن (بترتیب ۴۲/۰ و ۲۵۹/۸ میلی‌گرم برکیلوگرم برای روی و بور) در همین رقم و شوری ۸ دسی‌زیمنس برمتر مشاهده گردید (جدول ۷). غلظت عناصر روی (۵۰/۲۵ میلی‌گرم برکیلوگرم) و بور (۲۹۵/۴ میلی‌گرم

برکیلوگرم) تحت تأثیر تیمار مخلوط دو باکتری ویرجی *باسیلیوس ماریسمورتی* و *آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس* حداکثر بود (جدول ۸). حداکثر غلظت روی (۶۳/۴۹ میلی‌گرم برکیلوگرم) و بور (۳۵۲/۸ میلی‌گرم برکیلوگرم) برگ در تیمار شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر و باکتری *آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس* مشاهده شد (جدول ۹). غلظت دو عنصر روی (۵/۴۰ میلی‌گرم برکیلوگرم) و بور (۳۱۳/۴ میلی‌گرم برکیلوگرم) در تیمار مخلوط باکتری و رقم دانشمندی حداکثر و در همین رقم و تیمار باکتری *آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس* (۴۰/۸۵ و ۲۵۴/۸ میلی‌گرم برکیلوگرم) حداقل بود (جدول ۱۰). بیش‌ترین غلظت روی (۶۳/۹۱ میلی‌گرم برکیلوگرم) در تیمار شوری ۱۶ × رقم دانشمندی × باکتری *آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس* و برای بور (۳۵۱/۰ میلی‌گرم برکیلوگرم) در تیمار شوری ۱۶ × رقم اکبری × باکتری *آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس* مشاهده گردید (جدول ۱۱).

بحث

این مطالعه نشان داد شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر در کنار تلقیح باکتری‌ها برای صفات طول و قطر ساقه، سطح برگ، تعداد برگ سالم، ریزشی و کل، غلظت کلسیم و کلر برگ و شوری ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر همراه با تلقیح باکتری‌ها برای سایر عناصر و شاخص کلروفیل به عنوان نقطه تغییر عمل نمود؛ به‌طوری‌که با افزایش شوری تا سطوح ذکر شده، اثرات منفی بر شاخص‌های رشدی و غلظت عناصر غذایی در دانهال‌های پسته مشاهده نشد. شوری ۸ دسی‌زیمنس برمتر و $SAR < 15$ تحت تأثیر باکتری‌های شدید دوست شور قلیا پسند مورد بررسی به عنوان نقطه تغییر عمل کرد؛ به‌طوری‌که با افزایش شوری به بیش از ۸ دسی‌زیمنس برمتر و نسبت جذبی سدیم به بیش از ۱۵، استفاده از سویه‌های مختلف، غلظت و فراهمی عناصر در خاک را برای نهال‌های بادام بهبود بخشید و کارایی بیش‌تری نشان داد (Eskandari Torbaghan and

(Eskandari Torbaghan and Khalili Torghabe, 2023). بررسی تمامی صفات رویشی دانه‌های پسته تحت تاثیر رقم نشان داد که رقم اکبری در همگی این صفات به استثناء شاخص کلروفیل برتری داشت. مطالعات قبلی نیز نشان داده است که رقم اکبری رقمی مقاوم به شوری است (Mohammadi Mohammad Abadi, 1998; Moein rad,) (2000; Sherafati and Hokmabadi, 2015). یکی از راه‌های پی بردن به میزان تحمل ارقام پسته نسبت به تنش شوری، بررسی خصوصیات رشدی، تغییرات فلورسانس کلروفیل و وضعیت عناصر غذایی در برگ و ریشه‌های آنها می‌باشد (Momenpourm et al., 2016). در بررسی شوری کلریدسیدی بر برخی خصوصیات رشدی و مورفولوژی ریشه سه رقم پسته (Yazdi Sajadieh et al., 2020) با افزایش شوری از ۱ به ۵ دسی‌سیمنز بر متر طول ریشه ۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت که این میزان کاهش در رقم اکبری، آقای و کله قوچی به ترتیب ۸، ۵ و ۸ درصد بود. با افزایش شوری از ۱ به ۱۰ دسی‌سیمنز بر متر، طول ریشه ۳۴ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد که این میزان در رقم اکبری، آقای و کله قوچی به ترتیب ۳۸، ۳۱ و ۳۵ درصد شد. در حالی که با افزایش شوری از ۱ به ۱۵ دسی‌سیمنز بر متر، طول ریشه ۷۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت که این میزان در رقم اکبری، آقای و کله قوچی به ترتیب ۸۰، ۷۶ و ۷۹ درصد بود (Yazdi Sajadieh et al., 2020)، هرچند که نتایج فوق بر اساس آزمایشات گلخانه‌ای ارائه گردید. گزارش شده است که شوری موجب تخریب ساختار کلروپلاست‌ها، کاهش میزان کلروفیل و عدم پایداری ترکیب‌های رنگیزه پروتئین می‌شود (Heiydari Sharif Abad, 2001). احتمالاً رقم دانشمندی به جهت حساسیت بیش‌تر نسبت به تنش شوری و کاهش سطح برگ در جهت جبران و جلوگیری از کاهش فتوسنتز اقدام به افزایش دانسیته کلروفیل در واحد سطح نمود. نتایج مطالعات (Momenpourm et al., 2016) نیز نشان داد که محتوی کلروفیل a، b و کل در

(Khalili Torghabe, 2023). در این مطالعه نیز شوری‌های بالاتر (۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) برای گیاه مقاوم‌تر به شوری (پسته) به عنوان نقطه تغییر عمل نمود و روندی مشابه نتایج بادام (Eskandari Torbaghan and Khalili Torghabe, 2023) داشت. افزایش شوری موجب کاهش اکثر پارامترهای رشد رویشی در دانه‌های پسته از جمله طول ساقه، تعداد برگ سالم و سطح برگ گردید؛ لیکن، شاخص کلروفیل افزایش یافت. افزایش شاخص کلروفیل (عدد SPAD) در شرایط تنش احتمالاً به علت کاهش سطح برگ و تجمع کلروفیل در سطح کمتر برگ‌ها می‌باشد (Machado and Paulsen, 2001). محققان (Chapman and Barreto, 1997) اظهار داشته‌اند که عدد کلروفیل متر تحت تاثیر ضخامت برگ گیاه تغییر می‌کند، همچنین ضخامت برگ ممکن است با توجه به نوع محصول، مرحله رشد، رقم و شرایط محیطی تغییر کند. از طرفی دیگر عنوان شده که تنش شوری موجب کاهش در رشد طولی ریشه، سطح برگ و افزایش در ضخامت برگ می‌گردد که سبب ایجاد بی‌نظمی‌های آناتومیک در گیاه می‌شود (Zekri and Parsons, 1990). با افزایش شوری میانگین تعداد برگ ریزشی در هر دانه‌ال (از ۱/۷۵ به ۱/۳۷) کاهش یافت. نتایج برخی مطالعات نشان دادند که میزان هورمون اکسین و جیبرلین تحت‌تأثیر تنش شوری به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Kargar Khorrami et al., 2019). مشخص شده است که برگ در پاسخ به افزایش نسبت اتیلن به اکسین، آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره را تولید می‌کند (Lahouti et al., 1991). اتیلن موجب افزایش ریزش در برگ‌ها می‌شود، اتیلن این کار را با کمک هورمون اکسین یا سایر هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد، که بر حساسیت اتیلن بافت‌ها تأثیر می‌گذارد، انجام می‌دهد (Fahimi, 2015). از سوی دیگر این کاهش اتیلن را می‌توان به توان تولید آنزیم ACC دی‌آمیناز توسط باکتری‌ها و نقش آن در کاهش اتیلن تنشی مربوط دانست (Khosravi, 2016; Eskandari Torbaghan, 2017;)

باکتری R_8 در رقم بادامی قادر به افزایش جذب عناصر پتاسیم و فسفر به میزان ۳۵٪ (برگ)، ۴۳٪ (ریشه)؛ ۶۱٪ (برگ) و ۵۳٪ (ریشه) شد. نتایج این تحقیق نشان داد کاربرد باکتری‌های محرک رشد به علت ترشح ترکیبات موثر در رشد گیاه قادر به افزایش شاخص‌های رشدی، و فیزیولوژیکی حتی در گیاهانی که در شرایط تنش شوری قرار دارند می‌شود (Zeinali bafghi et al., 2020).

نتایج نشان داد با افزایش شوری، غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، روی و بور برگ پسته افزایش یافت که نشان‌دهنده اثر مثبت شوری در سطوح مورد بررسی برای پسته با وجود فراهمی عناصر غذایی بود که مطابق با نتایج سایر محققان (Pessarakli, 1995; Eskandari Torbaghan, 2006; Eskandari Torbaghan et al., 2007; Khalili Torghabe et al., 2022) بود. رقم اکبری نسبت به دانشمندی در جذب عناصر خصوصاً کلسیم و جذب کمتر سدیم برتری نشان داد. محققین عنوان نمودند معیارهای قدرت جذب کلسیم بیش‌تر و نسبت پتاسیم/سدیم بالاتر در انتخاب ژنوتیپ متحمل به شوری از اهمیت بیش‌تری برای پسته برخوردار بود (Sherafati et al., 2022). تأثیر برخی از پایه‌های پسته بر جذب عناصر غذایی در دو رقم پسته اکبری و برگ سیاه نشان داد پایه اکبری دارای بالاترین پتانسیل جذب عناصر غذایی بود و به عنوان بهترین پایه در شرایط شور مناطق پسته‌کاری استان خراسان رضوی معرفی گردید (Sherafati and Hokmabadi, 2015). توان جذب بالای عناصر در رقم اکبری و در سطح بالاتر شوری (۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) در این مطالعه نیز تأیید گردید. بیش‌ترین غلظت کلسیم و کم‌ترین غلظت سدیم تحت تأثیر باکتری ویرجی‌باسیلیوس ماریسمورتی و کم‌ترین غلظت کلر و بیش‌ترین غلظت فسفر، پتاسیم، روی و بور تحت تأثیر تلقیح با باکتری *آلکالی‌باسیلیوس-هالوآلکالوفیلوس* بدست آمد. مقایسه اثرات باکتری در تقابل با شوری و رقم برای یون‌های سدیم و کلر متفاوت بود که این تفاوت به سه علت ۱) نقش متفاوت سدیم

بین ۱۴ رقم پسته مورد مطالعه با یکدیگر، اختلاف معنی‌داری را نشان داد. رقم اکبری در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در تمامی صفات به‌استثنا شاخص کلروفیل برتری داشت. در حقیقت شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نشان‌دهنده آستانه کاهش عملکرد دانه‌های پسته در این مطالعه بود، بدین معنی که تا شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، شوری اثر منفی چندانی بر رشد و عملکرد دانه‌های پسته نشان نداد که با مطالعات قبلی در زمینه آستانه کاهش عملکرد در پسته مطابقت داشت (Moein Rad, 2006; Hokmabadi, 2011). بررسی اثر سویه‌های باکتری بر صفات مختلف رویشی و بیوشیمیایی دانه‌های پسته نشان داد که سویه ویرجی‌باسیلیوس ماریسمورتی نسبت به *آلکالی‌باسیلیوس-هالوآلکالوفیلوس* برتری داشت و به ترتیب موجب افزایش طول و قطر ساقه و سطح برگ به میزان ۶، ۵ و ۱۷٪ درصد نسبت به شاهد گردید. جنس ویرجی‌باسیلیوس با تولید پلی‌ساکاریدهای خارجی قادر به زیست فلکوله کردن برخی عناصر و یون‌ها از جمله سدیم می‌باشد (Sanchez-Porro et al., 2014) که با نتایج سدیم این مطالعه همخوانی داشت. بررسی تأثیر باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاهی *سودوموناس پوتیدا* سویه R_8 و *سودوموناس فلئورسنس* سویه R_{153} بر ارقام پسته شامل بادامی زرنند، اکبری و احمدآقایی در یک خاک شور (Zeinali bafghi et al., 2020) نشان داد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد (ایزوله‌های R_8 و R_{153}) موجب افزایش مقدار شاخص‌های رشدی از جمله وزن تر و خشک ساقه و ریشه همچنین، سطح و تعداد برگ شد. باکتری R_8 موجب افزایش وزن خشک ریشه و وزن تر اندام هوایی به ترتیب به میزان ۷۴ و ۵۴٪ نسبت به شاهد در رقم بادامی شد. سطح و تعداد برگ به میزان ۸۱٪ و ۳۰٪ در تیمار استفاده از باکتری محرک رشد R_8 در رقم بادامی افزایش پیدا کردند. محتوای نسبی آب برگ (RWC)، میزان پرولین، کلروفیل کل، a و b و کاروتنوئید نیز به وسیله کاربرد باکتری‌های محرک رشد به خصوص *سودوموناس پوتیدا* R_8 بهبود یافت. تیمار

Nutrient Uptake by Pistachio Seedlings under Salinity Stress. 15th Iranian Soil Science Congress. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Chapman, S. C. and H. J. Barreto. 1997. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. Journal of agronomy. 89:557-562.

Chun, J., Lee, J.-H., Jung, Y., Kim, M., Kim, S., Kim, B. K., Lim, and Y. W. EzTaxon. 2007. A web-based tool for the identification of prokaryotes based on 16S ribosomal RNA gene sequences. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2007; 57: 2259-2261.

Eskandari Torbaghan, M. and G.H. Khalili Torghabe. 2023. Evaluation of three groups of plant growth-promoting extremophilic rhizospheric bacteria on induction of salinity and alkalinity tolerance in GN15 almond (*Prunus amygdalus* L.) rootstocks. Plant Process and Function. 12 (55): 1-14. URL: <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1838-fa.html>

Eskandari Torbaghan, M., Khalili Torghabe, G., Sherafati, A. and M. Eskandari Torbaghan. 2022. Effect of native halophilic, alkaliphilic and haloalkaliphilic rhizospheric bacteria of almond (*Prunus amygdalus* L.) on the nutrient availability in saline and sodic soils. Applied Soil Research. 12(1(1)): 38-55.

Eskandari Torbaghan, M. 2006. Effect of Cl/SO₄ ratios in water and nitrogen fertilizer on soil properties, yield and yield parameters of barley. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad.

Eskandari Torbaghan, M. 2017. Isolation and efficiency of haloalkaliphilic bacteria on salinity stress reduction in wheat. Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad.

Eskandari Torbaghan, M., Astaraci, A.R., Eskandari Torbaghan, M. and S. Sadoughi. 2007. The effect of anionic ratios of chlorine to sulfate of irrigation water and nitrogen fertilizer on yield and yield components of barley plant. Ninth National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction. https://www.civilica.com/Paper-ABYARI09-ABYARI09_301.html

Eskandari Torbaghan, M., Lakzian, A., Astaraci, A. R., Fotovat, A., and H. Besharati. 2017. Quantitative comparison of ammonia and 3-indoleacetic acid production in halophilic, alkalophilic and haloalkaliphilic bacterial isolates in soil. Quarterly Journal of Experimental Animal Biology. 6(1): 41-58. DOR: 20.1001.1.23222387.1396.6.1.5.7.

Fahimi, H. 2015. Plant growth regulators. Tehran University Press. 211pp.

Ghare Yazdi, B. 2001. Genetic engineering of agricultural plants with the aim of increasing resistance to salt stress. Workshop on salinity and

(سمی) و کلر (ضروری) در گیاه، ۲) خصوصیات رشدی متفاوت دو باکتری و ۳) ماهیت تحمل به شوری مختلف دو رقم اکبری و دانشمندی در جذب عناصر مربوط بود.

نتیجه گیری

به طور کلی سویه باکتری ویرجی باسیلیوس ماریسمورتی در شوری های ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر در رقم اکبری به عنوان برترین تیمار افزایش دهنده شاخص های رشدی دانهال های پسته شناخته شد. لیکن، بیشترین شاخص کلروفیل، غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، روی و بور تحت تاثیر سویه آلکالی باسیلیوس هالوآلکالوفیلوس در بالاترین سطح شوری (۱۶ دسی زیمنس بر متر) برای رقم اکبری بدست آمد. در مجموع، استفاده از باکتری های فرین دوست در شوری های بالا قابل توصیه بوده و نیز باتوجه به شیمی متفاوت عناصر مورد بررسی و ویژگی های رشدی مختلف این دو باکتری مورد استفاده، به کارگیری باکتری ویرجی-باسیلیوس ماریسمورتی در شرایط شوری سدیمی توصیه می گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح پژوهشی مصوب به شماره ۹۹۰۶۱۱-۱۰۳۳-۱۳۳۰-۴۳-۳ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی مستخرج شده است؛ و نگارندگان بدینوسیله از کارکنان ایستگاه تحقیقات پسته فیض آباد، آزمایشگاه فیزیولوژی؛ و آزمایشگاه خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی برای همکاری صمیمانه ای که در اجرای این پژوهش داشتند، سپاسگزاری می نمایند.

منابع

Anonymous, 2022. Statistical Year Book of Agricultural Crops. Ministry of Jiha-e-Keshavarzi, Tehran, Iran (in Persian).

Azarmi Atajan, F. 2017. Efect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Growth and

methods. SSSA and ASA, Madison, WI.

Khalili Torghabe G.H., Tehranifar A., Abedi B., and M. Eskandari Torbaghan. 2022. Improvement of some growth and biochemical properties of almonds by the use of rhizospheric halophile, alkaliphile and haloalkaliphile bacteria in Khorasan Razavi almonds orchards. *Pomology Research*.6 (2):62-80. 10.30466/RIP.2021.53296.1157

Khavazi, K., Asgharzadeh, A., Asadi Rahmani, H., Rejali, F., Fallah Nosratabadi, A., Besharati, Khosravi, H. and M. Afshari. 2013. Identification, Management and using soil biological potential. Soil and Water Research Institute. Sana Press.125 pp.

Khosravi, H. 2016. Application of Beneficial Soil Bacteria in Crop Production Management Under Saline and Drought Stress via Decreasing Ethylene. *Land Management Journal*. 4(1):33-43. <https://doi.org/10.22092/lmj.2016.115843>

Lahouti, M., Zare Hasan Abadi, M. and R. Ahmadian. 2011. Biochemistry and physiology of plant hormones. Third edition. Ferdowsi University of Mashhad.359 pp.

Leach, J.E., White, F.F., Rhoads, M.L. and H. Leung. 1990. A repetitive DNA sequence differentiates *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* from other pathovars of *Xanthomonas campestris*. *Molecular plant and Microbe Interaction*. 3: 238-246.

Machado, S. and G. M. Paulsen. 2001. Combined effects of drought and high temperature on water relations of wheat and sorghum. *Plant and Soil*. 223:179-187.

Manteghi, N. 1968. Full Description of Decomposition Methods on Soil and Water Samples. Soil and Water Institute. Technical Issue. 168: 98-116.

Moein Rad, H. 2000. Investigation of different varieties of pistachio to salinity stress. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran.

Mohammadi Mohammad Abadi, A. 1998. The effect of soil and water salinity on pistachio rootstocks. Report No.13. Pistachio Research Institute, Rafsanjan, Iran.

Moin Rad, H. 2006. Studying the adaptability of cultivated and wild pistachio seedlings to different amounts of irrigation water salinity according to growth indicators. *Desert*. 11(1): 74-88.

Momenpourn, A., Imani, A., Rasooli, M., Mohammadiyan, G. and L. Dahaghin. 2016. Effect of salinity stress on growth characteristics, chlorophyll fluorescence and concentrations of nutrition elements in fourteen pistachio (*Pistacia vera*) cultivars. *Journal of Plant*

plant growth (mechanisms, challenges and strategies). Ferdowsi University of Mashhad.

Glickmann, E., and Y. Dessaux. 1995. A critical examination of the specificity of the salkowski reagent for indolic compound produced by phytopathogenic bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*.61:793-796.

Gutierrez, C.K., Matsui, G.Y., Lincoln, D.E. and C.R. Lovell. 2009. Production of the phytohormone indole-3-acetic acid by the estuarine species of the genus *Vibrio*. *Applied and Environmental Microbiology*. 75:2253-2258

Heiydari Sharif Abad, H. 2001. Plant and salinity. Research institute of forests and rangelands Press. 71 pp.

Heonsang, J., Jongtaek, P., and K. Hyunook. 2013. Determination of NH_4^+ in Environmental Water with Interfering Substances Using the Modified Nessler Method. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry*. 2013 : 359217: 1-9. <https://doi.org/10.1155/2013/359217>.

Hojjat Noughi, F., Akhgar, A.R., Esfandiarpour, I., and K. Khavazi. 2013. Evaluation of Population and Properties of PGPB of Endorhizosphere, Rhizosphere and Nonrhizosphere in Pistachio Seedlings. *Water and Soil Science*. 23(4): 215-234.

Hokmabadi, H. 2011. Diagnostic of Environmental and Non environmental Damaging Factors Incoming to Pistachio Product. Tehran. Iran: Education and Agricultural Promotion Press.

Honma, M., and T. Shimomura. 1978. Metabolism of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Agricultural and Biological Chemistry*, 42, 1825-1831.

Horikoshi, K. 1999. Alkaliphiles: Some Applications of Their Products for Biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 63(4): 735-750.

Horikoshi, K. 2006. Alkaliphiles-genetic properties and applications of enzymes. Japan. Springer.

Jones, B., Brian, E., Gravin, J. and V. Stolberglaan. 1992. European patent application. 1992; Bulletin 93/18. Publication number: EP 0 540 127A1. Rank Xerox (UK) Business Services (3.10/3.6/3.3. 1).

Kargar Khorrami, S., Jamei, R., Darvishzadeh, R. and S. Hosseini Sarghin. 2019. Effect of salinity stress on hormones of auxin, gibberellin, physiological, morphological and anatomical characteristics of *Hibiscus esculentus* L. *Iranian Journal of Plant Biology*. 11(4(42)):67-82. 10.22108/IJPB.2019.114287.1128

Keren, R. 1996. Boron. p. 603-626. In D. L. Sparks et al. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical

http://pistachio.vru.ac.ir/article_62725_7bec5dc805115bd6d27aff9518c3f0ac.pdf

Sherafati, A. 2013. Pistachio cultivation in saline soils. Education and Agricultural Promotion Press. 112 pp.

Sherafati, A.H., Eskandari Torbaghan, M. and H. Hasheminasab. 2022. The ability of new pistachio (*Pistacia vera* L.) genotypes to absorb nutrients from soil under saline conditions. Journal of Research in Horticultural Science. 1(1):135-152. 10.22092/RHSJ.2022.128462

Sherafati, A.H., Eskandari Torbaghan, M. and M. Heidari Salehabadi. 2023. The effect of pistachio waste compost and mycorrhizal fungi on vegetative growth and nutritional status of pistachio seedlings in a saline-sodic soil. Journal of Soil and Plant Interactions. 13(4):41-70. DOI: 10.47176/jspi.13.4.20621

Singh S. P., Purohit M. K., Raval V.H., Pandey S., Akbari V. G. and C.M. Rawal. 2010. Capturing the potential of haloalkaliphilic bacteria from the saline habitats through culture dependent and metagenomic approaches. Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. A. Mendez-Vilas (Ed.), p:81-87.

Soto-Padilla M. Y., Valenzuela-Encinas C., Dendooven L., Marsch R., Gortáres Moroyoqui P. and M. Estrada-Alvarado. 2013. Isolation and phylogenetic identification of soil haloalkaliphilic strains in the former Texcoco lake. International Journal of Environmental Health Research. 24(1):82-90. <http://dx.doi.org/10.1080/09603123.2013.800957>.

Venkateswarlu B, and A.K. Shanker. 2009. Climate Change and Agriculture, Adaptation and Mitigation Strategies. Indian Journal of Agronomy. 54:226-230.

Yazdi Sajadieh, O., Panahpour, E., Nadian, H. and A. Gholami. 2020. The Effect of Salinity on Some Growth Parameter and Root Morphology of Three Pistachio Cultivars. Horticultural Plants Nutrition. 3(2(6)):17-28. 0.22070/HPN.2020.5019.1063

Zeinali bafghi, M., Gholamnezhad, J., Esmailzadeh-Hosseini, A., Shirmardi, M. and A. Jafari. 2020. Influence of growth promoting bacteria on growth and physiological characters of pistachio in saline soils. Horticultural Plants Nutrition. 7(2(2(4))):107-129. 10.22070/hpn.2020.4548.1030

Zekri, M. and L. R. Parsons. 1990. Response of split-root sour orange seedlings to NaCl and polyethylene glycol stresses. Journal of Experimental Botany. 41: 35-40.

Production. 23(2):91-121. 20.1001.1.23222050.1395.23.2.5.1

Penrose, D.M. and B.R. Glick. 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. Physiologia plantarum. 118:10-15.

Pessarakli, M. 1995. Handbook of plant and crop physiology. 679-826.

Rayan, J.R., Estefan G., and A. Rashid. 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. (2nd edition). ICARDA. Syria. <https://books.google.com/books?id=uYnZ2623GQ8C>

Richards, L. A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture, 160, Handbook 60. US Department of Agriculture, Washington DC.

Sahay H., Mahfooz S., Singh A. K., Singh S., Kaushik R., Saxena A.K. and D.K. Arora. 2012. Exploration and characterization of agriculturally and industrially important haloalkaliphilic bacteria from environmental samples of hypersaline Sambhar lake, India. World Journal Microbiol Biotechnology. 28:3207-3217.

Sanchez-Porro, C., R. de la Haba, R. and A. Ventosa. 2014. The Genus *Virgibacillus*. E. Rosenberg et al. (eds.), the Prokaryotes – Firmicutes and Tenericutes, DOI 10.1007/978-3-642-30120-9_353, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Sarcheshmehpour, M., Besharati, H. and G.R. Savaghebi. 2015. Increasing the efficiency of rock phosphate by some indigenous microorganisms of pistachio orchards to improve growth and nutrition of pistachio seedlings under salt stress. Iranian Journal of Soil Research. 29(3(3)):371-381. 20.1001.1.22287124.1394.29.3.11.3

Sarcheshmehpour, M., Savaghebi, G.R., Saleh Rastin, N., Alikhani, H. and A. Pourbabaei. 2010. Isolation, screening, identification, and salinity and drought stress tolerance of selected plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) of pistachio (*Pistacia vera*) trees. Iranian Journal of Soil and Water. 40(2):177-190. 20.1001.1.2008479.1388.40.2.10.4

Sherafati, A. H., Hoseiniifard, J. and P. Keshavarz. 2016. Effects of foliar application of calcium compounds on formation and development of pistachio (*Pistacia vera* L.) Nuts. Seed and Plant Production Journal. 32(2):193-208.

Sherafati, A., Hokmabadi, H., 2015. Effect of some pistachio rootstocks on nutrients element uptake of two pistachio cultivars (Akbari and Bargsiyah). Pistachio Science and Technology. 1(1): 32-43.

Effect of foliar spraying of Fe, Zn and Humic acid on some qualitative and quantitative traits of the apple (*Malus domestica* Borkh cv. Golden Delicious)

Javad Jafarzadeh¹, Mousa Rasouli^{2*}, Ismail Bagleri³

1- Graduated from Master's degree in plant production engineering, horticultural product production, Faculty of Agriculture, Malayer University, Iran. (jafarzadeh_javad@yahoo.com)

2- Corresponding Author, Associate Professor of Horticultural Sciences Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. (m.rasouli@eng.ikiu.ac.ir)

3- Graduated from Master's Degree in Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Iran. (Baglari@yahoo.com)

Received Date: 11/05/2022

Accepted Date: 26/10/2022

Abstract

Introduction: Apple (*Malus domestica*) from the Rosaceae family, is the fourth most important fruit in the world and the most important fruit in temperate regions after citrus fruits, grapes and bananas (Janik et al., 2019). In high soil pH conditions, most micronutrient elements such as iron and zinc are deficient in apple trees. Foliar feeding is an effective way to compensate for the lack of micronutrients and increase their levels. Today, the widespread use of chemical fertilizers has caused an increase in concern about human health, which can be reduced to some extent by replacing organic fertilizers. Improving the yield and quality of various fruit trees (Crespan et al, 2020). The purpose of this research is to spray fertilizers containing iron, zinc and humic acid to achieve a suitable fertilizer combination to increase the yield and fruit quality of 'Golden Delicious' apple in response to the treatment of different concentrations of iron chelate, zinc sulfate and humic acid.

Material and methods: In order to study the effect of three different concentrations of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on some quantitative and qualitative traits of 13-year-old 'Golden Delicious' apple trees grafted on seedling rootstock, an experiment was carried out in the form of a completely randomized design with 9 treatment and three repetitions were performed. The treatments included foliar spraying with iron chelate, zinc sulfate and humic acid each at three levels (zero, 1000 and 2000 mg/L). Foliar spraying consisted of one stage before and four stages after flowering, the round of foliar spraying was done every two weeks. The first foliar spraying stage is on May 10 before flowering, the second foliar spraying stage is on May 25 after flowering and fruit formation, the third foliar spraying stage is on June 10 when the fruits are set, the fourth foliar spraying stage is on June 25 when the fruits were the size of walnuts, and finally, the fifth stage of foliar spraying was done on July 10, 2014, when the fruits were green and unripe. After the foliar application was completed, 21 healthy trees were selected for the experiment. The measured factors include length and diameter of the fruit, fruit density, dry weight of the fruit, total weight of the fruit, and measurement of the branch length of the current year, soluble solids, titratable acidity, pH, some nutritional elements in leaf and fruit. Data were analyzed using SAS statistical software version 1.9, and the comparison of averages was done using Duncan's multi-range test, and graphs were drawn using Excel version (2019) software.

Results and discussion: The effect of nutritional treatments on some quantitative and qualitative traits: The results indicated the significance effect of nutritional treatments observed on some quantitative traits such as fruit length (Table 1. Figure 1), the length of the branch of the current year (Table 1. Figure 3), fruit yield (Table 2, Figure 4), the density of fruits (Table 2. Figure 5). Also, the results indicated the significant effect of nutritional treatments on dry weight of fruits (Table 2, Figure 6), amount of iron element in leaf and fruit (Table 5, Figure 10; Table 6, Figure 13), the zinc element in the fruit is at the (Table 6. Figure 14). But these results, according to the results obtained, showed the opposite result, that is, it showed that the effect of nutritional treatments was not significant on some traits such as soluble total acidity (Table 4. Figure 8) and amount of potassium of fruit (Table 6. Figure 12).

Conclusions: The results obtained from this experiment, among the three fertilizer treatments used, the iron chelate fertilizer treatment with a concentration of 2000 mg/l had the greatest effect on some quantitative and qualitative characteristics of the leaves and fruits of the 'Golden Delicious' apple cultivar. This level of fertilizer treatment (2000 mg/L of iron) increased fruit yield, dry weight of fruit, iron element concentration in leaves and fruit. In general, the results of this research showed that in calcareous soils, iron and zinc foliar application can lead to the improvement of quantitative and qualitative characteristics of the 'Golden Delicious' apple cultivar. Therefore, this level of fertilizer treatment is recommended to increase quantity and quality in apple orchards.

Keywords: Apple (*Malus domestica* L.), 'Golden Delicious' cultivar, Foliar spraying, Iron, Zinc, Humic acid.

بررسی تاثیر محلول پاشی بر گی آهن، روی و اسید هیومیک بر روی برخی صفات کمی و کیفی سیب رقم گلدن دلشز در شرایط باغ

جواد جعفرزاده^۱، موسی رسولی^{۲*}، اسماعیل بگلری^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی تولیدات گیاهی گرایش تولید محصولات باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ایران
(jafarzadeh_javad@yahoo.com)

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
(m.rasouli@eng.ikiu.ac.ir)

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران
(Beglarie@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۱

چکیده

مقدمه: سیب (*Malus domestica* Borkh.) متعلق به جنس سیب و تیره گلسرخیان می باشد. معمولاً درختان سیب در شرایط pH بالای خاک دچار کمبود عناصر ریز مغذی از قبیل آهن و روی می شوند. محلول پاشی برخی عناصر راه موثری برای جبران کمبود عناصر ریز مغذی و افزایش سطح آنها در گیاه است. در این پژوهش اثر سه غلظت مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک (صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر) روی برخی شاخص های کمی و کیفی سیب رقم گلدن دلشز بررسی شد. این پژوهش در یک باغ تجاری روی درختان ۱۳ ساله پیوند شده روی پایه های بذری اجرا گردید. تحقیق حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۹ تیمار و ۳ تکرار انجام گرفت. محلول پاشی در پنج نوبت شامل یک مرحله قبل و چهار مرحله بعد از گلدهی انجام شد. صفاتی از قبیل طول و قطر میوه، طول شاخه سال جاری، عملکرد میوه، چگالی میوه، وزن خشک میوه، مواد جامد محلول، اسیدیته کل، کربوهیدرات های محلول، غلظت برخی عناصر موجود در برگ و میوه اندازه گیری شد.

نتایج و بحث: براساس نتایج بدست آمده برخی تیمارهای اعمال شده به طور معنی داری موجب افزایش طول میوه، طول شاخه سال جاری، عملکرد میوه، چگالی میوه، وزن خشک میوه و غلظت عناصر آهن و روی در برگ و میوه نسبت به شاهد گردید. همچنین صفاتی مانند اسیدیته کل و غلظت عنصر پتاسیم در برگ و میوه سیب نسبت به شاهد تفاوت معنی داری نشان ندادند. **نتیجه گیری:** بهترین تیمار کودی ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر آهن می باشد که بیشترین تاثیر را در اکثر صفات ارزیابی شده برگ و میوه داشت. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که در خاکهای آهکی، محلول پاشی آهن و روی می تواند منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی سیب رقم گلدن دلشز شود.

کلمات کلیدی: سیب (*Malus domestica* Borkh.) رقم گلدن دلشز، تغذیه برگ، آهن، روی، اسید هیومیک.

مقدمه

سیب درختی خزاندار از تیره رزاسه می باشد که بعد از مرکبات، انگور و موز چهارمین میوه مهم جهان و مهمترین میوه مناطق معتدله به شمار می آید. در حال حاضر چندین رقم سیب در دنیا شناخته شده اند که تعداد محدودی از آنها ارزش تجارتي دارند. متداول ترین نوع رقم سیب های خارجی که در ایران کشت می گردند و سازگاری نسبتاً خوبی پیدا کرده اند، ارقام قرمز لبنانی و زرد لبنانی هستند (دخانی و بهشتی، ۱۳۹۲). همچنین در پی آلودگی های زیست محیطی به ویژه آلودگی منابع خاک و آب که زنجیره وار به منابع غذایی روزمره انسانها راه یافته است و سلامت جوامع انسانی را مورد تهدید قرار داده اند، تلاش های گسترده ای به منظور یافتن راه کارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک و محصولات کشاورزی، حذف آلاینده ها با روش های زیست پالایی و حفظ پایداری اکوسیستم های طبیعی آغاز شده است، یکی از این راهکارها، استفاده از کودهای آلی مانند هیومیک اسید به تنهایی یا به همراه سایر کودها مانند کلات آهن و سولفات روی می باشد (Shehata et al., 2011).

در شرایط pH بالای خاک بیشتر عناصر ریز مغذی از قبیل آهن و روی در درختان سیب دچار کمبود هستند. تغذیه برگی راه موثری برای جبران کمبود عناصر ریز مغذی و افزایش سطح آنها است. بررسی وضعیت خاک های کشاورزی ایران بیانگر آن است که مصرف نا آگاهانه کودهای شیمیایی، سطح بسیار پایین مواد آلی خاک، قلیائیت و سطح بالای بی کربنات محلول در خاک، تراکم بالا و فشردگی خاک، آهکی بودن خاک، رطوبت محدود در ناحیه ریزوسفری ریشه منجر به عدم قابلیت جذب و جابجایی عناصر غذایی در خاکها شده و سطح عملکرد کود دهی را به شدت کاهش داده است. مصرف کودها به روش محلول پاشی ضمن حفظ جنبه های اقتصادی و اثربخشی سریع، موجب حفظ محیط زیست، ممانعت از تخریب ساختمان فیزیکی شیمیایی خاک و ممانعت از برهم خوردن تعادل مواد

غذایی خاک می گردد که تمامی آنها در راستای نیل به کشاورزی پایدار بسیار سودمند و مفید می باشند (استکی و همکاران، ۱۳۹۴). از مهمترین مشکلات تولید میوه سیب می توان به عملکرد پائین و کیفیت نامناسب میوه های تولیدی اشاره کرد که عامل اخیر باعث محدودیت عرضه و صادرات این میوه شده است. باغداران برای حفظ کیفیت میوه سیب از کودهای شیمیایی استفاده می کنند که کاربرد بیش از حد آن سلامت انسان را به خطر انداخته است. افزون بر این، کاربرد کودهای شیمیایی سبب آلودگی های زیست محیطی به ویژه آلودگی منابع خاک و آب شده که این آلودگی به منابع غیر انسان نیز راه یافته است که با جایگزین کردن کودهای آلی می توان تا حدودی این آلودگی را کاهش داد، محلول پاشی برگی عناصر غذایی و کودهای زیستی روشی مناسبی برای تغذیه بهینه گیاهان بوده و یکی از راههای بهبود عملکرد و کیفیت محصولات مختلف درختان میوه می باشد (Crespan et al, 2020). مقادیر بسیار کم این ترکیبات آثار چشم گیری در بهبود کمیت و کیفیت محصولات باغبانی دارند. آهن یکی از عناصر مورد نیاز گیاهان است که ضرورت آن کمی بیشتر از سایر عناصر کم مصرف گیاه می باشد، نقش این عنصر در تثبیت ازت و فعالیت برخی آنزیم ها نظیر کاتالاز (Catalase)، پراکسیداز (Peroxidase) و سیتوکروم اکسیداز (Cytochrome oxidase) به خوبی مورد بررسی قرار گرفته است (زنکنه و رسولی، ۱۳۹۶).

در بسیاری از خاکها آهن به قدر کافی در خاک وجود دارد ولی عملاً وجود pH بالای ۷/۵ باعث بروز کمبود این عنصر در گیاه می گردد. این عنصر از جمله عناصر ضروری برای رشد و تولید مثل گیاهان بوده و بنابراین برای بقای آنها لازم است، و در فرآیند فتوسنتز، تنفس، جذب و ساخت نیتروژن و هم چنین در ساخت و تشکیل کلروپلاست در گیاهان نقش دارد. روی نیز از جمله عناصر ضروری برای رشد و نمو طبیعی گیاه است و در سنتز بسیاری از آنزیمها و پروتئینهای گیاهی و همچنین انجام فرآیندهای

بیولوژیکی مختلف نقش تعیین کننده ای دارد. مقدار بیش از حد آن می تواند جذب سایر عناصر غذایی را تحت تاثیر قرار دهد (Bonnet et al., 2020). این عنصر به همراه عناصر بر و نیتروژن در فرآیند گرده افشانی، لقاح و تشکیل میوه تاثیر بسیار زیادی دارد (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۹۰). هیومیک اسیدها نیز از مهم ترین کودهای آلی به شمار می روند، آنها ترکیبات فعال مواد آلی خاک اند که فعالیت شبه هورمونی هم دارند و رشد رویشی گیاهان را تحریک می کنند. همچنین اسید هیومیک، مخلوط متراکم و کمپلکس اسیدهای آلی آروماتیک بوده و دارای نیتروژن، فسفر، گوگرد با درصدهای مختلف و برخی نظیر کلسیم، منیزیم، روی، مس و غیره است و به صورت محلول پاشی و نیز کاربرد خاکی استفاده می شود (Nardi et al., 2014). گیاهان قابلیت جذب عناصر غذایی را از طریق برگها و اندام های هوایی دارند. که این جذب از طریق برگها و اندامهای هوایی ۹۵ درصد و از طریق سایر روشها بسته به شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک بسیار متغیر و در حدود ۱۰ درصد است (Canellas et al, 2008). در برخی از جنس های گیاهی در طی یک ساعت در حدود ۳۰ سانتی متر نقل و انتقال عناصر غذایی در اندام های گیاهی صورت می پذیرد (Canellas et al, 2008). همچنین با توجه به اینکه بخش وسیعی از خاکهای کشورمان آهکی است، در چنین شرایطی جذب بعضی از عناصر پرمصرف و بیشتر عناصر کم مصرف کاهش می یابد و کاربرد خاکی کودهای حاوی این عناصر با مشکل مواجه می شود. محلول پاشی روشی موثر برای جبران کمبود عناصر معدنی در درختان میوه است (Neri et al, 2002). اثر کود آهن بر فاکتور های رشد درخت و بخصوص میوه قطعی شده است (سالاری و همکاران، ۲۰۲۱). این تحقیق در درختان میوه مثل مرکبات به اثبات رسیده است (سالاری و همکاران، ۲۰۲۱). از آنجایی که این کود ها حاوی عناصر ریز مغذی دیگر نیز بصورت کلات هستند سریع جذب گیاه می شوند و در رشد نمو و عملکرد گیاه بسیار موثرند. همچنین اثر

کودهای حاوی روی و آهن در فعال سازی بهینه آنزیم ها و بویژه آنزیم های کلیدی در تولید متابولیت های ثانویه بسیار مهم می باشد و لزوم تحقیق روی آنها پر واضح می باشد (خدابخشی و همکاران، ۱۳۹۲). در این راستا کاربرد عناصر تغذیه ای، به عنوان یکی از ابزارهای مدیریتی مؤثر در افزایش عملکرد و تولید پایدار سیب نیازمند توجه بیشتری است. برای نمونه در پژوهشی که اخیراً توسط محبی و همکاران روی سطوح مختلف محلول پاشی عناصر روی، آهن و منگنز بر خصوصیات زایشی و عملکرد انگور صورت گرفته است. نتایج آنها نشان داد که تیمار کودی ۰/۱ درصد کلات روی بر اسیدیته آب میوه نسبت به شاهد نه تنها افزایشی مشاهده نشد، بلکه اندکی نیز کاهش یافته بود (محبی و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین در تحقیقی دیگر که توسط وجیک و همکاران (۲۰۱۵) روی درختان سیب صورت گرفته است نتایج نشان داده شد که محلول پاشی با تیمارهای مختلف سولفات روی اثر مشخصی بر اسیدیته کل و قندهای محلول میوه سیب نداشت (Wojcik et al, 2015).

بنابراین با توجه به اهمیت نقش تغذیه در بهبود کمی و کیفی محصول که باعث بهبود رنگ، طعم، شکل میوه، افزایش مقاومت در برابر آفات و بیماری ها، افزایش ترکیبات ثانوی کل میوه، تعادل دهنده شرایط فیزیولوژی برای ماندگاری و ایجاد مقاومت در برابر سرما می گردد، می توان اظهار داشت تغذیه صحیح محصولات باغی نقش مهمی در بهبود کیفیت، کاهش ضایعات و طولانی کردن عمرانباری محصولات برداشت شده دارد. در این بین تغذیه آهن، روی و اسید هیومیک از اهمیت بالایی برخوردارند و در تمامی مراحل رشد گیاهان نقش تعیین کننده ای دارند. از آنجایی که بخش اعظم خاکهای کشاورزی ایران قلیایی می باشند همواره در جذب و جابه جایی عناصر در خاک مشکلات متعددی همچون تثبیت عناصر وجود دارد که بکارگیری محلول پاشی یا تغذیه برگی به منظور جبران کمبود عناصر غذایی تنها روش

موثر می باشد (دولتی بانه و همکاران، ۱۳۸۷).

هدف از انجام این تحقیق، محلول پاشی کودهای حاوی کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک برای دستیابی به ترکیب کودی مناسب جهت افزایش عملکرد و کیفیت میوه سیب رقم گلدن دلشز در پاسخ به تیمار غلظت های مختلف کودهای کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک می باشد. نتایج این تحقیق می تواند به عنوان یک الگوی کارآمد جهت استفاده صحیح منابع و اشکال مختلف کود های آهن و روی به تنهایی و یا در ترکیب با اسید هیومیک به عنوان یک ماده آلی محرک رشد جهت بهبود وضعیت کمی و کیفی تولید میوه سیب در باغات مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش ها

به منظور مطالعه اثر سه غلظت مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک روی برخی شاخص های کمی و کیفی درختان ۱۳ ساله سیب رقم گلدن دلشز پیوند شده بر پایه های بذری آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۹ تیمار و سه تکرار در یک باغ تجاری واقع در روستای زاویه سکمن آباد از توابع شهرستان خوی استان آذربایجان غربی (با مختصات طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۶ دقیقه) انجام شد. تیمارها شامل محلول پاشی با کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک هر کدام در سه سطح (صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر) بود. قبل از اقدام به محلول پاشی آنالیز خاک باغ مورد آزمایش در آزمایشگاه گیاه واره ملایر انجام شد و طبق داده های بدست آمده در جدول آنالیز، باغ مذکور متناسب پژوهش بود. محلول پاشی شامل یک مرحله قبل و چهار مرحله بعد از گلدهی (هر دو هفته یکبار) اولین مرحله محلول پاشی ۱۰ اردیبهشت ماه در زمان قبل از گلدهی، دومین مرحله محلول پاشی ۲۵ اردیبهشت ماه در زمان بعد از گلدهی و تشکیل میوه، سومین مرحله محلول پاشی ۱۰ خرداد ماه در زمان

فندقه شدن میوه ها، چهارمین مرحله محلول پاشی ۲۵ خرداد ماه در موقعی که میوه ها به اندازه گردو بودند و در نهایت پنجمین مرحله محلول پاشی نیز ۱۰ تیر ماه ۱۳۹۴ در زمان سبز و نارس بودن میوه ها با استفاده از یک سمپاش پستی ۱۰ لیتری تا مرحله آب چک روی شاخه ها و برگ های درختان سیب انجام شد. برای افزایش بازده جذب، ۵/۰٪ مویان (توین ۲۰) به محلول کودی اضافه و محلول پاشی هنگام غروب آفتاب و در ساعات خنک روز انجام شد. درختان سیب شاهد با محلول آب و مویان محلول پاشی شدند. دو هفته پس از آخرین محلول پاشی (۲۵ تیرماه سال ۱۳۹۴) از برگ های هم سن و یکسان هر تکرار نمونه برداری و صفات مختلف کمی، کیفی و فیزیولوژیکی مورد ارزیابی قرار داده شدند. میوه ها در زمان بلوغ تجاری و با توجه به شاخص های رسیدگی (نیمه مهر؛ ۱۲۰ روز پس از مرحله تمام گل) از شاخه های علامت گذاری شده در درختان تیمار شده با غلظت های مختلف انواع تیمارهای کودی برداشت شدند. وزن میوه و عملکرد هر درخت پس از توزین کل میوه های هر درخت با استفاده از ترازوی باسکولی دیجیتالی محاسبه شد. در این طرح هر درخت به عنوان یک واحد آزمایشی محسوب گشته و پس از برداشت میوه ها از هر واحد آزمایشی تعداد ۲۰ میوه به طور تصادفی انتخاب و شاخص های مرتبط با کمیت و کیفیت میوه اندازه گیری شدند.

فاکتورهای مورد اندازه گیری

طول و قطر میوه

به منظور بررسی اثر تیمارها بر ابعاد میوه ها در سیب رقم گلدن دلشز، اندازه گیری طول و قطر میوه ها با استفاده از دستگاه کولیس دیجیتالی (مدل میتوتویو ساخت ژاپن) استفاده گردید، بدین صورت که در زمان رسیدن میوه، ۱۶ میوه از جهت ها و قسمت های مختلف هر درخت چیده و طول و قطر میوه ها با کولیس اندازه گیری شده و نتیجه برحسب میلی متر ثبت گردید. (هداوند و همکاران، ۱۳۹۴).

مواد جامد محلول (TSS)

مقدار قند میوه یا TSS قسمت اعظم مواد جامد قابل حل عصاره میوه را تشکیل می دهد. مقدار قند میوه یکی از شاخص های مهم کیفیت محصول به شمار می آید. برای تعیین زمان برداشت محصول می توان از مقدار قند میوه استفاده کرد. (جلیلی مرندي، ۱۳۸۶). مقدار مواد جامد محلول یا قند میوه با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دستی آنالوگ (مدل MASTER-3M آتاگو ژاپن) در دمای اتاق اندازه گیری شد. یک قطره از آب میوه روی منشور دستگاه رفاکتومتر ریخته شد و با قرار دادن دستگاه رو به سمت نور، شکست نور که عدد آن معرف درصد بریکس است به دست آمد (Robinson et al., 1959).

اسیدیته قابل تیتراسیون و pH

اسید موجود در میوه ها ناشی از وجود اسیدهای آلی درون میوه می باشد. اسیدهای آلی مختلفی در میوه ها وجود دارد که هر محصول دارای یک اسیدآلی غالب مختص خود محصول است. برای اندازه گیری اسیدیته قابل تیتراسیون و pH، مقدار ۱۰ سی سی از آب میوه ی مربوط به هر تکرار از هر تیمار پس از صاف کردن، تهیه و با آب مقطر به حجم ۵۰ سی سی رسانیده شد، سپس توسط pH متر دیجیتالی pH عصاره اندازه گیری گردید. با عمل تیتراسیون عصاره مذبور با سود ۰/۱ نرمال، درصد اسیدیته ی قابل تیتراسیون هر نمونه اندازه گیری شد (عمل

تیتراسیون را تا زمانی انجام می دهیم که pH متر عدد ۸/۳- ۸/۱ را نشان دهد). میزان اسید میوه بر حسب اسید مالیک که اسید غالب میوه ی سیب می باشد با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (جلیلی مرندي، ۱۳۸۶).

معادله (۲-۳):

چگالی (وزن مخصوص میوه ها) $A = (S.N.F.E) / C \times 100$

وزن مخصوص میوه ها نسبت وزن به حجم آن ها می باشد

$d =$ وزن مخصوص میوه (چگالی)

$g =$ وزن میوه

$cm^3 =$ حجم میوه

$$d = \frac{g}{cm^3} \quad \text{معادله (۱)}$$

برای اندازه گیری وزن مخصوص ابتدا وزن معینی از

میوه اندازه گیری شد و سپس حجم آن در یک ظرف

مدرج (بشر) که حاوی آب بود اندازه گیری گردید.

وزن خشک میوه

ماده ی خشک بافت گیاهی حاوی ترکیبات آلی و معدنی بافت می باشد. ابتدا باید نمونه و ظرف را جداگانه توزین نمود و سپس نمونه را همراه با ظرف داخل دسیکاتور یا دستگاه خشک کننده (آون) قرار داد. پس از ۲۴ تا ۷۲ ساعت حرارت دیدن در دمای ۷۰ الی ۷۵ درجه سانتی گراد نمونه و ظرف را خارج کرده و اجازه می دهیم تا سرد شود سپس آنها را مجدداً وزن کرده و با استفاده از فرمول زیر درصد ماده خشک محاسبه می گردد.

وزن نمونه خشک = وزن ظرف خالی - (وزن ظرف + نمونه خشک)

معادله (۲):

$100 \times \text{وزن میوه ی تازه} / (\text{وزن خشک میوه} - \text{وزن میوه ی تازه}) = \text{درصد وزن خشک}$

معادله (۳):

عملکرد کل میوه

اندازه گیری میزان وزن میوه با استفاده از ترازوی صد کیلوگرمی (باسکول دیجیتالی، مدل HG-602M ساخت کشور چین)، اندازه گیری شد و عملکرد کل هر درخت مربوط به هر تیمار بر حسب کیلوگرم محاسبه گردید.

اندازه گیری طول شاخه سال جاری

رشد رویشی شاخه های سال جاری روی شاخه های

مقدار وزن میوه در زمان برداشت میوه یکی از شاخص های مهم کمیت محصول به شمار می آید. برای اندازه گیری وزن میوه همزمان با برداشت میوه ها بصورت تصادفی جهت انجام آزمایشهای کمی، کیفی و فیزیولوژیکی، با برداشت کل محصول هر درخت و برای

تجزیه و تحلیل داده ها

داده ها پس از جمع آوری با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن انجام شد و نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم افزار اکسل نسخه (۲۰۱۹) رسم گردید.

نتایج و بحث

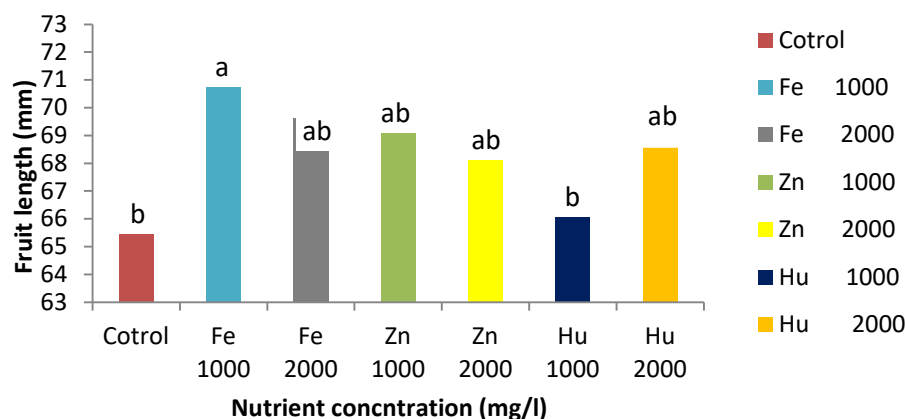
اثر تیمارهای تغذیه ای بر طول و قطر میوه

نتایج تجزیه واریانس داده ها حاکی از معنی دار بودن اثرات ناشی از تیمارها در سطح ۵٪ روی صفت طول میوه بود. بررسی مقایسه میانگین داده ها نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف تیمارهای کودی آهن، روی و اسید هیومیک وجود داشت. بیشترین طول میوه مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر آهن به اندازه ۷۱/۷۹ میلی متر مشاهده شد. این تیمار اختلاف معنی داری با شاهد نشان داد. و در حدود ۸ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. کمترین طول میوه نیز مربوط به تیمار شاهد به اندازه ۶۶/۴۳ میلی متر به دست آمد (شکل ۱). قادری و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که محلول پاشی تیمارهای کودی سولفات روی، بطور معنی داری باعث افزایش طول و قطر میوه بادام شد که با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابقت داشت. در درختان هلو کمبود روی باعث تولید میوه های کوچک، بد شکل و با کیفیت بسیار پایین می شود که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Willia, 1991). همچنین در پژوهشی دیگر تاثیر محلول پاشی غلظت های مختلف اسید هیومیک روی طول و قطر میوه سیب رقم رد دلشز باعث افزایش طول میوه نسبت به رقم شاهد شد ولی در صفت قطر میوه معنی دار نبود که با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابقت داشت (فرهنگی و همکاران، ۱۳۹۷).

اصلی با خط کش اندازه گیری شد. بدین ترتیب برای اندازه گیری طول شاخه سال جاری ابتدا پس از آخرین محلول پاشی از هر درخت مورد آزمایش ۱۰ شاخه (شاخه سال جاری) از جهات مختلف درختان سیب، مخصوصاً تاج بیرونی و قسمت های نورگیر انتخاب شده و اندازه تک تک آن شاخه ها توسط متر بر حسب سانتی متر محاسبه گردید. و سپس میانگین طول آن شاخه ها در هر صفت و هر تکرار بدست آمد.

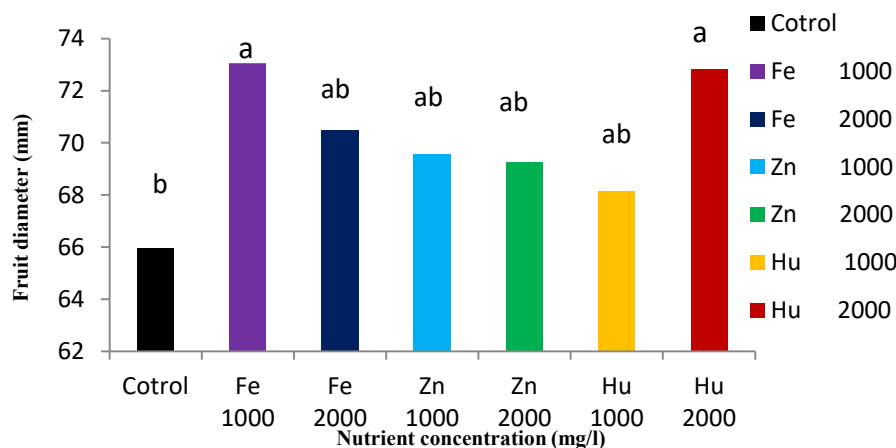
عناصر تغذیه ای برگ و میوه

به منظور استخراج و اندازه گیری غلظت عناصر غذایی برگ از بخش های میانی شاخه های سال جاری نمونه های برگي سالم به تعداد ۱۰ عدد جمع آوری و در آزمایشگاه با آب مقطر شستشو داده شدند. نمونه های میوه نیز با برداشت میوه از بخش های بیرونی تاج درخت تهیه گردید. نمونه های تهیه شده از برگ و میوه در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد برای مدت ۷۲ ساعت خشک و آسیاب شدند. سپس غلظت عناصر برگ و میوه سیب (آهن، روی، پتاسیم) بطور جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت. تهیه عصاره به روش هضم تر انجام شد. برای این منظور به یک گرم پودر گیاه، ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد) افزوده شد. نمونه ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد در حمام آب گرم قرار گرفتند. سپس ۲/۶ میلی لیتر پراکسید هیدروژن ۲۰٪ به آنها اضافه شد، پس از سرد شدن نمونه ها، با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شده و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شدند. برای اندازه گیری محتوی آهن و روی از دستگاه جذب اتمی (۲۲۰ واریان) و برای اندازه گیری محتوای یون پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر (۴۰۵ G) ساخت آلمان استفاده گردید. در نهایت با استفاده از منحنی استاندارد حاصل از غلظت های مختلف برای هر یک از عناصر مورد نظر بر حسب میلی گرم وزن خشک محاسبه شد (Abdel-Shafey et al., 1994).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر طول میوه سیب گلدن دلشز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 1- Comparison of the effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on the fruit length of apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر قطر میوه سیب رقم گلدن دلشز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 2- Comparison of the effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on fruit diameter of apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.

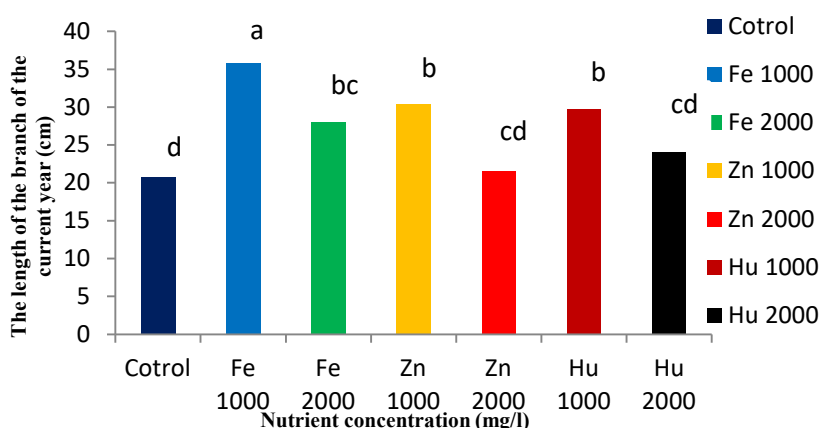
اثر تیمارهای تغذیه ای بر طول شاخه سال جاری

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان از معنی دار بودن اثرات ناشی از تیمارها در سطح ۱٪ روی صفت طول شاخه سال جاری بود. با افزایش طول شاخه سال جاری مخصوصاً شاخه بارده روی رقم گلدن دلشز درخت سیب کمیت یا عملکرد میوه افزایش می یابد. مقایسه میانگین

داده ها نشان داد که بیشترین طول شاخه سال جاری به ترتیب مربوط به تیمارهای کودی ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلات آهن، ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر سولفات روی و ۳۰/۴۳ و ۲۹/۶۳ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک با ۳۵/۷۶ و ۳۰/۴۳ و ۲۹/۶۳ سانتی متر بود. و تیمارها اختلاف معنی داری را با شاهد نشان دادند. یعنی محلول پاشی تیمارهای کودی فوق

و رد دلشز باعث افزایش طول شاخه سال جاری شده است. بدین صورت که بیشترین مقدار طول شاخه در تیمار کودی ۳۰۰ پی پی ام اسید هیومیک به اندازه شاخه ۶۰/۸۸ سانتی متر و کمترین مقدار طول شاخه نیز در تیمار شاهد به اندازه شاخه ۵۲/۳۵ سانتی متر ثبت گزارش شد که با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابقت داشت (Hasan, 2022).

باعث افزایش طول شاخه سال جاری به ترتیب به میزان ۴۲ درصد، ۳۲ درصد و ۳۰ درصد نسبت به شاهد شده است. کمترین طول شاخه سال جاری نیز مربوط به تیمار شاهد به میزان طول شاخه ۲۰/۶۸ سانتی متر بود (شکل ۳). ژیمان و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که محلول پاشی تیمار کودی اسید هیومیک روی ارقام سیب گرانی اسمیت



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر طول شاخه سال جاری سیب رقم گلدن دلشز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 3- Comparison of the effect of different levels of chelate iron, zinc sulfate and humic acid on the length of the branch of the current year of apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.

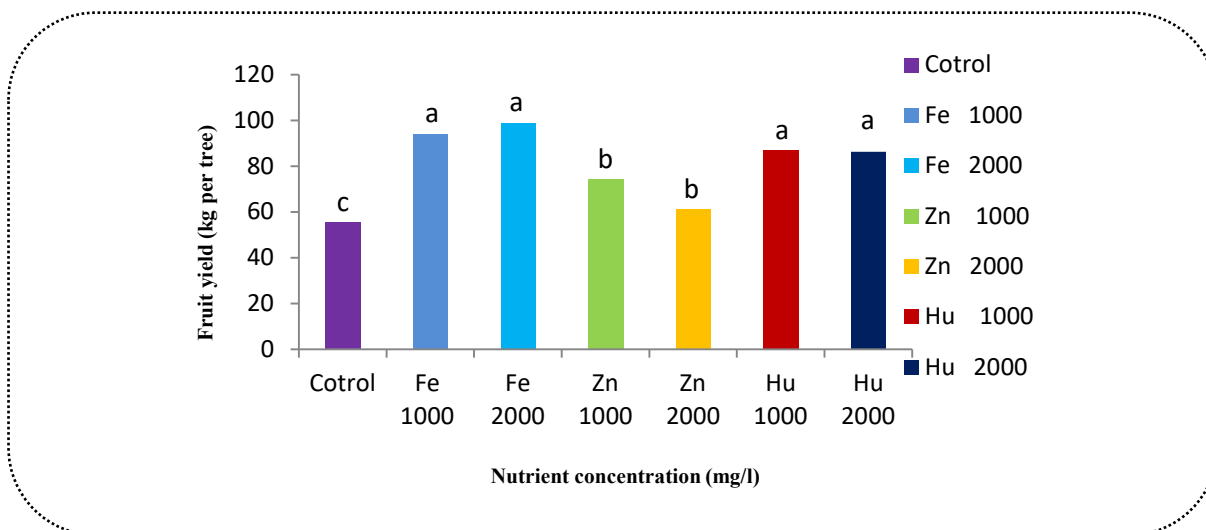
این آزمایش نیز کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد رقم گلدن دلشز سیب به میزان ۴۰ درصد شده است. که با نتایج این تحقیق همسو بود. به نظر می رسد افزایش عملکرد به این دلیل بوده است که شرایط نامطلوب حاکم بر خاک از جمله آهکی بودن و pH بالای خاک باعث جلوگیری از جذب عناصر بویژه روی و آهن از خاک می گردد که با کاربرد اسید هیومیک تا حدودی این مشکل حل می گردد. (بهرامی و همکاران. ۱۳۹۳). در تحقیقی که توسط فرهنگی و همکاران با عنوان تاثیر محلول پاشی غلظت های مختلف اسید هیومیک بر روی سیب رقم رد دلشز صورت گرفته نتایج بدست آمده باعث افزایش در عملکرد میوه شده است. که با نتایج بدست آمده در این

اثر تیمارهای تغذیه ای بر عملکرد میوه

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر تیمارهای تغذیه ای اثر معنی داری بر صفت عملکرد میوه در سطح احتمال ۱٪ داشت. بیشترین میزان عملکرد در تیمارهای کودی ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر آهن و ۱۰۰ و ۱۰۲/۶۶ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک به ترتیب ۹۳/۳۳ کیلوگرم در هر درخت به دست آمد. این تیمارها اختلاف معنی داری را با شاهد نشان دادند. کمترین میزان عملکرد میوه مربوط به تیمار شاهد با ۶۱ کیلوگرم در هر درخت بود (شکل ۴). در مطالعه بهرامی و همکاران نیز کاربرد اسید هیومیک موجب افزایش عملکرد رقم گرانی اسمیت به میزان ۲۹ درصد نسبت به شاهد شده بود. که در

میزان ۵۰ درصد گردید که با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابقت داشت (پیری و همکاران، ۱۳۸۴).

تحقیق همسو بود. (فرهنگی و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین نتایج حاصل از آزمایشات پیری و همکاران هم نشان داد که تیمار محلول پاشی آهن و روی باعث افزایش عملکرد به



شکل ۴-مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر عملکرد میوه سیب رقم گلدن دلشیز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

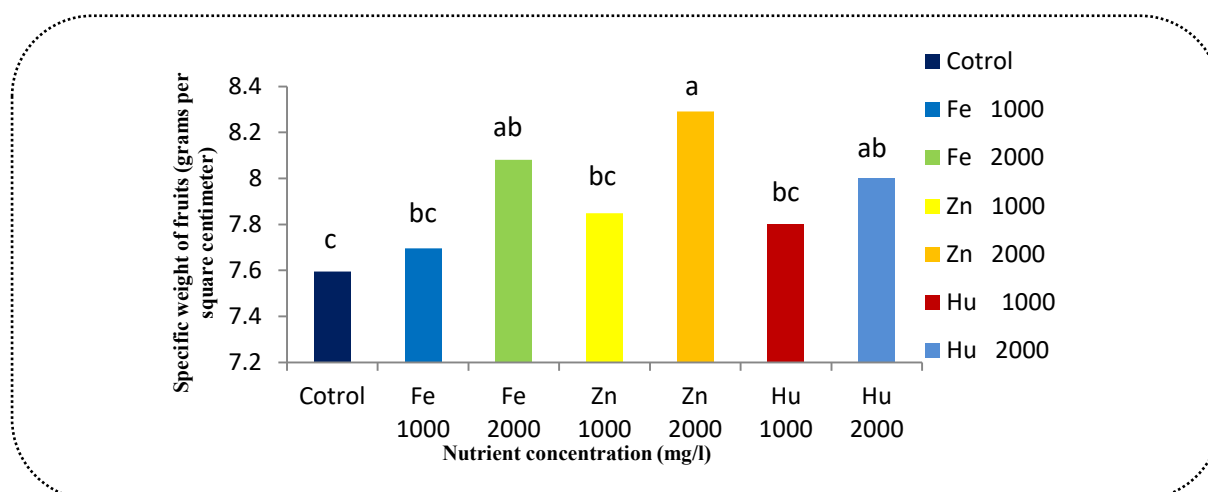
Figure 4-Comparison of the average effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on fruit yield of apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.

اثر تیمارهای تغذیه ای بر وزن خشک میوه

تاثیر تیمارهای تغذیه ای به کار رفته روی وزن خشک میوه در سطح ۵٪ معنی دار بود. مقایسه میانگین داده ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت معنی داری وجود داشت و محلول پاشی سطوح مختلف تیمارهای کودی کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک باعث افزایش وزن خشک میوه شد (شکل ۵). بدین صورت که بیشترین میزان وزن خشک میوه مربوط به تیمار کودی ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلات آهن با ۰/۱۹۳ گرم و کمترین میزان آن مربوط به تیمار شاهد با داشتن ۰/۱۶۳ گرم بود (شکل ۶). در مطالعه کریمی و همکاران (۱۳۹۲) کاربرد غلظت های مختلف تیمار کودی کلات آهن بر خصوصیات کمی و کیفی سیب رقم دلباراستیول باعث افزایش وزن خشک میوه این رقم از سیب شد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲).

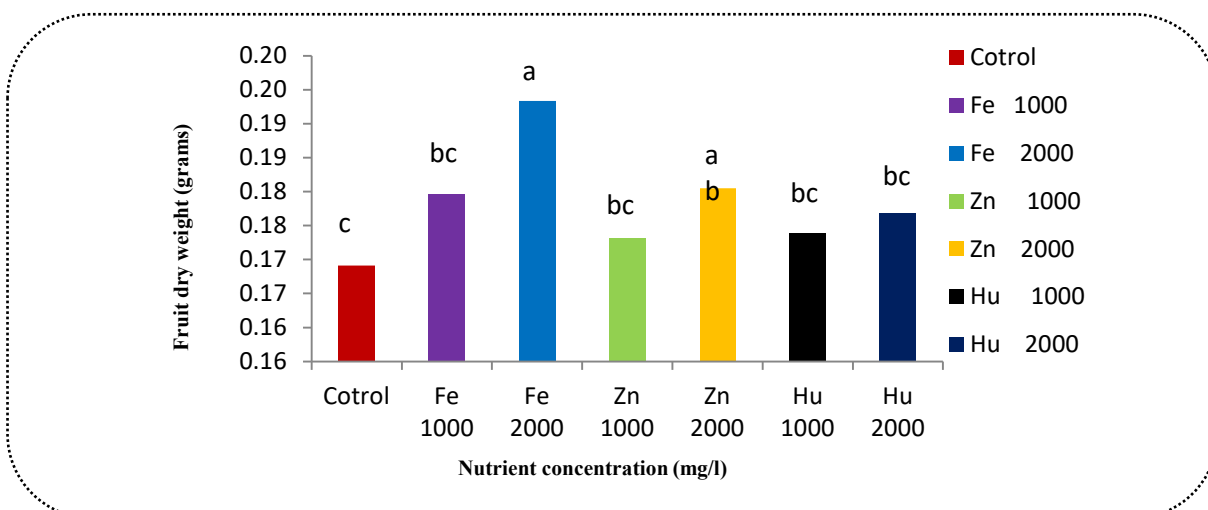
اثر تیمارهای تغذیه ای بر چگالی میوه (وزن مخصوص میوه ها)

نتایج تجزیه واریانس داده ها، اثرات ناشی از تیمارها در صفت وزن مخصوص میوه سیب رقم گلدن دلشیز نشان از معنی دار بودن آنها در سطح ۵٪ داشت. بررسی مقایسه میانگین داده ها نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف تیمارهای کودی آهن، روی و اسید هیومیک وجود داشت. بیشترین میزان چگالی میوه مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر سولفات روی به اندازه ۸/۳ گرم بر سانتی متر مربع مشاهده شد. این تیمار اختلاف معنی داری با شاهد نشان داد. همچنین کمترین میزان چگالی مربوط به تیمار شاهد به میزان ۷/۶ گرم بر سانتی متر مربع بود. با افزایش غلظت تیمارهای کودی کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک از صفر به ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر میزان چگالی یا وزن مخصوص میوه ها نیز افزایش یافت (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر میزان چگالی (وزن مخصوص میوه ها) سیب رقم گلدن دلیشز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 5- Comparison of the average effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on the density (specific weight of fruits) of apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test



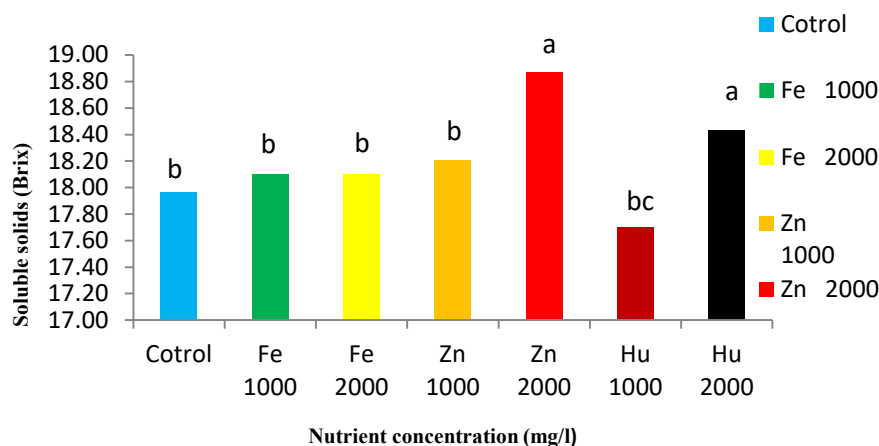
شکل ۶- مقایسه میانگین سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر وزن خشک میوه سیب رقم گلدن دلیشز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 6- Comparison of the average levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on the fruit dry weight of apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.

ترتیب ۱۷/۷۰ و ۱۷/۹۶ درجه بریکس بود (شکل ۷). در پژوهش صورت گرفته توسط بهرامی و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد که کاربرد غلظت های مختلف اسید هیومیک (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی گرم در لیتر) باعث افزایش مواد جامد محلول (TSS) در میوه سیب رقم گرانی اسمیت شد، که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت به نظر می رسد. شرایط آب و هوای مناطق مختلف که از اقلیمهای مختلف نیز برخوردار هستند بر مقدار مواد جامد محلول تاثیر به سزایی دارد.

اثر تیمارهای تغذیه ای بر مواد جامد محلول میوه (TSS)

بررسی مقایسه میانگین داده ها نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف تیمارهای کودی آهن، روی و اسید هیومیک وجود داشت. بیشترین میزان مواد جامد محلول مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر سولفات روی با میزان ۱۸/۸۶ درجه بریکس و کمترین آن مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک و شاهد به



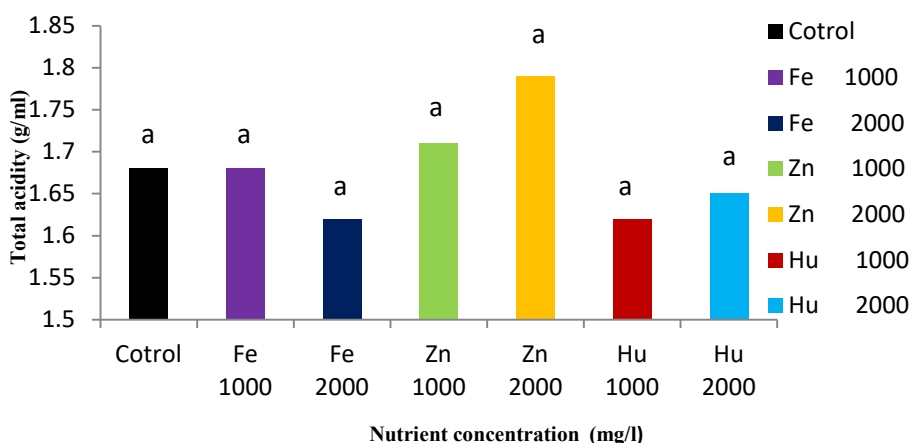
شکل ۷- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر مواد جامد محلول سیب رقم گلدن دلشز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 7- Comparison of the average effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on soluble solids in fruit of apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.

اثر تیمارهای تغذیه ای بر اسیدیته کل

اسید هیومیک تأثیری در میزان اسیدیته کل نداشت (شکل ۸). محبی و همکاران (۱۴۰۱) تأثیر سطوح مختلف محلول پاشی عناصر روی، آهن و منگنز بر خصوصیات زایشی و عملکرد انگور بررسی کردند که نتایج آنها نشان داد تیمار کودی ۰/۱ درصد کلات روی بر اسیدیته آب میوه نسبت به شاهد نه تنها افزایشی مشاهده نشد، بلکه اندکی نیز کاهش یافته بود که با نتایج بدست آمده در این تحقیق همخوانی داشت (محبی و همکاران، ۱۴۰۱).

اسیدیته کل میوه به عنوان یکی از صفاتی که نشان دهنده خصوصیات شیمیایی و تعادل آن با میزان قند نشان دهنده طعم میوه های سیب درختی است. نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان دهنده معنی دار نبودن بین تیمارها در صفت اسیدیته کل می باشد. نمودار مقایسه میانگین داده ها نشان داد که تفاوت معنی داری بین تیمارها وجود نداشت. براین اساس کاربرد سطوح مختلف تیمارهای کودی کلات آهن، سولفات روی و



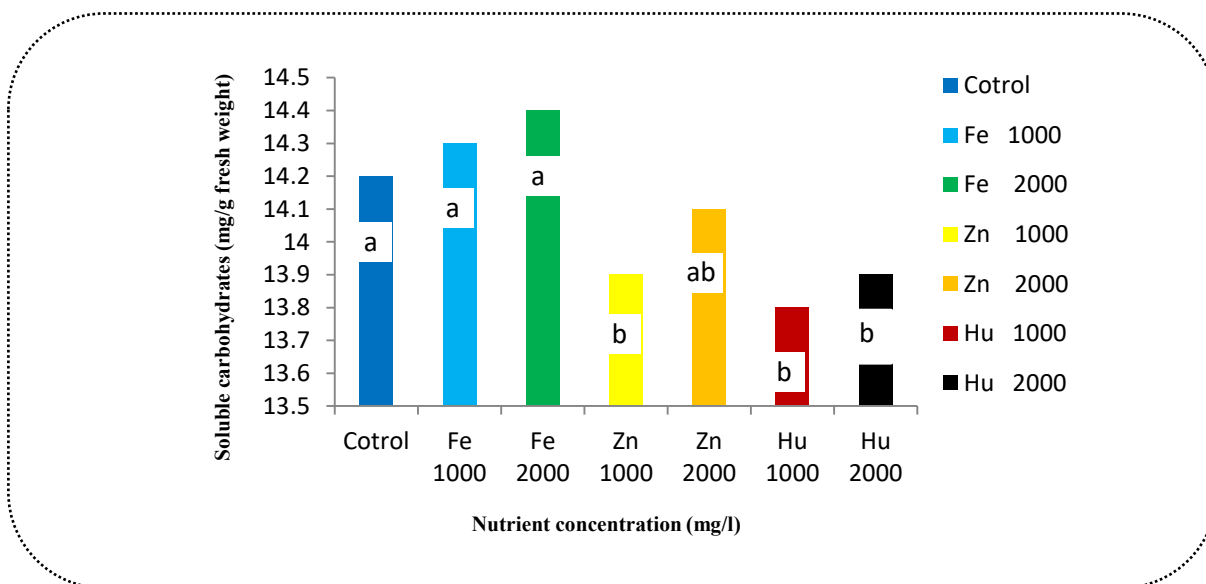
شکل ۸- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر اسیدیته کل میوه سیب رقم گلدن دلشز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 7- Comparison of the average effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on the acidity of the whole fruit of apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.

اثر تیمارهای تغذیه ای بر کربوهیدراتها

اثر تیمارهای تغذیه ای به کار رفته مربوط به این صفت نشان از معنی دار نبودن اثرات ناشی از تیمارها بود. بررسی مقایسه میانگین داده ها نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف تیمارهای کودی آهن، روی و اسید هیومیک وجود نداشت. یعنی کاربرد سطوح مختلف تیمارهای کودی کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک تاثیری بر میزان کربوهیدرات های محلول نداشت (شکل ۹). بیشترین میزان کربوهیدرات های محلول مربوط

به تیمار ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلات آهن و کمترین میزان آن مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک مشاهده شده است که از لحاظ تجزیه آماری تفاوت بین این دو سطح تیمار معنی دار نشد. وجیک و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند که محلول پاشی تیمار کودی سولفات روی اثر مشخصی بر اسیدیته کل و کربوهیدرات های محلول درختان سیب نداشت که با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابقت داشت (Wojcik et al, 1995).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر میزان کربوهیدراتهای محلول میوه سیب رقم گلدن دلشیز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 8-Comparison of the average effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on the amount of soluble fruit carbohydrates in apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.

اثر تیمارهای تغذیه ای بر جذب عناصر غذایی در

برگ سیب رقم گلدن دلشیز

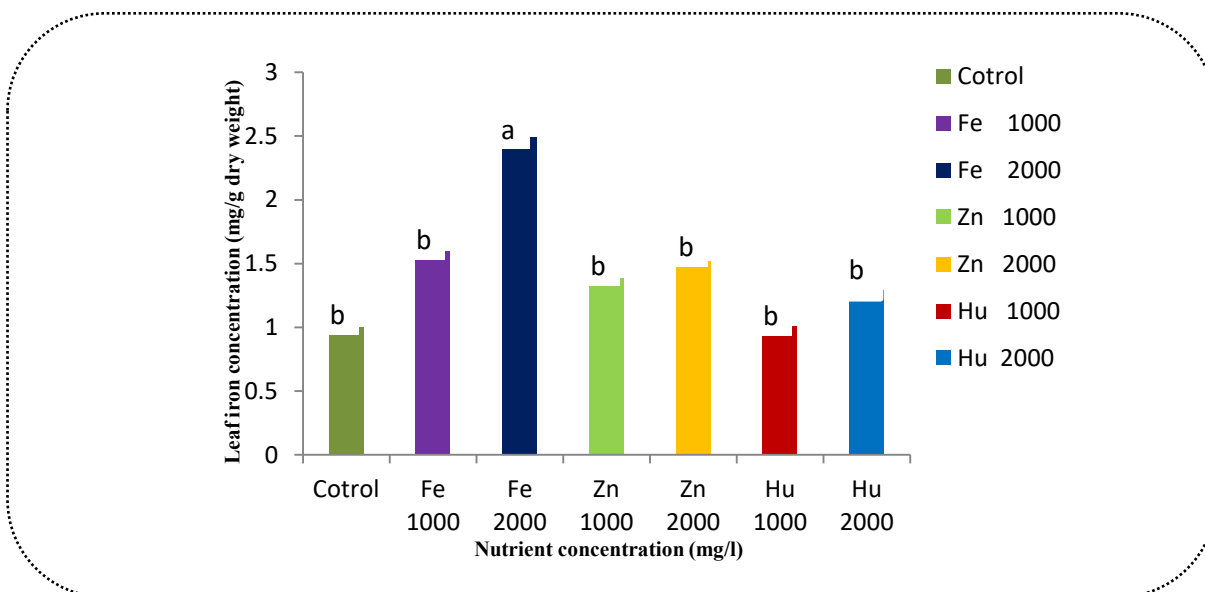
اثر تیمارهای تغذیه ای بر غلظت عنصر آهن برگ

تاثیر تیمارهای تغذیه ای بکار رفته روی غلظت عنصر آهن برگ، نشان از معنی دار بودن اثرات ناشی از تیمارهای کودی کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک در سطح ۵٪ می باشد. بررسی مقایسه میانگین داده ها نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین سطوح

مختلف تیمارهای کودی وجود داشت. بیشترین مقدار غلظت عنصر آهن مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلات آهن به اندازه ۲/۴۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک مشاهده شد. این تیمار تفاوت معنی داری با تیمار شاهد نشان داد. کمترین میزان غلظت عنصر آهن نیز در تیمار مربوط به شاهد به اندازه ۱ میلی گرم بر گرم وزن خشک مشاهده شد (شکل ۱۰). اثر منفی روی بر جذب آهن در منابع تحقیقاتی به وفور دیده می شود به گونه ای که در

عناصر کم مصرف در انگور انجام دادند، گزارش نمودند که اختلاف کاملاً معنی داری بین تیمارها از نظر غلظت عناصر آهن و روی در برگ وجود داشته است. که با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابقت داشت (عزیزی و ملکوتی، ۱۳۸۰).

بعضی نتایج عامل ایجاد کلروز ناشی از کمبود آهن به این عنصر نسبت داده می شود. راه غالبی که روی به وسیله آن از جذب آهن جلوگیری می کند، ایجاد اختلال در جریان جذب آهن می باشد (Bonnet et al., 1970). عزیزی و ملکوتی در تحقیقی که به منظور مقایسه روش های کاربرد



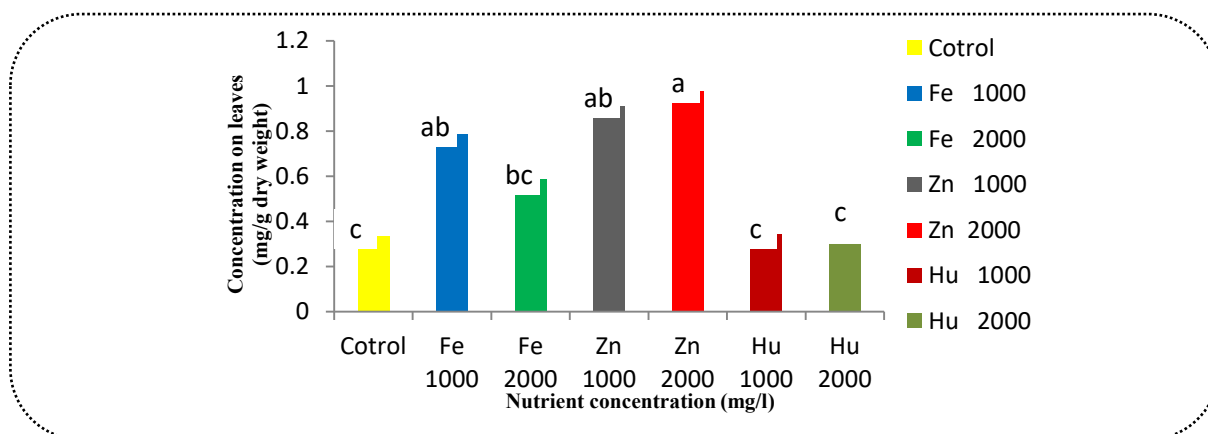
شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر میزان عنصر آهن برگ سیب رقم گلدن دلشز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 10-Comparison of the average effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on the amount of iron in apple leaves of the apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.

مربوط به تیمار شاهد به میزان ۰/۳۳۴ میلی گرم بر گرم وزن خشک مشاهده شد. در بررسی های صورت گرفته توسط بهرامی و همکاران (۱۳۹۳) کاربرد سولفات روی بر درخت انار، نتایج آنالیز عناصر نشان داد که باعث افزایش غلظت عنصر روی بوده است، که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت. همچنین در تحقیق صورت گرفته توسط دولتی بانه و همکاران نتایج بدست آمده نشان داد که محلول پاشی سطوح مختلف تیمارهای سولفات روی، سبب ایجاد اختلاف معنی داری بر غلظت عنصر روی در برگ انگور گردید که با نتایج بدست آمده در این تحقیق همسو بود (دولتی بانه و همکاران، ۱۳۸۸).

اثر تیمارهای تغذیه ای بر غلظت عنصر روی برگ

نتایج تجزیه واریانس داده ها معنی دار بودن اثرات ناشی از تیمارها در سطح ۱٪ روی صفت عنصر روی برگ را نشان می دهد. بررسی مقایسه میانگین داده ها نیز نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف تیمارهای کودی آهن، روی و اسید هیومیک وجود داشت. بیشترین میزان غلظت عنصر روی برگ مربوط به تیمارهای ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر سولفات روی به ترتیب ۰/۹۷۸ و ۰/۹۱۱ میلی گرم بر گرم وزن خشک مشاهده شد. از لحاظ آماری این سطح از تیمارهای سولفات روی تفاوتی معنی داری نسبت به دیگر تیمارها از جمله شاهد داشتند (شکل ۱۱). کمترین میزان غلظت عنصر روی



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر میزان عنصر روی برگ سیب، رقم گلدن دلیشز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 11- Comparison of the average effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on the amount of zinc element in leaves of the apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.

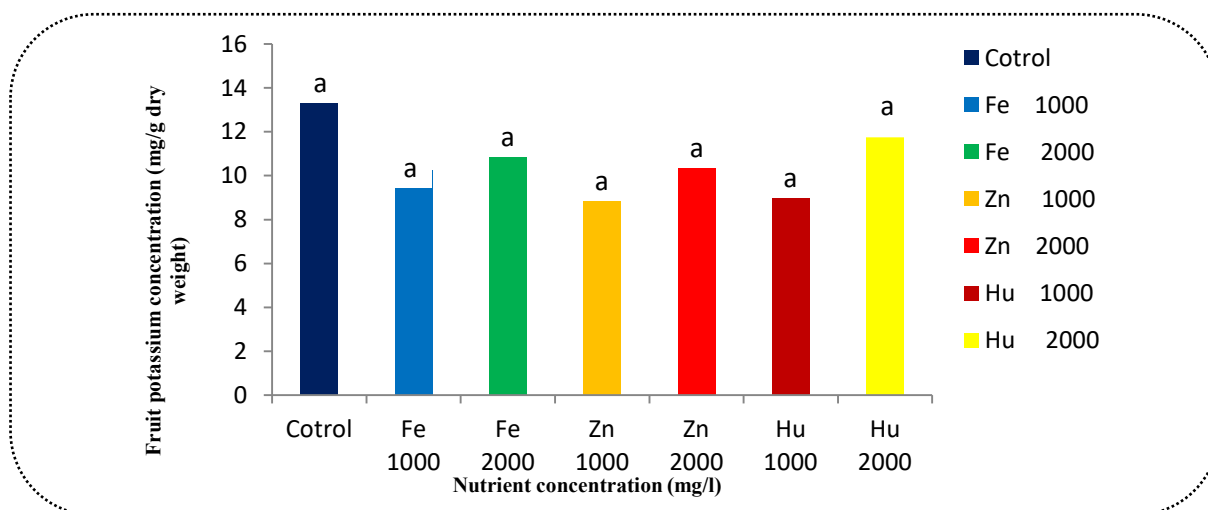
میزان غلظت پتاسیم میوه مربوط به تیمار شاهد با داشتن ۱۴/۰۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک و کمترین میزان آن مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر روی با داشتن ۹/۵۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک مشاهده شد، که از لحاظ آماری تجزیه بین این دو سطح تیمار معنی دار نشد (شکل ۱۲). در بررسی های صورت گرفته توسط زنگنه و رسولی (۱۳۹۶) کاربرد غلظت های مختلف اسید هیومیک روی انگور بیدانه سفید تاثیری بر میزان پتاسیم میوه نداشت که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت.

اثر تیمارهای تغذیه ای بر غلظت عناصر غذایی در

میوه سیب گلدن دلیشز

اثر تیمارهای تغذیه ای بر غلظت عنصر پتاسیم میوه

تاثیر تیمارهای تغذیه ای بکاررفته بر روی غلظت عنصر پتاسیم میوه نشان از معنی دار بودن آنها در سطح ۵٪ می باشد. بررسی مقایسه میانگین داده ها نیز نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف تیمارهای کودی آهن، روی و اسید هیومیک وجود نداشت. محلول پاشی تیمارهای مختلف کودی تاثیری بر میزان غلظت عنصر پتاسیم در بافت میوه سیب نداشت (شکل ۱۲). بیشترین



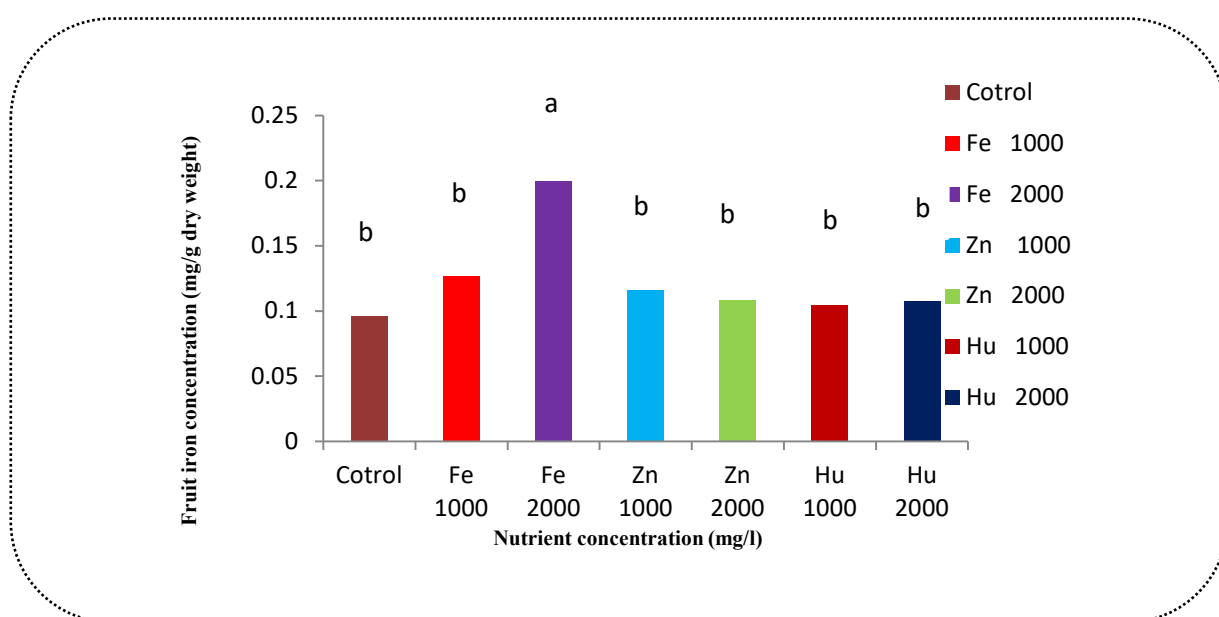
شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر میزان عنصر پتاسیم میوه سیب، رقم گلدن دلیشز، میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 12- Comparison of the average effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on the amount of potassium element in fruit, of the apple cultivar 'Golden Delicious'. The averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test. (mg/l)

اثر تیمارهای تغذیه ای بر غلظت عنصر آهن میوه

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان از معنی دار بودن اثرات ناشی از تیمارها در سطح ۵٪ روی صفت عنصر آهن در سطح ۵٪ بود. نمودار بررسی مقایسه میانگین داده ها نیز نشان داد که اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف تیمارهای کودی آهن، روی و اسید هیومیک وجود داشت. بیشترین میزان غلظت عنصر آهن مربوط به تیمار ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر آهن به ترتیب ۰/۱۹۹ و

۰/۱۲۶ میلی گرم بر گرم وزن خشک و کمترین میزان غلظت عنصر آهن نیز مربوط به تیمار شاهد با داشتن ۰/۰۹۵ میلی گرم بر گرم وزن خشک برگ بدست آمد (شکل ۱۳). یعنی تفاوت معنی داری بین تیمارهای کودی ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلات آهن با شاهد وجود داشت. براساس نتایج این تحقیق اعمال سطوح مختلف تیمارهای کودی آهن باعث افزایش غلظت این عنصر در بافت میوه سیب شده است.



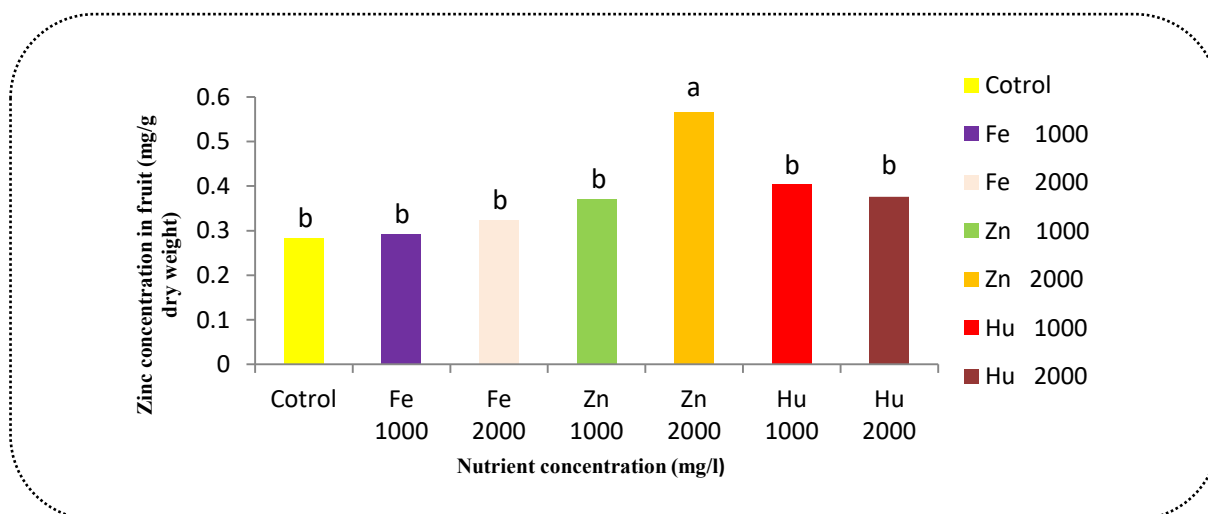
شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر میزان عنصر آهن میوه سیب، رقم گلدن دلشز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 13. Comparison of the average effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on the amount of iron in fruit, of the apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.

اثر تیمارهای تغذیه ای بر غلظت عنصر روی میوه

تاثیر تیمارهای تغذیه ای بکار رفته روی غلظت عنصر روی میوه، نشان دهنده معنی دار بودن اثرات ناشی از آنها در سطح ۱٪ می باشد. نمودار بررسی مقایسه میانگین داده ها نیز نشان داد که اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف تیمارهای کودی آهن، روی و اسید هیومیک وجود داشت. بیشترین میزان غلظت عنصر روی میوه مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر روی میوه با داشتن ۰/۵۶۶ میلی گرم

بر گرم وزن خشک می باشد که از لحاظ آماری نیز این سطح از تیمار نسبت به بقیه تیمارها معنی دار شد بین تیمار کودی ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر روی میوه با بقیه تیمارها تفاوت بسیار معنی داری وجود داشت. که نشان دهنده بهترین تیمار کودی با داشتن بیشترین غلظت عنصر روی میوه می باشد. کمترین میزان غلظت عنصر روی میوه نیز مربوط به تیمار شاهد با داشتن ۰/۳۰۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک در بافت میوه سیب می باشد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک بر میزان عنصر روی میوه سیب، رقم گلدن دلشیز. میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 14- Comparison of the average effect of different levels of iron chelate, zinc sulfate and humic acid on the amount of zinc element in fruit, of the apple cultivar 'Golden Delicious'. Averages with the same letters are not significantly different at the 5% level of Duncan's test.

نتیجه گیری کلی

جاری در تیمار کودی ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلات آهن بدست آمد که با افزایش طول شاخساره تعداد جوانه های حاوی گل نیز افزایش پیدا می کنند که همین اتفاق موجب افزایش درصد تشکیل میوه و در نهایت افزایش عملکرد میوه می گردد. افزایش طول و قطر میوه در تیمارهای کودی ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلات آهن و ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک حاصل شد که به طور مستقیم با افزایش طول و قطر میوه، عملکرد میوه نیز افزایش می یابد. افزایش وزن خشک و چگالی میوه به ترتیب در تیمارهای کودی ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلات آهن و سولفات روی مشاهده شد. افزایش غلظت عناصر روی در برگ و میوه در تیمار کودی ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر سولفات روی مشاهده شد. همچنین افزایش غلظت عناصر آهن در برگ و میوه در تیمار کودی ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلات آهن مشاهده شد. نتایج به دست آمده از این آزمایش از بین سه تیمار کودی مورد استفاده، تیمار کودی کلات آهن با غلظت ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر بیشترین تاثیر را در برخی صفات کمی و کیفی برگ و میوه سیب رقم گلدن دلشیز داشته است. این سطح از تیمار کودی (۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر

در این پژوهش اثر محلول پاشی تیمارهای کودی کلات آهن، سولفات روی و اسید هیومیک هر کدام در سه سطح صفر (شاهد)، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر بر صفات کمی و کیفی سیب رقم گلدن دلشیز مورد بررسی قرار گرفت، نتایج به دست آمده در این آزمایش به طور عمده با نتایج تحقیقات گزارش شده قبلی مطابقت داشت. نتایج این بررسی نشان داد که تیمار کودی کلات آهن به دلیل افزایش طول شاخه سال جاری، طول و قطر میوه، افزایش عملکرد، افزایش وزن خشک میوه، غلظت عناصر برگ و میوه بیشتر از سایر تیمارهای کودی مانند تیمارهای سولفات روی و اسید هیومیک مورد توجه است و بیشترین تاثیر را داشت. با توجه به اینکه یکی از مهمترین اهداف اصلاحی و مدیریتی در باغهای تجاری سیب افزایش عملکرد در واحد سطح می باشد، لذا براساس نتایج بدست آمده از این تحقیق در تیمارهای کودی ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر آهن و اسید هیومیک افزایش عملکرد میوه حاصل شد که باغداران و تولیدکنندگان می توانند از این تیمارهای کودی استفاده کنند. افزایش طول شاخه سال

Improvement, 17(2), 517-529.

Canellas, L., Teixeira, J., Dobbss, L., Silva, L., Medici, C., Zandonadi, L., & Fac DB. (2008). Humic acids cross interactions with root and organic acids. *annals applied biology*, 153, 157-166.

Crespan, G., Zenarola, C., Coolugnati, G., Beregant, F., Gallas, F., & Tonetti, I. (2020). Fertilizer procedures and response of vines, preliminary results of an investigation icabernet sauvignon. *Journal of Notiziario-ERSA*, 13, 21-24.

Dokhani, S., & Beheshti, R. (2004). Qualitative and quantitative analysis of dominant sugars and organic acids in two apple cultivars of Semiram during quantitative and qualitative analysis. *Agricultural and natural resources science and technology journal*, 368-359, (4) 44

Doulati Baneh, H. & Taheri, M. (2009). Effects of Foliar Application of Nutrient Elements on Fruit Set and Quantitative and Qualitative Traits of Keshmeshi Grape Cultivar. *Seed and Plant Production Journal*, 25(1), 103-115.

Farhani, Sh., & Taifeh Noori, M. (2017). Effect of Foliar Spray Humic acid on Quality and Quantity of Apple (*Malus domestica* 'Red Delicious') Fruit in Maragheh Region. the seventh international conferences of applied researches in agricultural sciences, natural resources and environment.

Hadavand, N, Ershadi, A, Karimi, R, Tallaei, A, Asgari & Sarcheshmeh, M (2016). Dense cultivation effect on fruit quality and leaf nutrients concentration (*Malus × domestica* Borkh (in graany smith on M 26 stock, agricultural breeding journal, 18(2). 40-48.

Hasan, Z. A. (2022) Effects of Foliar Spray of Aminoplasmal, Humic Acid and Their Combinations on Vegetative Growth, Leaf Nutrient Content and Some Fruit Quality Traits in Apple (*Malus domestica* Borkh) tree (Doctoral dissertation).

Qadri, N., Vazavi, A., Talai, A., & Babalar, M. (2003). The effect of boron (B) and zinc (Zn) foliar application and the concentration of these elements in leaves and fruits and some characteristics of almond fruit. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 34(1):125-135.

Karimi, R. (2012), Comparison of fruit size of Golden Delicious and Red Delicious varieties on MM106 stock with production and standard level and relation to fruit quality, the first national congress of modern science and technologies in agriculture, Zanjan university, September 19-21

آهن) باعث افزایش عملکرد میوه، وزن خشک میوه، غلظت عنصر آهن در برگ و میوه شد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که در خاکهای آهکی، محلول پاشی آهن و روی می تواند منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی سیب رقم گلدن دلشز شود.

پیشنهادهات

نتایج این تحقیق می تواند آغازی برای پژوهش های بیشتر در زمینه کاربرد کودهای زیستی و بیولوژیکی جهت افزایش بهینه خصوصیات کمی و کیفی در سیب رقم گلدن دلشز شود. نتایج بدست آمده از این پژوهش امید است که مورد توجه خاص پژوهشگران و باغداران در زمینه تولید محصول با کیفیت و مقرون به صرفه اقتصادی قرار گیرد. از بین سه تیمار کودی مورد استفاده در این پژوهش تیمار کودی کلات آهن با غلظت ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر بیشترین تاثیر را در برخی صفات کمی و کیفی از جمله عملکرد میوه، وزن خشک میوه، غلظت عنصر آهن در برگ و میوه سیب رقم گلدن دلشز شده است. لذا این سطح از تیمار کودی جهت افزایش کمی و کیفی در باغات میوه سیب توصیه می شود.

منابع

Abdel-Shafey, H., Hegemann, W., & Teiner, A. (1994). Digestion with concentrated HNO₃ and H₂O₂. *Environ ManageHealth*, 5, 21-24

Azizi, M, and Malkuti, M (1380). Comparison of the methods of application of low consumption elements in relation to the yield and quality of grape fruit, *Journal of Soil and Water Sciences*. Volume 12, Issue 14, Page 203-195.

Bonnet, M., Cameres, O., & Veisserire, P (2020). Effect of zinc and influence of Acremonium lolii on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activities of ryegrass (*Loliumperenne* L. cv. Apollo), *Journal of experimental, Botany*, 51, 945-953.

Bahrami, S., Soleimani, A., & Habibi, F. (2015). Effect of foliar spraying by humic acid on mineral leaf composition, yield and fruit quality of apple cv. 'Granny Smith'. *Journal of Crops*

- Robinson, B., Shaulis, N., Smith, C., & Tallman, F. (1959). Changes in the malic and tartaric and contents of 'Concord' grapes. *Food Research*, 24, 176-180.
- Shehata, S. Gharib, A. & Shalaby, EA. (2011). Influence of compost, amino and humic acids on the growth, yield and chemical parameters of strawberries. *Medicinal Plants Research*, 5, 2304-2308.
- Salari, A. & Rostgar, S. (2021). The effect of zinc and iron foliar nutrition on some quantitative and qualitative characteristics of Orlando Tangelo, *Journal of Plant Process and Function*, Volume 10, Number 41, pp. 157-169.
- Stoky, M., Karimi alouijeh, M., & Sfandari, H (2016). Apple tree nurturing manual. Tehran. Agricultural and natural resources education Tak press.
- Willia, F. B. (1991). Nutrient deficiencies and toxicities in crop plant. Colleg of Agricultural and Natural Resources Texas Tech. University Lubbock.
- Wojcik, P. M., Krze, A. & Winska, D. (1995). Effect of foliar nutrition on cropping and quality of apples.
- Zangeneh, N., & Rasouli, M. (2017). Effect of potassium fertilizers and Humic acid on the Pigments and activity of antioxidants in grape 'Bidaneh Sefid'. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(3), 701-714.
- Khodabakhsh, S, Malki, M, Rasouli, M (2014). Studying the effect of iron and zinc chelate nanofertilizers on growth and physiological factors of grapes (*Vitis vinifera L.*). Post-graduate thesis. Malayer university.
- Malakouti, M, and tehrani, M (2012), The role micro-nutrients on increasing of yield and quality improving of agricultural crop. Tehran, Tarbiat Modares university press.
- Mohebi, M., Ebadi, A., Taheri, M., Zarrabi, M., Bi Hamta, M. (2022), The effect of different levels of foliar application of zinc, iron and manganese on the reproductive characteristics and yield of *Vitis vinifera L.* grapes in some vineyards of Zanzan province. *Journal of Horticultural Sciences*. Volume 36, Number 2, pp. 457-443
- Nardi, S. Pizzeghello, D. Muscolo, A. & Vianello, A. (2014). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology Biochemistry*, 34, 1527-1536.
- Neri, D. Lodolini, EM. Luciano, M. Sabbatini, P. & Savini, G. (2002). The persistence of humic acid droplets on leaf surface. *Acta Horticulture*, 594, 303-314.
- Piri, H., Maafpurian, G., Darskar, M. (2008). Investigating the effect of nitrogen, phosphorus, potassium and some low consumption elements on quantitative and qualitative characteristics of Asgari grape variety. Summary of articles of the 4th Congress of Horticultural Sciences of Iran. Page 145.

Investigation of the effect of vermicompost and biochar on some quantitative and qualitative characteristics of tomatoes under salinity conditions

Alireza Ladan moghadam

*Department of Horticulture, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran.
LMAR13201396@Yahoo.com*

Received Date: 14/04/2022

Accepted Date: 15/10/2022

Abstract

Introduction: In recent years, organic fertilizers application has increased to reduce the use of chemical fertilizers. The fertilizer management is one of the greatest challenges of agriculture in the 21st century. Biochar and vermicompost are the most important types of organic fertilizers (Wu *et al.*, 2005). Biochar is a by-product of the biodegradable pyrolysis process and is considered to be a stable chemical and biological carbon reservoir in the soil (Schmidt and Noack, 2000). Vermicompost is a fertilizer obtained from the excretion of earthworms. A special type of worm called *Eisenia foetida*, also known as composting worm, is used to make vermicompost (Krishnamoorthy and Vajranabhaiah, 1986). Yanga *et al.* (2015) compared the effect of organic and chemical fertilizers on tomato yield and showed that vermicompost increased the activity of phosphatase and urease enzymes by increasing the activity of nutrients and subsequently improved tomato fruit yield. The aim of this study was to investigate the effect of two levels of biochar and vermicompost on the characteristics of tomato plants in saline conditions.

Material and methods: This research was conducted in a research greenhouse located in Gilan province, Langrud city. The present study is factorial in the form of a randomized complete block design with three replications. Factors studied include two levels of biochar and two levels of vermicompost in both saline and non-saline conditions on cherry tomatoes. Performance parameters, number of fruits, fruit weight and plant height, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, iron and sugar were measured in the plant. Soil characteristics including soil texture, acidity, electrical conductivity, phosphorus, potassium, nitrogen and iron, etc. were measured. Data were analyzed statistically using SAS program (SAS Institute Inc.1999) and Duncan's Multiple Range test at 0.05 significance level as outlined by Little and Hills (1978).

Results and discussion: The results of comparing the average effect of organic fertilizers in saline and non-saline conditions on the yield of tomato plants are shown in Figure 1. The highest yield and iron in the treatment of the second level of vermicompost in non-saline conditions was 1247 g / pot and 0.006%, respectively. These results also show that salinity reduced the yield by 68%. Many researchers say that increasing the yield of agricultural products due to the addition of biochar-biomass is a function of the quality and quantity of biochar (Deenik *et al.*, 2010; Major *et al.*, 2010).

Figure 2 shows the results of comparing the average effect of biochar and vermicompost treatments on salinity on fruit phosphorus levels. As can be seen, the highest amount of fruit phosphorus was obtained in the treatment of the second level of vermicompost without salinity equal to 0.29%. The lowest amount of phosphorus was obtained in the treatment of 0.21%. According to Renato *et al.* (2003), increased composting into the soil increases soil phosphorus. Reinecke *et al.* (1992) also noted that vermicompost makes phosphorus available to plants

Conclusions: Our results show that the second level of vermicompost had the best improvement in the quantitative and qualitative characteristics of tomatoes. Generally, according to the obtained results, the use of biochar and vermicompost from the remnants of the tea plant and municipal waste can be recommended as a suitable source to provide the nutrients needed by tomatoes.

Keywords: Tea, Pyrolysis, Plant nutrition, Fertilizer, Yield.

بررسی اثر ورمی کمپوست و زغال زیستی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی گوجه فرنگی تحت شرایط شوری

علیرضا لادن مقدم

گروه باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران
LMAR13201396@Yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۵

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از کودهای آلی جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی افزایش یافته است. زغال زیستی و ورمی-کمپوست از مهمترین انواع کودهای آلی هستند. هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر دو سطح زغال زیستی و ورمی-کمپوست بر ویژگی‌های گیاه گوجه فرنگی در شرایط شور است. مطالعه حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار صورت گرفته است. فاکتورهای مورد مطالعه شامل دو سطح زغال زیستی پسماند چای (۲ و ۴ درصد) و دو سطح ورمی-کمپوست (۲۰ و ۴۰ درصد حجمی) در دو شرایط شور و غیر شور بر روی گوجه فرنگی رقم چری است. پارامترهای عملکرد میوه، تعداد میوه، وزن میوه و ارتفاع گیاه، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن و قند در میوه گیاه اندازه‌گیری شد. بیشترین عملکرد و آهن در تیمار ۴۰ درصد ورمی-کمپوست در شرایط بدون شوری به ترتیب معادل ۱۲۴۷ گرم در هر گلدان و ۰/۰۰۶ درصد به دست آمده است. همچنین نتایج نشان داد که شوری سبب کاهش ۶۸ درصدی در عملکرد شده است. نتایج به دست آمده نشان داده است که سطح دوم ورمی-کمپوست دارای بهترین بهبود در ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه گوجه فرنگی بود. نتایج نشان داده است که استفاده از دو نوع کود آلی ورمی-کمپوست و زغال زیستی پسماند چای سبب افزایش کمیت و کیفیت گوجه فرنگی شده است. به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان استفاده از زغال زیستی و ورمی-کمپوست حاصل از بقایای بوته چای و پسماند شهری به عنوان منبع مناسبی جهت تامین عناصر غذایی مورد نیاز گوجه فرنگی را توصیه کرد.

کلمات کلیدی: تغذیه گیاهی، چای، عملکرد، کود، گرماکافت.

مقدمه

رشد سریع جمعیت کره زمین و نیاز به تامین غذا، استفاده هر چه بیشتر از سموم و کودها بر سلامتی انسان و آلودگی محیط زیست خطرناک است (سلطانی طولارود و همکاران، ۱۳۹۳). مدیریت کوددهی در مزارع کشاورزی به عنوان یکی از مهمترین پالش‌های قرن ۲۱ است (Czekala et al., 2018). در دهه‌های اخیر از کودهای شیمیایی و آلی به عنوان ابزاری برای دستیابی به حداکثر تولید در واحد سطح استفاده می‌شود. امروزه کودهای آلی جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی جهت افزایش حاصلخیزی خاک و تولید محصولات در کشاورزی پایدار به شمار می‌روند (Balogh et al., 2006; Wu et al., 2005).

زغال زیستی یک محصول جانبی است که بر اثر فرآیند پیرولیز زیست‌توده تولید شده و به عنوان یک مخزن شیمیایی و زیستی پایدار کربن در خاک در نظر گرفته می‌شود (Schmidt and Noack, 2000). کاربرد زغال زیستی در خاک به عنوان یک روش برای جلوگیری از تغییرات آب و هوا از راه توقف بلند مدت کربن در خاک پیشنهاد شده است (Woolf et al., 2010). پسماندهای کشاورزی عمدتاً از مواد لیگنوسلولزی شامل سلولز، همی سلولز و لیگنین تشکیل شده است. زغال زیستی یک محصول جانبی غنی از کربن می‌باشد که با گرما دادن زیست‌توده تحت شرایط اکسیژن محدود یا بدون اکسیژن که اصطلاحاً به آن گرماکافت گفته می‌شود ایجاد می‌گردد (Kookana et al., 2011). استفاده از زغال زیستی و کربن فعال، یک راهبرد مهم برای افزایش مواد آلی خاک و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی محسوب می‌شود (Lehmann, 2007). پژوهشگران متعددی دریافتند که در جریان فرآیند تولید زغال زیستی درصد زیادی از عناصر از جمله کلسیم، منیزیم، پتاسیم و فسفر و عناصر کم مصرف و همچنین حدود نیمی از نیتروژن و گوگرد موجود در زیست‌توده در ساختار زغال زیستی باقی خواهد ماند

(Laird, 2007; Fowles, 2007). همکاران (2010) با کاربرد زغال زیستی حاصل از کودهای دامی به خاک‌های زراعی نشان دادند که کاهش چشمگیر در آشبویی عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، منیزیم و سیلیس مشاهده گردید. Mukherjee و همکاران (2013) تاثیر فوق‌العاده زغال زیستی بر چرخه عناصر و جلوگیری از هدرروی کربن، نیتروژن و فسفر در خاک را نشان دادند و بیان کردند که زغال زیستی دارای دامنه‌ای از شکل‌های عناصر غذایی بوده که با سرعت‌های متفاوتی آزاد شده و تاثیرات متفاوتی را بر حاصلخیزی خاک دارند. شیرابه خروجی از خاک لومی تیمار شده با زغال زیستی ضایعات گردو دارای مقادیر بالاتر پتاسیم و سدیم و مقدار کمتر فسفر، کلسیم، منیزیم و روی نسبت به خاک شاهد بود (Novak et al., 2009). Downie و همکاران (2009) بهبود بهره‌وری زراعی خاک اصلاح شده با زغال زیستی را به دلیل سطح ویژه بالای مخلوط خاک زغال زیستی دانستند. Akhtar و همکاران (2014) اثر زغال زیستی در شرایط مختلف آبیاری بر روی ویژگی‌های فیزیولوژیکی، کمی و کیفی گوجه فرنگی بررسی کردند. این پژوهشگران از زغال زیستی ساخته شده از سبوس برنج در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در دو سطح صفر و پنج درصد استفاده کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که افزایش مقدار زغال زیستی در تمام تیمارهای آبیاری سبب افزایش وزن میوه تازه، سرعت فتوسنتز، ضریب کارایی آب و بسیاری از ویژگی‌های گیاه گوجه فرنگی شده است. در نهایت این پژوهشگران بیان کردند که استفاده از زغال زیستی سبب بهبود کیفیت و کمیت گوجه فرنگی می‌شود. زغال زیستی با تاثیر بر ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز سبب بهبود شرایط رشد برای گیاهان می‌شود (Głab et al., 2016; ebrahimzadeh omran et al., 2020).

ورمی‌کمپوست به کودی اطلاق می‌شود که از مواد دفعی کرم‌های خاکی به دست می‌آید. برای تهیه ورمی‌کمپوست از گونه‌ای خاص از کرم به نام *Eisenia foetida* که به کرم

حساب می‌آید (Flores et al., 2010). در یک دهه‌ی اخیر مساحت زیر کشت و میزان تولید این محصول به ترتیب ۲۵ و ۴۰ درصد افزایش پیدا کرده است. ایران نیز در سال ۲۰۱۱ با سطح زیر کشت ۱۴۷ هزار هکتار و تولید برابر با ۶۸۲۴ هزار تن از نظر تولید در رتبه هفتم جهان قرار دارد (FAO, 2011). بنابر آخرین گزارش ارائه شده توسط FAO در سال ۲۰۱۷ میزان کل سطح زیر کشت گوجه فرنگی در ایران ۱۵۳۷۳۵ هکتار بود که با عملکرد متوسط ۴۰/۱۸ تن در هکتار، دارای تولید سالانه ۶۱۷۷۲۹۰ تن می‌باشد. گوجه فرنگی منبع با ارزشی از ویتامین A و C، و همچنین تعدادی از مواد معدنی، از جمله کلسیم، آهن، منگنز، روی و به ویژه پتاسیم، محسوب می‌شود (Harland et al., 2009).

هدف از انجام این مطالعه بررسی و مقایسه عملکرد دو نوع کود آلی شامل زغال زیستی تولید شده از بقایای چای و ورمی کمپوست تولید شده از پسماندهای شهری در شرایط شور و غیر شور بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه گوجه فرنگی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه پژوهشی واقع در استان گیلان شهرستان لنگرود انجام شد. برای انجام این پژوهش از یک خاک زراعی در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، ماده آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (Walkey and Black, 1934)، EC خاک به روش رودس (Roades, 1996)، اسیدیته خاک در سوسپانسیون ۱:۲/۵ (McLean, 1982) با استفاده از دستگاه pH متر مدل اوریون اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری نیتروژن کل خاک با استفاده از کج‌دال (Bremner, 1996)، اندازه‌گیری فسفر خاک به روش اولسن (Page, 1982)، اندازه‌گیری پتاسیم خاک با استفاده از دستگاه فلیم‌فتمتر (Page, 1982) و آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل واریان ۲۲۰ به روش لیندزی و نورول اندازه‌گیری شد (Lindsay and Norwell, 1960).

کمپوست ساز نیز معروف می‌باشد، استفاده می‌شود (Krishnamoorthy and Vajranabhaiah, 1986). کمپوست علاوه بر افزایش ماده آلی و اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش عملکرد، مشکل ناشی از انباشت پسماندها را نیز تا حدودی مرتفع می‌سازد. اثرات مثبت کاربرد انواع کودهای آلی در گیاهان مختلفی بررسی شده و مورد تأکید قرار گرفته است (Cavender et al., 2003). ورمی کمپوست حاوی ریزجانداران هوازی مفید مانند ازتوباکترها و عاری از باکتری‌های غیر هوازی، قارچ‌ها و ریزجانداران پاتوژن می‌باشد. وجود خلل و فرج فراوان در این کمپوست، ظرفیت تهویه، زهکشی و نگه‌داری آب در خاک را در آن تقویت کرده است (Atiyeh et al., 2001). بالا بودن میزان عناصر غذایی مثل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم در مقایسه با سایر کودهای آلی و به علاوه دارا بودن عناصر ریز مغذی مانند آهن، روی، مس و منگنز از دیگر مزایای ورمی کمپوست است (Atiyeh et al., 2000). Yanga و همکاران (2015) با مقایسه اثر انواع کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد گوجه فرنگی نشان دادند که کود ورمی کمپوست با افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و اوره‌آز به ترتیب باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی فسفر و نیتروژن و به دنبال آن بهبود عملکرد میوه گوجه فرنگی شده است. در پژوهشی Abduli و همکاران (2013) اثر ورمی کمپوست بر گیاه گوجه فرنگی را بررسی کردند. این پژوهشگران نشان دادند که ورمی کمپوست سبب افزایش عملکرد و مقدار قند میوه شده است. مریوانی و همکاران (۱۳۹۳) نیز در مطالعه‌ای نشان دادند که استفاده از کودهای آلی سبب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه گوجه فرنگی شده است. مطالعات زیادی بر روی اثر ورمی کمپوست بر عملکرد گیاهان مختلف صورت گرفته است (Pritam and Garg, 2010; Warmanand, 2010).

گوجه فرنگی از خانواده بادمجانیان یا Solanaceae، با نام علمی *Solanum lycopersicum* است. گوجه فرنگی بعد از سیب زمینی دومین محصول مهم باغبانی در جهان به

برای انجام این پژوهش از گوجه فرنگی رقم چری استفاده شد. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل زغال زیستی (B)، ورمی کمپوست (V) و شوری (S) است. در این مطالعه از یک خاک غیر شور (S1) استفاده شده است و برای بخش بررسی اثر شوری، همان خاک به صورت دستی با اضافه کردن نمک سدیم کلرید شور شد (S2). برای این منظور EC خاک اولیه با اضافه کردن محلول سدیم کلرید در چند مرحله به سه دسی زیمنس بر متر رسید. در این مطالعه از پنجاه درصد نیاز گیاه به کودهای شیمیایی به طور محلول (محلول غذایی Rorison) استفاده شد و مابقی نیاز گیاه از طریق تیمارهای اعمال شده تامین شده است. برای تهیه زغال زیستی پسماند چای در ظرف مخصوص که برای این کار ساخته شده است در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد بود به مدت ۲/۵ ساعت قرار گرفت. تیمارهای دو (B1) و چهار درصد وزنی (B2) از زغال زیستی در نظر گرفته شد. تیمارهای ورمی کمپوست شامل بیست (V1) و چهل درصد (V2) حجمی گلدان‌ها در نظر گرفته شد. برای تهیه ورمی کمپوست از پسماندهای شهری (شهرستان رشت) استفاده شد که بعد از خرد شدن در جعبه‌های مخصوص ریخته شده و رطوبت آنها در حد ۶۰ درصد اشیاع به مدت پنج هفته در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نگهداشته شد. سپس به جعبه‌ها تعداد ۵۰ عدد کرم از گونه *Eisenia foetida* اضافه شد و هوادهی و رطوبت جعبه به صورت منظم در طول سه ماه بررسی شد. تیمارهای مورد نظر به خوبی با خاک مورد استفاده مخلوط شده و در گلدان‌های پنج کیلویی ریخته شد. میانگین دمای روزانه و شبانه گلخانه در طول دوره تولید نشاء به ترتیب برابر با 30 ± 2 و 18 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی آن ۹۰ درصد بود. بذرها در عمق دو سانتی‌متری کشت و زمانی که دانه‌ها به مرحله دو برگگی رسیدند به گلدان‌های انتقال داده شدند. کنترل علف‌های هرز در گلدان‌ها به

روش وجین دستی انجام شد. آبیاری گلدان‌ها با توجه به ویژگی‌های خاک و نیاز گیاه به صورت مرتب انجام شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته از قسمت طوقه به بالای گیاه در نظر گرفته شد. عملکرد و تعداد میوه نیز با توزین میوه‌های هر بوته در یک مرحله به دست آمد. سنجش میزان قندهای میوه با روش فهلینگ به دست آمد و شاخص کلروفیل با دستگاه اسپد دستی (کلروفیل متر دستی مدل ۵۰۲) اندازه‌گیری شد. این دستگاه میزان نور قرمز طول موج ۶۵۰ نانومتر عبور کرده از برگ را که به مقدار زیادی توسط کلروفیل جذب شده را نسبت به نور ناحیه مادون قرمز طول موج ۹۴۰ نانومتر آنالیز می‌کند. پس از میوه‌دهی گیاهان، میوه‌ها برداشت شده و به آزمایشگاه منتقل داده شدند و در دمای ۷۰ درجه خشک و سپس آسیاب شد و از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند. میزان فسفر میوه با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر، میزان پتاسیم میوه با استفاده از فلیم‌فوتومتر و میزان کلسیم میوه با استفاده از جذب اتمی به دست آمد (Johnson and Ulrich, 1959). برای اندازه‌گیری و استخراج عناصر غذایی از گیاه و میوه، یک گرم از بخش هوایی خشک شده گیاه یا بافت میوه خشک شده در ۷۵ درجه سانتی‌گراد را با ترازوی دیجیتالی وزن می‌شود و به بوته‌های چینی منتقل و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ تا ۸ ساعت در کوره قرار می‌گیرد. بعد از تبدیل شدن نمونه‌ها به خاکستر، خاکستر حاصله در ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال حل و بعد از مدتی حرارت دادن ملایم بر روی بن ماری عمل عصاره‌گیری و صاف کردن در یک بالن ژوژه صورت می‌گیرد (Inoue et al., 2010). مقدار نیتروژن میوه هم با استفاده از کج‌لدال اندازه‌گیری شد (امامی، ۱۳۷۵) و مقدار آهن به روش لیندزی و نورول (Lindsay and Norwell, 1960) اندازه‌گیری شد.

پس از جمع‌آوری اطلاعات ابتدا تجزیه و تحلیل آنها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد و مقایسه میانگین داده‌ها نیز با آزمون LSD انجام شد (Little and

Hills, 1978). کلیه تجزیه‌های آماری و محاسبات با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و رسم نمودارها نیز توسط نرم افزار Excel 2013 صورت گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک و کودهای آلی

در جدول ۱ ویژگی‌های خاک مورد مطالعه نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که بافت این خاک رسی بوده و دارای واکنش خاک اسیدی است. میزان هدایت الکتریکی خاک نیز پایین بوده و اثرات منفی فراوانی املاح در خاک وجود ندارد. همچنین مشاهده می‌شود که زغال زیستی دارای اسیدیته نسبتاً بیشتری از ورمی کمپوست است.

ارتفاع بوته

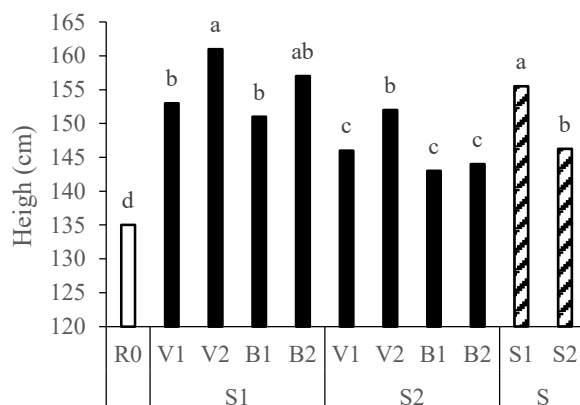
در شکل ۱ نتایج مقایسه میانگین تغییرات ارتفاع بوته تحت تاثیر تیمارهای ورمی کمپوست و زغال زیستی آمده است. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار بدون شوری و سطح دوم (۴۰ درصد)

ورمی کمپوست (۱۶۱ سانتی‌متر) و تیمار شاهد (۱۳۵ سانتی‌متر) است. نتایج نشان داده است که با افزایش ورمی کمپوست و زغال زیستی ارتفاع گیاه گوجه فرنگی افزایش معنی‌داری یافته است. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر شوری نیز نشان داده است که با افزایش شوری ارتفاع گیاه به صورت چشمگیری کاهش یافته است. مشاهده می‌شود که در تیمارهای تحت تاثیر شوری ارتفاع گیاه تغییرات چندانی ندارد و فقط در تیمار سطح دوم ورمی کمپوست نسبت به سایر تیمارهای شوری افزایش معنی‌داری داشته است. Graber و همکاران (2010) تأثیر افزودن (۱-۵٪) زغال زیستی چوب فقیر از نظر مواد غذایی چوب را برحسب وزن، روی گیاه فلفل و گوجه فرنگی بررسی کردند، نتایج این پژوهشگران نشان داد که افزایش زغال زیستی باعث افزایش طول بوته‌ها گوجه فرنگی شده است. علت افزایش ارتفاع بوته به تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه توسط زغال زیستی، و در نتیجه افزایش رشد رویشی گیاه است.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ورمی کمپوست و زغال زیستی مورد مطالعه

Table 1. Some physical and chemical soil properties, vermicompost and biochar.

Soil properties	Value	Compost properties	Value	Biochar properties	Value
Clay (%)	43	pH	7.30	pH	7.65
Sand (%)	17	EC (dS/m)	3.30	EC (dS/m)	1.53
Silt (%)	40	N (%)	2.10	K (mg/kg)	30.6
Soil texture	Caly	K (mg/kg)	1432	OC (%)	6.80
EC (dS/m)	0.9	P (mg/Kg)	3900	P (mg/Kg)	724
pH	5.75	Fe (mg/Kg)	61.40		
OC (%)	0.80				
N (%)	0.21				
mg/kg(K	140				
Ca (meq/L)	0.60				
P (mg/Kg)	10				
Fe (mg/Kg)	46.2				



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر ارتفاع بوته

Figure 1. Comparison of the average effect of different treatments on plant height

R0؛ خاک شاهد، S1؛ خاک غیر شور، S2؛ خاک شور، B1 و B2 به ترتیب سطح دو و چهار درصد زغال زیستی، V1 و V2 به ترتیب سطح بیست و چهل درصد ورمی کمپوست هستند.

R0; Control soil, S1; Non-saline soils, S2; Saline soil, B1 and B2 are the second and fourth percent levels of biochar, respectively, while V1 and V2 are the twenty and forty percent levels of vermicompost, respectively.

در هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$

وزن میوه

سبب بهبود وزن میوه گوجه فرنگی شده است. علت افزایش وزن میوه را می‌توان به بهبود وضعیت تغذیه گیاه ناشی از مصرف کودهای ورمی کمپوست و زغال زیستی نسبت داد. این مواد که به خاک اضافه شده‌اند همانگونه که در جدول ۱ نمایش داده شد است دارای املاح معدنی هستند. تامین بودن عناصر غذایی و سایر ویژگی‌های رشد سبب بهبود در وزن میوه و سایر مشخصات عملکردی در گیاه می‌شود.

تعداد میوه

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای کود آلی بر تعداد میوه در بوته در شکل ۳ آمده است. نتایج نشان داده است که بین تیمارهای سطح دوم ورمی کمپوست و زغال زیستی در شرایط غیر شور و سطح دوم (۴۰ درصد) ورمی کمپوست در شرایط شور اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. همچنین در سطوح اول (۲۰ درصد) ورمی کمپوست و زغالی زیستی (۲ درصد) در شرایط شرایط شور و غیر شور نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. بیشترین تعداد میوه در تیمار سطح دوم (۴۰ درصد) ورمی کمپوست

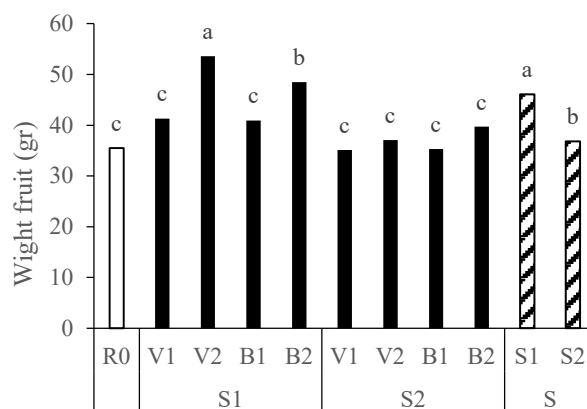
در شکل ۲ نتایج مقایسه میانگین تغییرات وزن تک میوه تحت تاثیر تیمارهای مورد مطالعه آمده است. بیشترین و کمترین وزن میوه مربوط به تیمارهای سطح دوم (۴۰ درصد) ورمی کمپوست (بدون شوری) و سطح اول (۲۰ درصد) ورمی کمپوست (با شوری) به ترتیب برابر با ۵۳/۶ و ۳۵/۱ گرم به دست آمده است. مشاهده می‌شود که به جز تیمارهای سطح دوم (۴۰ درصد) ورمی کمپوست و زغال زیستی (۴ درصد) سایر تیمارهای دارای اختلاف معنی‌داری نیستند. نتایج نشان داده است که شوری سبب عدم نمایش تاثیر مثبت کاربرد کودهای آلی شده است. در شرایط غیر شور اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای سطح اول (۲۰ درصد) ورمی کمپوست و زغال زیستی (۲ درصد) مشاهده نشده است. نتایج مقایسه میانگین اثر ساده شوری نیز نشان داده است که شوری باعث کاهش معنی‌داری در وزن میوه شده است. Yilangai و همکاران (2014) تأثیر زغال زیستی چوب و پوشش گیاهی را روی رشد گیاه گوجه فرنگی در جوزه، مرکز شمال نیجریه بررسی کردند. این پژوهشگران بیان کردند که استفاده از زغال زیستی

شاهد، (زغال زیستی و خاک)، (زغال زیستی و خاک و کود) و (خاک و کود شیمیایی) در مخلوط تیماری زغال زیستی و خاک و کود گزارش کردند و علت آن را فراهمی عناصر مغذی فسفر، نیتروژن و هدایت الکتریکی خاک توسط زغال زیستی گزارش کردند.

عملکرد

نتایج مقایسه میانگین اثر کودهای آلی در شرایط شور و غیر شور بر عملکرد بوته‌های گوجه فرنگی در شکل ۴ نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که همانند سایر پارامترهای مرفولوژیکی دیگر (ارتفاع بوته، وزن میوه و تعداد میوه) عملکرد نیز در تیمار سطح دوم (۴۰ درصد) ورمی کمپوست در شرایط غیر شور (۱۲۴۷ گرم) به دست آمده است. کمترین عملکرد نیز در تیمار شاهد برابر با ۴۳۹ گرم به دست آمده است. نتایج نشان داده است که افزایش مقدار ورمی کمپوست و زغال زیستی در هر دو شرایط شور و غیر شور سبب افزایش معنی‌داری در عملکرد شده است. با این اختلاف که در تیمارهای تحت تاثیر شوری این

در شرایط غیر شور معادل ۲۴ عدد به دست آمده است. در بخش انتهایی شکل ۳ نتایج اثر ساده شوری بر تعداد میوه نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که شوری سبب کاهش معنی‌دار بر تعداد میوه گوجه فرنگی شده است. همانگونه که در بخش وزن میوه اشاره شد علت افزایش تعداد میوه را نیز می‌توان به بهبود شرایط رشد گیاه نسبت داد. هر دو ماده استفاده شده زغال زیستی و ورمی کمپوست سبب تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌شوند. از طرف دیگر اضافه شدن ورمی کمپوست و زغال زیستی با تاثیری که بر روی ویژگی‌های فیزیکی خاک دارند باعث بهبود کارایی استفاده از آب، بهبود وضعیت تهویه خاک و غیر می‌شوند. مطالعات زیادی در خصوص اثرات مثبت زغال زیستی بر بهبود وضعیت فیزیکی خاک صورت گرفته است (Burrell et al., 2016; Carvalho et al., 2016; Laxman Rao et al., 2017). بنابراین به طور کلی شرایط رشد گیاه در شرایط مناسبتری نسبت به حالت شاهد قرار گرفته است و گیاه تولید میوه را افزایش می‌دهد. Hossain و همکاران (2010) بیشترین تعداد میوه گوجه فرنگی را بین تیمارهای



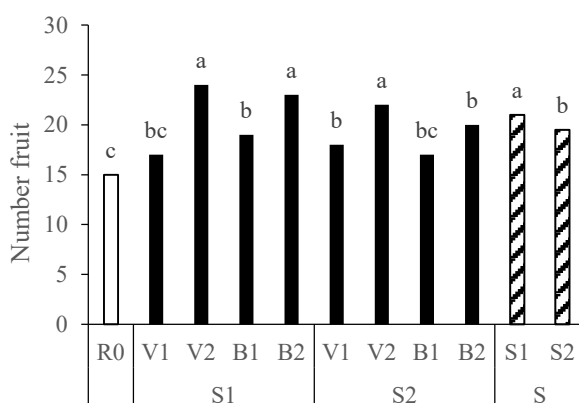
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر وزن تک میوه

Figure 2. Comparison of the average effect of different treatments on Wight fruit

R0؛ خاک شاهد، S1؛ خاک غیر شور، S2؛ خاک شور، B1 و B2 به ترتیب سطح دو و چهار درصد زغال زیستی، V1 و V2 به ترتیب سطح بیست و چهل درصد ورمی کمپوست هستند.

R0; Control soil, S1; Non-saline soils, S2; Saline soil, B1 and B2 are the second and fourth percent levels of biochar, respectively, while V1 and V2 are the twenty and forty percent levels of vermicompost, respectively.

Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر تعداد میوه

Figure 3. Comparison of the average effect of different treatments on number fruit

R0؛ خاک شاهد، S1؛ خاک غیر شور، S2؛ خاک شور، B1 و B2 به ترتیب سطح دو و چهار درصد زغال زیستی، V1 و V2 به ترتیب سطح بیست و چهل درصد ورمی کمپوست هستند.

R0; Control soil, S1; Non-saline soils, S2; Saline soil, B1 and B2 are the second and fourth percent levels of biochar, respectively, while V1 and V2 are the twenty and forty percent levels of vermicompost, respectively.

در هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

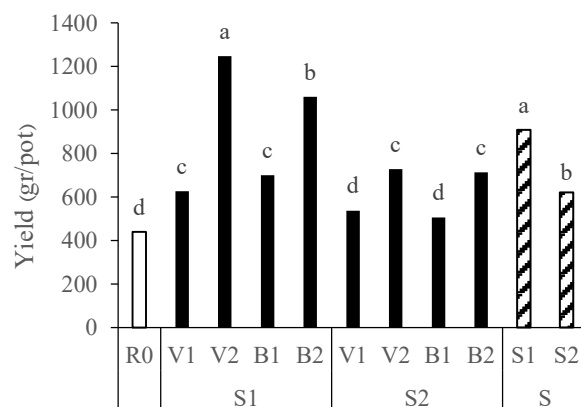
Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$

استفاده از کودهای آلی سبب افزایش عملکرد گوجه فرنگی شده است که با نتایج به دست آمده در یک راستا است. ویسی و همکاران (۱۳۹۳) نیز نتایج مشابهی به دست آوردند و بیان کردند که استفاده از ورمی کمپوست باعث بهبود عملکرد گوجه فرنگی می‌شود. Hossain و همکاران (2010) به منظور بررسی تأثیر زغال زیستی لجن فاضلاب روی کیفیت خاک و همچنین رشد، عملکرد و فراهمی زیستی فلزات در گیاه گوجه فرنگی آزمایشات گلدانی را در یک محیط کنترل شده توسط چهار تیمار خاک، مخلوط خاک با زغال زیستی لجن فاضلاب، مخلوط خاک با زغال زیستی و کود و مخلوط خاک و کود انجام دادند. نتایج نشان داد استفاده از زغال زیستی تولید گوجه فرنگی را نسبت به شاهد ۶۴ درصد افزایش داده است و حداکثر عملکرد تولید گوجه فرنگی در تیمار مخلوط زغال زیستی و کود مشاهده شد. نتایج آنالیز خاک این پژوهشگران نشان داد زغال زیستی فراهمی عناصر مغذی فسفر، نیتروژن و هدایت الکتریکی خاک را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. علت بهبود عملکرد ناشی از مصرف زغال زیستی

عملکرد کاهش معنی‌داری داشته است. بیشترین عملکرد حاصل از کاربرد زغال زیستی در تیمار سطح دوم (۴ درصد) در شرایط غیر شور معادل ۱۰۶۱ گرم به دست آمده است. در شرایط غیر شور به صورت میانگین دو سطح ورمی کمپوست (۹۳۶ گرم در گلدان) دارای عملکرد بیشتری نسبت به میانگین دو سطح زغال زیستی (۸۸۰ گرم در گلدان) بوده است. به عبارتی استفاده از ورمی کمپوست سبب افزایش عملکرد به میزان ۵۶ گرم در هر گلدان شده است. در شرایط شور افزایش عملکرد ورمی کمپوست نسبت به زغال زیستی برابر با ۲۲ گرم در هر گلدان بوده است. نتایج نشان داده است که به صورت میانگین شوری سبب کاهش ۶۸ درصد عملکرد گیاه شده است. این کاهش عملکرد ناشی از شوری در تیمارهای ورمی کمپوست و زغال زیستی به ترتیب معادل ۳۰۴ و ۲۷۰ گرم در هر گلدان بوده است. کشاورز (۱۳۹۲) نشان داد که کمپوست سبب افزایش ۴۰ درصدی عملکرد گوجه فرنگی شده است که با نتایج به دست آمده از این پژوهش مطابقت دارد. میرزایی تالارپشتی و رستمی (۱۳۹۵) نشان دادند که

پژوهشگران بیان کردند که افزایش عملکرد محصولات کشاورزی تحت تاثیر اضافه شدن زغال زیستی تابعی از کیفیت و کمیت زغال زیستی است (Gaskin et al., 2010; Deenik et al., 2010; Major et al., 2010).

را می‌توان به بهبود شرایط اسیدیته خاک، کاهش آبشویی عناصر، بهبود وضعیت ریزجانداران و جذب و آزادی سازی عناصر در خاک نسبت داد (Rondon et al., 2007; Chan et al., 2007; Deluca et al., 2015). بسیاری از



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد

Figure 4. Comparison of the average effect of different treatments on plant yield

R0: خاک شاهد، S1: خاک غیر شور، S2: خاک شور، B2 و B1 به ترتیب سطح دو و چهار درصد زغال زیستی، V1 و V2 به ترتیب سطح بیست و چهل درصد ورمی کمپوست هستند.

R0; Control soil, S1; Non-saline soils, S2; Saline soil, B1 and B2 are the second and fourth percent levels of biochar, respectively, while V1 and V2 are the twenty and forty percent levels of vermicompost, respectively. در هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$

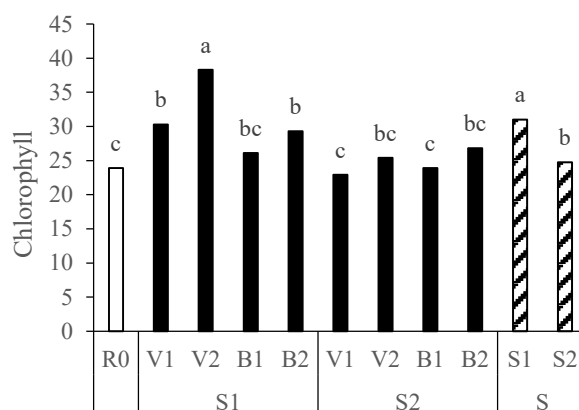
کلروفیل

و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که استفاده از کمپوست سبب افزایش کلروفیل در گوجه فرنگی شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش در یک راستا است. William و Qureshi در سال (۲۰۱۵) با استفاده از زغال زیستی افزایش غلظت کلروفیل را در برخی سبزیجات محلی نسبت به شاهد مشاهده کردند. علت افزایش میزان کلروفیل را می‌توان به افزایش جذب آهن نسبت داد. Elabdeen و همکاران (1982) در همین راستا بیان کرد که افزایش جذب آهن باعث افزایش مقدار کلروفیل در گیاه می‌شود. افزایش مقدار کلروفیل با در دسترس بودن عناصر غذایی به خصوص پتاسیم، همبستگی دارد. با نتایج به دست آمده از پژوهش Thalooth و همکاران (2006) و افزایش آن با کاربرد روی با نتایج Tewari و همکاران

در شکل ۵ نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف در شرایط شور و غیر شور بر مقدار کلروفیل برگ آمده است. در این پارامتر نیز همانند پارامترهای مورفولوژیکی مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار کلروفیل در تیمار سطح دوم (۴۰ درصد) ورمی کمپوست در شرایط غیر شور (۳۸/۳) به دست آمده است. این تیمار با سایر تیمارهای مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌دار است. نتایج نشان داده است که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای زغال زیستی در شرایط شور و غیر شور وجود ندارد. نتایج مقایسه میانگین اثر ساده شوری بر مقدار کلروفیل در بخش انتهایی شکل ۵ نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که شوری سبب کاهش معنی‌دار کلروفیل برگ شده است. سلطانی طولارود

آنتی اکسیدان‌ها در حفاظت از تخریب کلروفیل نقش مؤثری دارند.

(2008) و Hajiboland و Amirazad (۲۰۱۰) مطابقت دارد. پتاسیم و روی از راه فعال‌سازی آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کلروفیل و همچنین افزایش فعالیت



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر کلروفیل برگ

Figure 5. Comparison of the average effect of different treatments on chlorophyll

R0؛ خاک شاهد، S1؛ خاک غیر شور، S2؛ خاک شور، B1 و B2 به ترتیب سطح دو و چهار درصد زغال زیستی، V1 و V2 به ترتیب سطح بیست و چهل درصد ورمی کمپوست هستند.

R0; Control soil, S1; Non-saline soils, S2; Saline soil, B1 and B2 are the second and fourth percent levels of biochar, respectively, while V1 and V2 are the twenty and forty percent levels of vermicompost, respectively. در هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$

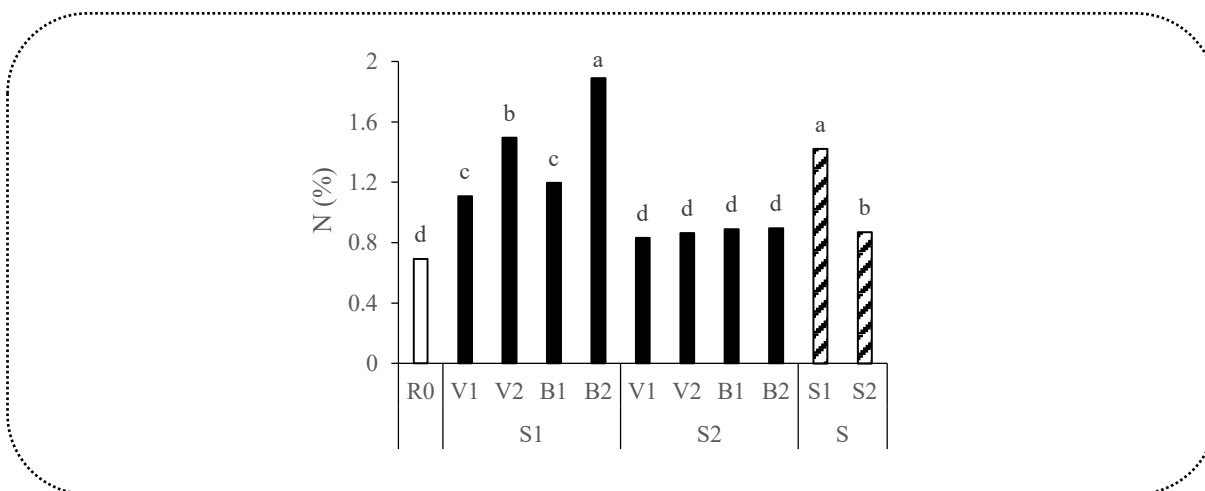
نشان داده است که با شور شدن خاک میزان جذب نیتروژن توسط گیاه کاهش یافته است. به طور میانگین در شرایط شور میزان جذب نیتروژن ۱/۴۲ درصد بوده است، در حالیکه در شرایط شور این میزان به ۰/۸۷ درصد کاهش یافته است. به عبارتی شوری خاک سبب کاهش ۶۱ درصدی نیتروژن جذب شده توسط گیاه شده است. Steiner و همکاران (2008) نیز مشاهده کردند که مصرف زغال زیستی به همراه کود ازتی اثر مثبتی بر مقدار نیتروژن گیاه دارد. همچنین این پژوهشگران بیان کردند از دیدگاه اقتصادی نیز استفاده از زغال زیستی توصیه می‌گردد. Manrique (۱۹۹۳) بیان کرد که در تغذیه گوجه فرنگی اضافه کردن نیتروژن بسیار حائز اهمیت است اما نایستی از مقدار مورد نیاز گیاه بیشتر باشد چراکه باعث افزایش رشد رویشی و تاخیر در گلدهی خواهد شد. Nelissen

نیتروژن

در شکل ۶ نتایج مقایسه میانگین تغییرات مقدار نیتروژن تحت تاثیر کودهای آلی ورمی کمپوست و زغال زیستی در شرایط شور و غیر شور نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار نیتروژن در تیمار سطح دوم (۴ درصد) زغال زیستی در شرایط غیر شور معادل ۱/۸۸ درصد به دست آمده است. مشاهده می‌شود که سطح دوم (۴ درصد) زغال زیستی با سطح دوم (۴۰ درصد) ورمی کمپوست در شرایط غیر شور دارای اختلاف معنی‌داری است، اما سطوح اول این تیمارها اختلاف معنی‌داری بر مقدار نیتروژن نشان نداده‌اند. در بخش تیمارهای تحت تاثیر شوری نیز مشاهده می‌شود که اختلاف معنی‌داری بین کودهای مورد استفاده وجود ندارد. نتایج مقایسه میانگین اثر ساده شوری بر مقدار نیتروژن نیز

نیترژن قابل استفاده خاک از طریق معدنی شدن مواد آلی مقاوم خاک و غیر متحرک شدن نیترژن می‌شوند.

همکاران (2012) نتیجه‌گیری کردند که زغال‌های زیستی پس از افزوده شدن به خاک سبب افزایش سرعت تغییر شکل نیترژن در کوتاه مدت و در نتیجه افزایش



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار نیترژن میوه

Figure 6. Comparison of the average effect of different treatments on N of fruit

R0؛ خاک شاهد، S1؛ خاک غیر شور، S2؛ خاک شور، B1 و B2 به ترتیب سطح دو و چهار درصد زغال زیستی، V1 و V2 به ترتیب سطح بیست و چهل درصد ورمی کمپوست هستند.

R0; Control soil, S1; Non-saline soils, S2; Saline soil, B1 and B2 are the second and fourth percent levels of biochar, respectively, while V1 and V2 are the twenty and forty percent levels of vermicompost, respectively. در هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$

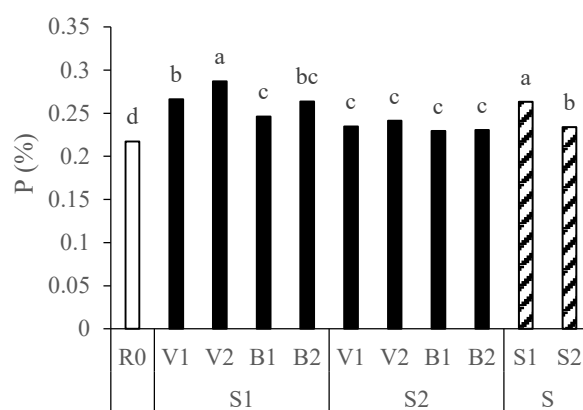
فسفر

ورمی کمپوست نسبت به سطح دوم زغال زیستی ۸ درصد فسفر بیشتری در میوه مشاهده شد. در بخش انتهایی نمودار اثر ساده شوری بر مقدار فسفر نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که شوری سبب کاهش معنی‌داری در مقدار فسفر میوه (کاهش ۱۱ درصدی) شده است. به عقیده Renato و همکاران (2003) افزایش ورمی کمپوست به خاک، سبب افزایش فسفر خاک می‌شود. همچنین Reinecke و همکاران (1992) بیان کردند که ورمی-کمپوست فسفر را به شکل قابل دسترس برای گیاه تبدیل می‌کند. Paterson (۲۰۰۳) گزارش کرد که ریزجانداران محلول کننده فسفر، فسفر غیر قابل حرکت را به اشکال متحرک آن تبدیل می‌کنند. لذا احتمالاً ورمی کمپوست به دلیل دارا بودن فسفر و تبدیل آن به شکل‌های قابل دسترس برای گیاه و همچنین وجود ریزجانداران مختلف موجود در

در شکل ۷ نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای زغال زیستی و ورمی کمپوست در شرایطی شوری بر روی مقدار فسفر میوه نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار فسفر میوه در تیمار سطح دوم (۴۰ درصد) ورمی کمپوست بدون شوری معادل ۰/۲۹ درصد به دست آمده است. کمترین مقدار فسفر نیز در تیمار شاهد معادل ۰/۲۱ درصد به دست آمد. نتایج نشان داده است که در شرایط شور تفاوتی بین تیمارهای زغال زیستی و ورمی کمپوست وجود ندارد با این وجود به مقدار اندکی سطح دوم (۴۰ درصد) ورمی کمپوست دارای فسفر بیشتری نسبت به سایر تیمارها است. به صورت میانگین مشاهده می‌شود که اثر تیمارهای ورمی کمپوست بر مقدار فسفر میوه بیشتر بوده است. در شرایط غیر شور سطح دوم

رشد گیاه می‌شود. زغال زیستی با افزایش قدرت یونی و غلظت کلسیم در محلول خاک می‌تواند باعث افزایش جذب فسفر شود (Murphy and Stevens, 2010). Xu و همکاران (2013) تاثیر زغال زیستی در این ساز و کار را مورد پژوهش قرار دادند. Mukherjee و همکاران (2013) تاثیر فوق‌العاده زغال زیستی بر چرخه عناصر و جلوگیری از هدر روی فسفر در خاک را گزارش کردند و بیان کردند که زغال زیستی دارای دامنه‌ای از شکل‌های عناصر غذایی بوده که با سرعت‌های متفاوتی آزاد شده و تاثیرات متفاوتی را بر حاصلخیزی خاک دارند.

خود، باعث افزایش جذب فسفر در گیاه گوجه فرنگی شده است. طبق گزارش‌های، افزودن زغال زیستی به خاک باعث افزایش فسفر در دسترس برای رشد گیاه می‌شود. علاوه بر این زغال زیستی با افزایش قدرت یونی و غلظت کلسیم در محلول خاک می‌تواند باعث افزایش جذب فسفر شود (Murphy and Stevens, 2010). سطح ویژه بالای زغال زیستی فضای لازم برای شکل‌گیری تجمع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و همین‌طور پیوند آنها با عناصر و فلزات خاک را فراهم می‌کند و ظرفیت حفظ مواد غذایی خاک را بهبود می‌بخشد (Atkinson et al., 2010). افزودن زغال زیستی به خاک باعث افزایش فسفر در دسترس برای



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار فسفر میوه

Figure 7. Comparison of the average effect of different treatments on P of fruit

R0؛ خاک شاهد، S1؛ خاک غیر شور، S2؛ خاک شور، B1 و B2 به ترتیب سطح دو و چهار درصد زغال زیستی، V1 و V2 به ترتیب سطح بیست و چهل درصد ورمی کمپوست هستند.

R0; Control soil, S1; Non-saline soils, S2; Saline soil, B1 and B2 are the second and fourth percent levels of biochar, respectively, while V1 and V2 are the twenty and forty percent levels of vermicompost, respectively.

در هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$

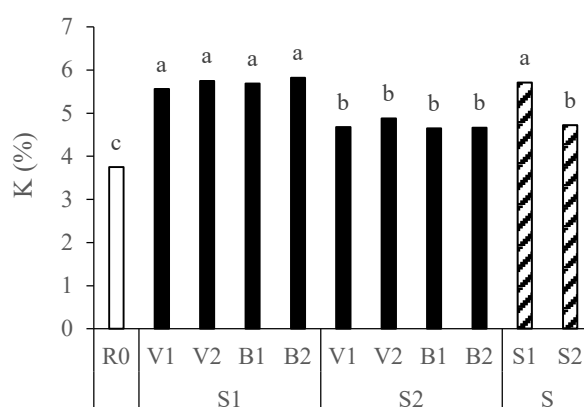
نتایج نشان داده است که تغییر نوع کود آلی در شرایط غیر شوری دارای تاثیر معنی‌داری بر مقدار پتاسیم نشده است. همچنین نشان داده شده است که افزایش شوری سبب کاهش معنی‌داری در مقدار پتاسیم شده است، این کاهش در تیمارهای مختلف کود آلی معنی‌دار نبوده است. نتایج نشان داده است که شوری سبب کاهش ۱۷ درصدی در

پتاسیم

نتایج مقایسه میانگین تغییرات پتاسیم میوه ناشی از تغییر در نوع کود آلی و شوری در شکل ۸ نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که استفاده از کودهای آلی زغال زیستی و ورمی کمپوست نسبت به شاهد سبب افزایش معنی‌داری در مقدار پتاسیم میوه شده است. اما

افزایش داده و موجب کاهش پتانسیل آب برگ در فصل گرم و افزایش رشد گیاه شده است. Demir و همکاران (2010) مقدار پتاسیم را در میوه و برگ گوجه فرنگی به ترتیب ۵/۳ و ۴/۴ گرم در صد گرم ماده خشک گزارش کردند. در پژوهشی Chan و همکاران (2007) بیان کردند که با کاربرد زغال زیستی غلظت پتاسیم گیاه افزایش یافته است و بیشترین عملکرد مربوط به سطح ۵۰ تن در هکتار و بدون مصرف کود نیتروژنه بوده است. علت این افزایش غلظت بالای پتاسیم قابل دسترس موجود در زغال زیستی گزارش کردند. Haeefe و همکاران (2001) بیان کردند که افزایش زغال زیستی سبب افزایش قابلیت استفاده از پتاسیم خاک می‌گردد. Romheld و Kirkby (۲۰۱۰) پژوهش درباره پتاسیم در کشاورزی را ضروری دانستند.

پتاسیم میوه شده است. نتایج مقایسه میانگین اثر شوری نیز نشان داده است که شوری سبب کاهش معنی‌دار پتاسیم میوه شده است. Basker و همکاران (1993) نیز نشان دادند که پتاسیم ورمی کمپوست دو تا سه برابر پتاسیم خاک است. بنابراین احتمالاً ورمی کمپوست با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و وجود هورمون‌های گیاهی و مقادیر بالای پتاسیم موجود در خود، شرایط را برای جذب بیشتر پتاسیم توسط ریشه گیاه مهیا می‌کند. ابریشم‌چی و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان دادند که افزایش ورمی کمپوست سبب افزایش پتاسیم در گوجه فرنگی شده است. Vaccari و همکاران (2015) با اضافه کردن دو نوع زغال زیستی به گیاه گوجه فرنگی در یک آزمایش مزرعه‌ای مشاهده نمودند که کربن خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی و همچنین دسترسی به عناصری مانند پتاسیم، آمونیوم و فسفر را



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار پتاسیم میوه

Figure 8. Comparison of the average effect of different treatments on K of fruit

R0؛ خاک شاهد، S1؛ خاک غیر شور، S2؛ خاک شور، B1 و B2 به ترتیب سطح دو و چهار درصد زغال زیستی، V1 و V2 به ترتیب سطح بیست و چهل درصد ورمی کمپوست هستند.

R0; Control soil, S1; Non-saline soils, S2; Saline soil, B1 and B2 are the second and fourth percent levels of biochar, respectively, while V1 and V2 are the twenty and forty percent levels of vermicompost, respectively.

در هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$

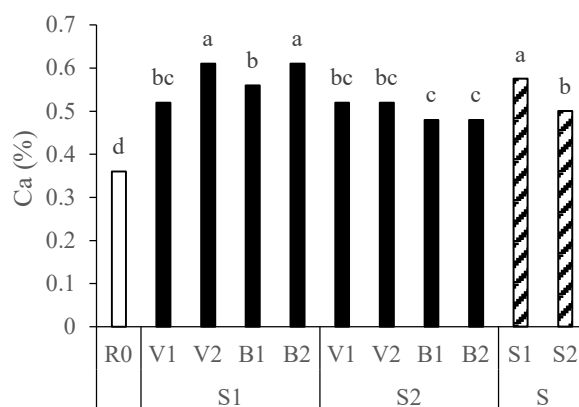
کلسیم

سطح دوم (۴ درصد) زغال زیستی و ورمی کمپوست معادل ۰/۶۱ درصد است. کمترین مقدار کلسیم نیز در تیمار شاهد برابر با ۰/۳۶ درصد به دست آمده است. نتایج نشان داد که

در شکل ۹ نتایج مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و شوری بر مقدار کلسیم میوه آمده است. نتایج نشان داده است که بیشترین مقدار کلسیم در تیمارهای غیر شور و

Premuzic و همکاران (1998) نشان دادند که استفاده از ورمی کمپوست سبب افزایش مقدار کلسیم در گوجه فرنگی شده است. زغال زیستی می تواند غلظت کلسیم را در محلول خاک افزایش دهد (Murphy and Stevens, 2010) تاثیر زغال زیستی در تجمع کلسیم در اندام هوایی نسبت به شاهد بیشتر از میوه بوده است که البته کلسیم عمدتاً در برگ تجمع پیدا می کند و درصد کمی از آن وارد میوه می گردد. Demir و همکاران (2010) مقدار کلسیم در میوه و برگ گوجه فرنگی را به ترتیب ۰/۱ و ۴/۹ گرم در صد گرم ماده خشک گزارش کردند. همچنین با مقایسه اثر طبق نتایج (Lehmann ۲۰۰۷) با افزایش مصرف زغال زیستی کلسیم توسط گیاه افزایش یافته و می تواند منجر به افزایش رشد گیاه شود.

افزایش ورمی کمپوست در سطح اول و دوم به ترتیب سبب افزایش ۳۰ و ۴۰ درصدی مقدار کلسیم نسبت به تیمار شاهد شد (در شرایط غیر شور). در مورد زغال زیستی در شرایط غیر شور نیز مشاهده می شود که در سطوح اول و دوم افزایش ۳۵ و ۴۰ درصدی کلسیم در مقایسه با تیمار شاهد شده است. همچنین نشان داده شد که اثر شوری در تیمار سطح دوم زغال زیستی سبب کاهش ۲۱ درصدی کلسیم شد. مشاهده می شود که استفاده از کودهای آلی سبب بهبود معنی دار وضعیت کلسیم در میوه شده است. همچنین نتایج نشان می دهد که شوری باعث کاهش معنی دار کلسیم شده است. در شرایط شور اختلاف معنی داری در نوع کود و مقدار مصرف آن وجود ندارد. کلسیم از عناصر مهم در کیفیت میوه و ماندگاری میوه است.



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار کلسیم میوه

Figure 9. Comparison of the average effect of different treatments on Ca of fruit

R0؛ خاک شاهد، S1؛ خاک غیر شور، S2؛ خاک شور، B2 و B1 به ترتیب سطح دو و چهار درصد زغال زیستی، V1 و V2 به ترتیب سطح بیست و چهل درصد ورمی کمپوست هستند.

R0; Control soil, S1; Non-saline soils, S2; Saline soil, B1 and B2 are the second and fourth percent levels of biochar, respectively, while V1 and V2 are the twenty and forty percent levels of vermicompost, respectively.

در هر تیمار میانگین های دارای حروف مشابه از نظر آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$

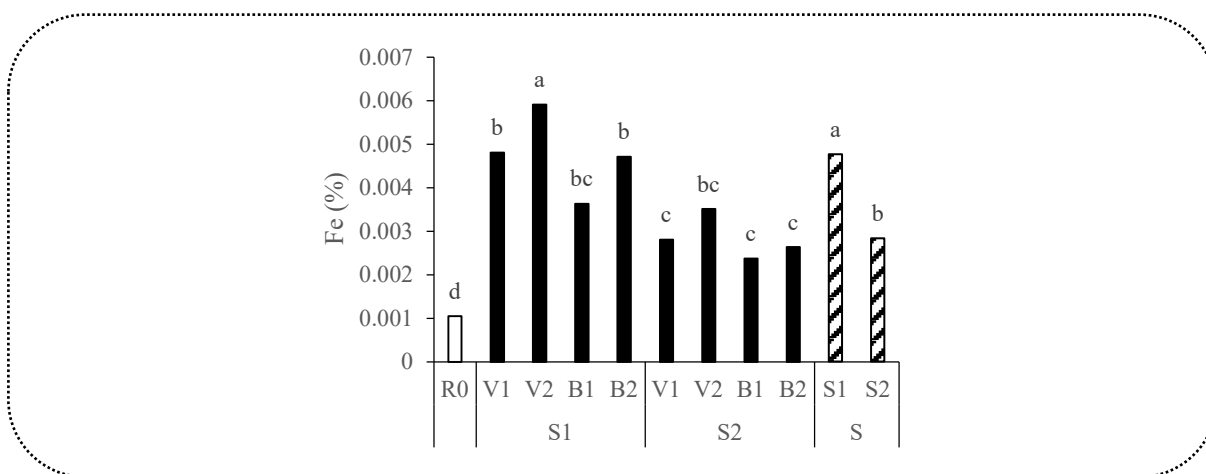
آهن

سطح دوم (۴۰ درصد) ورمی کمپوست در شرایط غیر شور باعث افزایش بیشتر مقدار آهن شده است. در این تیمار مقدار آهن معادل ۰/۰۰۶ درصد است. مشاهده می شود که در شرایط غیر شور اختلاف معنی داری بین دو سطح زغال

در شکل ۱۰ نتایج مقایسه میانگین تغییرات آهن میوه در شرایط مختلف کود آلی و شوری خاک آمده است. در این شکل نیز همانند دیگر اشکال مشاهده می شود که تیمار

همکاران (۱۳۹۴) اثر زغال زیستی تهیه شده از کود مرغی در دماهای مختلف را بر ویژگی‌های شیمیایی خاک بررسی کردند. این پژوهشگران از کود مرغی به همراه زغال - زیستی حاصل از کود در دماهای مختلف پرداختند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که افزایش زغال زیستی قابلیت جذب عناصر پتاسیم، فسفر، آهن، منگنز، روی و مس را افزایش داده است.

زیستی و سطح اول (۲۰ درصد) ورمی کمپوست وجود ندارد. در شرایط شور نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارها دیده نشده است. به طور کلی نشان داده شده است که شوری سبب کاهش معنی‌دار مقدار آهن میوه شده است. Fellet و همکاران (2011) و Namgay و همکاران (2010) بیان کردند که استفاده از زغال زیستی سبب افزایش جذب عناصر ریزمغذی می‌گردد. باوریانی و



شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار آهن میوه

Figure 10. Comparison of the average effect of different treatments on Fe of fruit

R0؛ خاک شاهد، S1؛ خاک غیر شور، S2؛ خاک شور، B1 و B2 به ترتیب سطح دو و چهار درصد زغال زیستی، V1 و V2 به ترتیب سطح بیست و چهل درصد ورمی کمپوست هستند.

R0; Control soil, S1; Non-saline soils, S2; Saline soil, B1 and B2 are the second and fourth percent levels of biochar, respectively, while V1 and V2 are the twenty and forty percent levels of vermicompost, respectively.

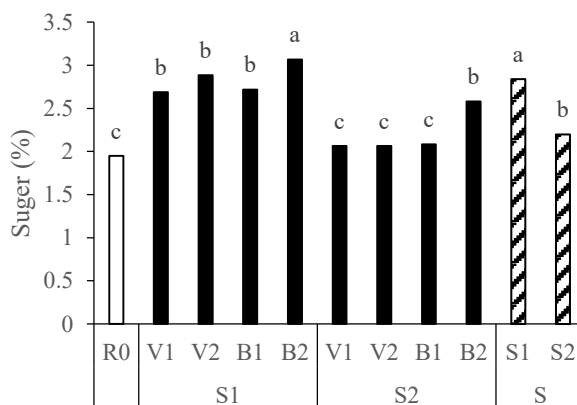
در هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$

(۲۰ درصد) ورمی کمپوست به سطح دوم (۴۰ درصد) معادل ۰/۲ درصد بوده است. به صورت میانگین دو سطح ورمی کمپوست در شرایط غیر شور نسبت به تیمار شاهد میزان قند میوه ۰/۸۴ درصد افزایش یافته است. این افزایش در مورد میانگین تیمارهای زغال زیستی در شرایط غیر شور معادل ۰/۹۵ درصد بوده است. نشان داده شده است که شوری سبب کاهش معنی‌دار مقدار قند میوه به میزان ۰/۶۴ درصد شده است. در همین راستا روحانی و همکاران (۱۳۹۵) نیز بیان کردند که افزایش شوری سبب کاهش قند در گیاه ترپچه شده است.

قند

در شکل ۱۱ نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار قند میوه آمده است. نتایج نشان داده است که بیشترین و کمترین مقدار قند در تیمارهای سطح دوم (۴ درصد) زغال زیستی (۳/۰۶ درصد) و تیمار شاهد (۱/۹۴ درصد) به دست آمده است. نتایج نشان داده است که تغییرات مقدار قند در شرایط غیر شور بین تیمارهای ورمی کمپوست و سطح اول (۲ درصد) زغال زیستی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، همچنین در شرایط شور نیز بین این تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. در شرایط غیر شور افزایش قند میوه از تیمار سطح اول



شکل ۱۱. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار قند میوه

Figure 11. Comparison of the average effect of different treatments on sugar of fruit

R0؛ خاک شاهد، S1؛ خاک غیر شور، S2؛ خاک شور، B1 و B2 به ترتیب سطح دو و چهار درصد زغال زیستی، V1 و V2 به ترتیب سطح بیست و چهل درصد ورمی کمپوست هستند.

R0; Control soil, S1; Non-saline soils, S2; Saline soil, B1 and B2 are the second and fourth percent levels of biochar, respectively, while V1 and V2 are the twenty and forty percent levels of vermicompost, respectively.

در هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$

نتیجه‌گیری

می‌شود. استفاده از هر دو نوع کود سوای مبحث تغذیه و افزایش راندمان تولید اثرات بسیار مفیدی برای محیط زیست دارند. مصرف ضایعات و پسماندهای شهری و کشاورزی سبب کاهش آلودگی در محیط زیست می‌شود. به عبارتی می‌توان بیان کرد که استفاده از این مواد یک عملکرد برد-برد محسوب می‌شود.

منابع

ابریشچی، پ.، گنجعلی، ع.، بیک خورمیزی، ع. و آوان، ا. ۱۳۹۲. تاثیر ورمی کمپوست بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای ارقام موبیل و سوپراوربینای گوجه فرنگی، علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷(۴): ۳۸۳-۳۹۳.

امامی، ع.د. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه، نشریه فنی موسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۱(۹۸۲): ۲۸-۵۸

باوریانی، م.، رونقی، ع.م.، کریمیان، ن.، قاسمی، ر. و یثربی، ج. ۱۳۹۴. اثر بیوجار تهیه شده از کود مرغی در دماهای متفاوت بر ویژگی‌های شیمیایی یک خاک آهکی، نشریه علوم آب و خاک. ۲۰(۷۵): ۷۳-۸۹

در این مطالعه به بررسی اثر دو نوع کود آلی شامل زغال زیستی تولید شده از چای و ورمی کمپوست تولید شده از پسماندهای شهری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه گوجه فرنگی رقم چری در دو شرایط شور و غیر شور پرداخته شده است. با توجه به نتایج نشان داده شد که شوری سبب کاهش معنی‌داری در کمیت و کیفیت گوجه فرنگی شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که عموماً با افزایش سطح ورمی کمپوست و زغال زیستی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه بهبود معنی‌داری یافته‌اند. همچنین مشاهده شده که ورمی کمپوست تولید شده از پسماندهای شهری نسبت به زغال زیستی دارای عملکرد بهتری بود. ورمی کمپوست تولید شده به دلیل وجود عناصر بیشتر و ایجاد شرایط مناسبتری از نظر فیزیکی و شیمیایی خاک برای رشد گیاه دارای کارایی بیشتری بوده است. تامین عناصر، تهویه بهتر، ایجاد ساختمان مناسبتر و غیره از جمله فواید ورمی کمپوست است. اما به طور کلی با توجه افزایش عملکرد و بهبود ویژگی‌های کیفی استفاده از هر دو نوع کود آلی توصیه

- Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S., and J. D. Metzger. 2000. Earthworm processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing marigold and vegetable seedlings. *Compost Science and Utilization*. 8: 215-223.
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., and N. A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant Soil*. 337: 1-18.
- Balogh, A. Pepo, P., and M. Hornok. 2006. Interactions of crop year, fertilization and variety in winter wheat management. *Cereal Research Communications*. 34 (1): 389-392.
- Basker, A., Macgregor, A. N., and J. H. Kirkman. 1993. Exchangeable potassium and other cations in non-ingested soil and casts of two species of pasture earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*. 25: 1673-1677.
- Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-total. In: Sparks, D.L., (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Part 3-Chemical Methods. Agro Mono, vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. pp 1085-1121.
- Burrell, L. D., Zehetner, F., Rampazzo, N., Wimmer, B., and G. Soja. 2016. Long-term effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma*. 282: 96-102.
- Carvalho, M., Madari, B., Bastiaans, L., Oort, P. V., Leal, W., and A. Heinemann. 2016. Properties of a clay soil from 1.5 to 3.5 years after biochar application and the impact on rice yield. *Geoderma*. 276: 7-18.
- Cavender, N. D., Atiyeh, R. M., and M. Knee. 2003. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of sorghum bicolor at the expense of plant growth. *Pedobiologia*. 47: 85-89.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and S. Joseph. 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Austral. Soil Research*. 45: 629-634.
- Czekala, W., Jeżowska, A., and D. Chelkowski. 2018. The Use of Biochar for the Production of Organic Fertilizers. *Journal of Ecological Engineering*. 20(1): 1-8
- Deenik, J. L., McClellan, T., Uehara, G., Antal, M. J., and S. Campbell. 2010. Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations. *Soil Science Society of America Journal*. 74(4): 1259-1270.
- سلطانی طولارود، ع.ا.، ضیاتبار، س.ر.، اسماعیلپور، ب.، عباس‌زاده دهجی، پ. و خوازی، ک. ۱۳۹۳. اثر کودهای زیستی و آلی بر غلظت عناصر غذایی و برخی شاخص‌های رشدی گوجه فرنگی، تحقیقات کاربردی خاک. ۲(۲): ۱۰۵-۱۱۸.
- کشاورز، پ. ۱۳۹۲. تغییرات شیمیایی خاک، ترکیب عناصر غذایی و عملکرد گوجه فرنگی در پاسخ به مصرف کمپوست پسماند شهری، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۲۷(۲): ۱۶۹-۱۷۸.
- مریوانی، ف.، قادری، ن. و جیرانی، م. ۱۳۹۳. بررسی اثرات کود زیستی و حیوانی بر عملکرد و برخی خصوصیات میوه توت فرنگی، سومین کنگره ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم مرداد ماه. دانشگاه محقق اردبیلی.
- میرزایی تالارپشتی، ر. و رستمی، م. ۱۳۹۵. تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های رشدی، عملکرد و اجزاء عملکرد گوجه فرنگی، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۴(۴): ۶۷۵-۶۸۵.
- ویسی، ا.، بیناییان، ا. و صالحی‌نیا، ز. ۱۳۹۳. مقایسه تأثیر کودهای ورمی‌کمپوست، کود دامی و کود شیمیایی بر عملکرد و کیفیت گوجه فرنگی گلخانه‌ای، نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی. ۹(۳۶): ۲۱-۳۳.
- روحانی، ن.س.، نعمتی، ح.، مقدم، م.، اردکانیان، و. ۱۳۹۵. اثر تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیک و چگونگی جذب عناصر سدیم و پتاسیم در اندام هوایی و غده سه رقم تربچه، نشریه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۷(۲۷): ۱۶۹-۱۷۸.
- Abduli, M. A., Amiri, L., Madadian, E., Gitipour, S., and S. Sedighian. 2013. Efficiency of Vermicompost on Quantitative and Qualitative Growth of Tomato Plants. *International Journal of Environmental Research*. 7(2): 467-472.
- Akhtar, S. S., Li, G., Andersen, M. N., and F. Liu. 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*. 138:37-44.
- Atiyeh, R. M., Arancon, N. Q., Edwards, C. A., and J. D. Metzger. 2001. The influence of earthworm processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Bioresource Technology*. 81:103-108.

- methods. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and Soil Sci. Am. J. Madison, WI.
- Głąb, T., Palmowska, J., and T. Zaleski. 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*. 281: 11-20.
- Graber, E. R., Harel, Y. M., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., David, D. R., and Y. Elad. 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil*. 337(1-2): 481-496.
- Haefele, S. M., Konboon, Y., Wongboon, W., Amarante, S., Maarifat, A. A., and E. M. Pfeiffer. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Research*. 121(3): 430-40.
- Hajiboland, R., and H. Amirazad. 2010. Drought tolerance in Zn-deficient red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata f. rubra) plants. *Horticultural Science*. 37: 88-98.
- Harland, G., Larrinua Craxton, S., and D. Kindersley. 2009. The Tomato Book. 1th ed. US: DK Publishing. p.15.
- Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., and P. F. Nelson. 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere*. 78(9): 1167-1171.
- Inoue, T., Tsubaki, S., Ogawa, K., Onishi, K., and J. Azuma. 2010. Isolation of hesperidin from peels of thinned Citrus unshiu fruits by microwave-assisted extraction. *Food Chemistry*. 123: 542-7
- Johnson, C. M., and A. Ulrich. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. Pages 26-78. Bulletin 766. Berkeley: University of California, Agricultural Experiment Station.
- Kookana, R. S., Sarmah, A. K., Van Zwieten, L., Krull, E., and B. Singh. 2011. Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. *Advances in Agronomy*. 112(10):103-143.
- Krishnamoorthy, R. V., and S. N. Vajranabhaiah. 1986. Biological activity of earthworm casts: an assessment of plant growth promoter levels in the casts. *Proceeding of the India Academy of Sciences (Animal Science)*. 95:341-351.
- Laird, D., Fleming, P., Davis, D., Horton, R., Wang, B., and D. Karlen. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical mid-western Deluca, T. H., Gundale, M. J., MacKenzie, M. D., and D. L. Jones. 2015. Biochar effects on soil nutrient transformations. *Biochar for environmental management: Science, Technology and Implementation*. 2: 421-454.
- Demir, K., Sahin, O., Kadioglu, Y. K., Pilbeam, D. J., and A. Gunes. 2010. Essential and non-essential element composition of tomato plants fertilized with poultry manure. *Scientia Horticulturae*. 127(1): 16-22.
- Downie, A., Crosky, A., and P. Munroe. 2009. *Physical properties of biochar*. In: J. Lehmann, S. Joseph (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London. pp. 13-32.
- Ebrahimzadeh Omran, S., Shorafa, M., Zolfaghari, A. A., and A. A. Soltani Toolarood. 2020. The effect of biochar on severity of soil water repellency of crude oil-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 27, 6022–6032.
- Elabdeen, A. Z., and A. M. Metwally. 1982. Effect of foliar spraying with Mn, Fe, Zn and Cu on the quality of tomato and pepper. *Ageing Research Reviews*. 60: 143-164.
- FAO (Food and Agricultural Organization). 2013. FAO State, core production. 2011. Available online: <http://Faostat.Fao.org>
- Fellet, G., Marchiol, L., Delle Vedove, G., and A. Peressotti. 2011. Application of biochar on mine tailings: effects and perspectives for land reclamation. *Chemosphere*. 83(9): 1262-1267.
- Flores, F. B., Sanchez-Bel, P., Estan, M. T., Martinez-Rodriguez, M. M., Moyano, E., Morales, B., Compos, J. F., Garcia-Abellan, J. O., Egea, I., Fernandez-Garcia, N., Romojaro, F., and MC. C. Bolarin. 2010. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae*. 125: 211-217.
- Fowles, M. 2007. Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy. *Biomass & Bioenergy*. 31: 426-432.
- Gaskin, J. W., Speir, R. A., Harris, K., Das, K. C., Lee, R. D., Morris, L. A., and D.S. Fisher. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*. 102(2): 623-633.
- Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-409. In Klute, A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Physical and mineralogical

- Coastal Plain Soil. *Soil Science*. 174: 105-112.
- Page, A. L., Miller, R. H., and D. R. Keeney. 1982. Methods of soil analysis. Part2: chemical and microbiological properties. Soil Science of America Madison, Wisconsin, USA.
- Paterson, E. 2003 Importance of rhizodeposition in the coupling of plant and microbial productivity. *European Journal of Soil Science*. 54:741-750.
- Premuzic, Z., Bargiela, M., Gracia, A., Rendina, A., and A. Iorio. 1998. Calcium, Iron, Potassium Phosphorus, and Vitamin C content of organic and Hydroponic Tomatoes. *Horticultural Science*. 33(2): 255-257.
- Pritam, S. V. K. and C. P. K. Garg. 2010. Growth and yield response of marigold to potting media containing vermicompost produced from different wastes. *Environmentalist*. 30:123-130.
- Reinecke, A. J., Viljoen, S. A., and R. J. Saayman. 1992. The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *perionyx excavatus* and *Eisenia fetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in southern Africa in terms of their temperature requirements. *Soil Biology and Biochemistry*. 24:1295-1307.
- Renato, Y., Ferreira, M. E., Cruz, M. C., and J. C. Barbosa. 2003. Organic matter fractions and soil fertility under the influence of liming, vermicompost and cattle manure. *Scientia Agricola*. 60:59-63.
- Roades, J. D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. Method of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. Madison. Wisconsin, USA. 417-436.
- Romheld, V., and E. A. Kirkby. 2010. Research on potassium in agriculture: Needs and prospects. *Plant Soil*. 335: 155-180.
- Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramirez, J., and M. Hurtado. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils*. 43(6): 699-708.
- Schmidt, M., and W. I. Noack. 2000. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenge. *Global Biogeochemical Cycles*. 14: 777-793.
- Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Blum, W. E. H., and W. Zech. 2008. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of Soil Science and Plant agricultural soil*. *Geoderma*. 158 (3-4): 443-449.
- Laxman Rao, P., Jayasree, G., Pratibha, G., and T. Ram Prakash. 2017. Effect of soil amendments on physical properties of soil in maize (*zea mays* L.). *Current Microbiology*. 6(6): 2082-2091.
- Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. *Germany front Ecol. Environ*. 5: 381-387.
- Lindsay, W. L., and W. A. Norwell. 1960. Development of a DTPA micronutrient soil test. *Agronomy Abstracts*. 1969:84.
- Little, T. M., and T. Hills. 1978. Agricultural Experimentation. Design and Analysis. *John Wiley and Sons, New York*.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., and J. Lehmann. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*. 333(1-2): 117-128.
- Manrique, L. A. 1993. Greenhouse crops: A review. *Journal of Plant Nutrition*. 16(12): 2411-2477.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In: Page, A. L. Miller, R. H. Keeney, D. R (Eds). *Methods of Soil Analysis*, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, 2nd Ed Agronomy. 9: 199-224
- Mukherjee, A., Hamdan, R., Cooper, W. T., and A. R. A. Zimmerman. 2013. Chemical comparison of freshly-produced and field-aged biochars and biochar-amended soils. *Chemosphere. Solid Earth Discuss*. 6: 731-760.
- Murphy, P. N. C., and R. J. Stevens. 2010. Lime and gypsum as source measures to decrease phosphorus loss from soils to water. *Water Air Soil Pollution*. 212: 101-111.
- Namgay, T., Singh, B. and B. P. Singh. 2010. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Research*. 48(7): 638-647.
- Nelissen, V., Rütting, T., Huygens, D., Staelens, J., Ruyschaert, G., and P. Boeckx. 2012. Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 55: 20-27.
- Novak, J. M., Busscher, J. W., David, L., Ahmedna, M., Watts, D. W., and M. Niandou. 2009. Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern

Biochar as Fertilizer for the Growth of Some Seasonal Vegetables. *Journal of Bioresource Management*. 2(1): 1.

Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., and S. Joseph. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nat. Commun.* 1, 1-9.

Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., and M. H. Wong. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizer and AM fungi on maize growth. A greenhouse trial. *Geoderma*. 125:155-166.

Xu, G., Shao, H. B. and J. N. Sun. 2013. What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: direct or indirect mechanism? *Ecological Engineering*. 52: 119-124.

Yanga, L., Zhaoa, F., Changa, Q., Li, T. and F. Li. 2015. Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. *Agricultural Water Management*. 160: 98-105.

Yilangai, R. M., Manu, A. S., Pineau, W., Mailumo, S. S., and K. I. Okeke-Agulu. 2014. The effect of biochar and crop veil on growth and yield of Tomato (*Lycopersicum esculentus* Mill) in Jos, North central Nigeria. *Current Agriculture Research Journal*. 2(1): 37-42.

Nutrition. 171: 893-899.

Tewari, R. K., Kumar, P., and P. N. Sharma. 2008. Morphology and physiology of zinc-stressed mulberry plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 171: 286-294.

Thalooth, A. T., Tawfik, M. M., and H. Magda Mohamed. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2(1): 37-46.

Vaccari, F. P., Maienza, A., Miglietta, F., Baronti, S., Di Lonardo, S., Giagnoni, L., and G. Valboa. 2015. Biochar stimulates plant growth but not fruit yield of processing tomato in a fertile soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 207. 163-170.

Walkey, A., and I. A. Black. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sciences*. 37, 29-38.

Warman, P. R. and M. J. Anglopez. 2010. Vermicompost derived from different feed stocks as a plant growth medium. *Bioresource Technology*. 101:4479-4483.

William, K., and R. A. Qureshi. 2015. Evaluation of

Investigate the Effect of Different Amounts of Nitrogen and Potassium Fertilizers on the Yield and Quality of Camelina (*Camelina sativa* L.)

Saman Yazdan Seta¹, Simin Mikaili Eli Balta², Ismail Nabizadeh^{3*}, Khadijah Ahmadi⁴

1- Respectively, Assistant Professor, M.Sc. Graduate Student, and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Water, Food, and Processed Products, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
(yazdanseta@gmail.com)

2- Respectively, Assistant Professor, M.Sc. Graduate Student, and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Water, Food, and Processed Products, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
(siminmikaili@gmail.com)

3- Respectively, Assistant Professor, M.Sc. Graduate Student, and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Water, Food, and Processed Products, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
(nabizadeh.esmaeil@gmail.com)

4- Ph.D. in Crop Physiology, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran.
(kh.ahmadi612@gmail.com)

Received Date: 17/04/2022

Accepted Date: 15/10/2022

Abstract

Introduction: Camelina is a known oil plant from the family Brassicaceae Burnett. In recent years, interest in the cultivation of this species has increased. This is due to the high tolerance of camelina to unfavorable environmental conditions and the possibility of versatile crop utilization. Special feature of this plant is its easy adaptation to various soil and climatic conditions. The aim of the research was to determine the reaction of the camelina to different foliar fertilization with macroelements. The research hypothesis assumed that the applied fertilizer combinations would have a modifying effect on the size and quality of seed yield and would be economically justified.

Material and methods: To investigate the effect of different amounts of nitrogen and potassium fertilizers on the yield and quality of Camelina plant oil, an experiment was carried out in the agricultural year 2022 in Shahindej city. The experiment was factorial based on a completely randomized block design. The test factors included nitrogen fertilizer at three levels (0, 50, and 100 kg/ha), and the second factor was potassium fertilizer at three levels (0, 25, and 50 kg/ha), which Four repetitions were performed.

Results and discussion: The results of mean comparisons showed that the level of 100 kg/ha of urea fertilizer increased the number of capsules, 1000 seed weight, biological yield, harvest index, oil percentage, oil yield, protein percentage, and protein yield by 40.60, 68.00, 18.25, 158.29, 10.90, 52.00, 27.27, and 114.5% compared to the control treatment. Also, the increase of the mentioned traits in the treatment of using 50 kg/ha of potash fertilizer was 19.31, 41.75, 21.71, 31.36, 22.12, 87.69, 16.26, and 85.83% respectively. The mean comparison of the interaction treatments showed that the maximum plant height, the number of sub-branches, the number of seeds in the capsule, and the seed yield were recorded in the treatment using 100 kg/ha of urea along with the levels of 50 and 25 kg/ha of potash fertilizer. In this study, the difference between the treatment of applying 100 kg/ha of urea fertilizer with 50 and 25 kg/ha of potash with the treatment of 50 kg/ha of urea fertilizer with 50 kg/ha of potash was not significant in terms of grain yield. Therefore, considering the environmental effects of urea, it is recommended to use 50 kg/ha of urea along with 50 kg/ha of potash to achieve the maximum economic performance of Camelina. The biplot analysis showed that the first two components explained 91.5% of the data variation. Finally, the treatment of 50 kg/ha of urea along with 50 kg/ha of potash was recognized as the most appropriate treatment.

Conclusions: It can be stated that with the application of 50 kg/ha of nitrogen fertilizer and 50 kg of potassium fertilizer, the same yield can be obtained that can be obtained from the application of 100 kg/ha of nitrogen fertilizer along with 50 kg of potassium fertilizer, also the maximum yield of oil in the treatment of using 50 kg/ha of nitrogen fertilizer and 50 kg/ha of potassium fertilizer were obtained. It can be concluded that the application of the mentioned two levels, in addition to having a positive effect on the yield and yield components of seed and oil, led to the achievement of the maximum mentioned economic traits, they are also the most favorable treatment from an economic and environmental point of view.

Keywords: Seed Protein, Yield, Camelina, Chemical Fertilizer, Oil Yield.

تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر روی عملکرد و کیفیت روغن گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.)

سامان یزدان ستا^۱، سیمین میکائیلی الی بالتا^۲، اسمعیل نبی زاده^{۳*}، خدیجه احمدی^۴

۱- استادیار، دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمنداها، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران
(yazdanseta@gmail.com)

۲- استادیار، دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمنداها، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران
(siminmikaili@gmail.com)

۳- استادیار، دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمنداها، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران
(nabizadeh.esmaeil@gmail.com)

۴- دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران
(kh.ahmadi612@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸

چکیده

به منظور بررسی تأثیر مقادیر مختلف کودهای نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و کیفیت روغن دانه گیاه دارویی-روغنی کاملینا، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در شهرستان شاهین دژ اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح کود نیتروژن (با منبع اوره) (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم) و سه سطح کود پتاسیم (با منبع سولفات پتاسیم) (صفر، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم) در سه تکرار به اجرا درآمد. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و دانه، شاخص برداشت، شاخص برداشت، درصد و عملکرد روغن، درصد و عملکرد پروتئین بودند. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن تعداد خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد روغن، عملکرد روغن، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین را به ترتیب ۴۰/۶۰، ۶۸، ۱۸/۲۵، ۱۵۸/۲۹، ۱۰/۹۰، ۵۲، ۲۷/۲۷ و ۱۱۴/۵ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد کود) افزایش داد. همچنین مقدار افزایش صفات مذکور در تیمار استفاده از ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم به ترتیب ۱۹/۳۱، ۴۱/۷۵، ۲۱/۷۱، ۳۱/۳۶، ۲۲/۱۲، ۸۷/۶۹ و ۱۶/۲۶ درصد بود. در این بررسی حداکثر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه در تیمار استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن همراه با سطوح ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم ثبت شد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد دو مؤلفه اول ۹۱/۵ درصد از تغییرات داده‌ها را تبیین کرد. در نهایت تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن همراه با ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به عنوان مناسب‌ترین تیمار شناخته شد.

کلمات کلیدی: پروتئین دانه، عملکرد، کاملینا، کود شیمیایی، عملکرد روغن.

مقدمه

کاملینا با نام علمی (*Camelina sativa* L.) گیاهی کمتر شناخته شده و متعلق به خانواده *Brassicaceae* است (Righini et al., 2019). روغن کاملینا به عنوان یک جایگزین مناسب برای موم گیاه هوهوبا در صنایع آرایشی و بهداشتی کاربرد دارد. این گیاه به دلیل دارا بودن ۵۰ تا ۶۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع مورد توجه بوده و به جهت دارا بودن اسیدهای چرب امگا ۳ در درمان سرطان مفید است (Raziei et al., 2016). کاملینا قادر است در شرایط مختلف آب و هوایی و خاک رشد نماید و در مقایسه با سایر گیاهان دانه روغنی نیاز کمتری به آب، کود و آفت کش ها و مقاومت بیشتری به سرما دارد. کاملینا مانند دیگر محصولات زراعی خانواده چلیپائیان به عناصر نیتروژن، فسفر و گوگرد نیاز دارد، اما این گیاه در مقایسه با سایر گیاهان این خانواده گیاه کم توقعی است و بسته به حاصلخیزی زمین ممکن است هیچ کودی نیاز نداشته باشد. در ایران گیاه روغنی کاملینا برای اولین بار از سال ۱۳۹۵ توسط یک گروه تحقیقاتی از دانشگاه رازی کرمانشاه اصلاح و کشت شد (Fallah et al., 2019).

کاملینا دارای خواص زراعتی ویژه ای است که به صورت پایدار احتیاجات خاک را کاهش داده یا آن ها را برطرف می کند (Dobre and Jur cone, 2011). کشت آن در خاک های سبک و شنی، خاک های دارای مواد مغذی کم و حتی در زمین های پست و حاشیه ای به خوبی امکان پذیر است (Dobre and Jur cone, 2011)، نیاز آبی کاملینا کم بوده و به صورت دیم قابل کشت است، کاملینا مانند دیگر محصولات زراعتی خانواده چلیپائیان به عناصر نیتروژن، فسفر و گوگرد نیاز دارد و در مقایسه با گیاهان دیگر این خانواده گیاه کم توقعی است و بسته به حاصلخیزی زمین ممکن است هیچ گونه کودی نیاز نداشته باشد (Schillinger et al., 2012). جیانگ و کالدول (Jiang and Caldwell, 2016) به این نتیجه رسیده اند که کاملینا معمولاً یک محصول کم نهاده در نظر گرفته می شود. آن ها در یک

آزمایش مزرعه ای ثابت کردند که به دوزهای بالای نیتروژن، حتی تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، واکنش مثبت نشان می دهد، اما این عمدتاً مربوط به گونه های جدید و بهبود یافته است. با توجه به شیوه های کشاورزی، لقاح بهینه کاملینا باید به عنوان یک ویژگی مهم در نظر گرفته شود (Stolarski et al., 2019). به طور مشابه با سایر محصولات از خانواده *Brassicaceae* کاملینا هم به کود نیتروژن پاسخ مطلوبی می دهد. لی و همکاران (Li et al., 2019)، با این حال، نشان داد که افزایش کوددهی نیتروژن کاملینا منجر به انتشار بیشتر N_2O می شود. بنابراین، دوزهای بهینه کودهای نیتروژن باید در محصولات گیاهی انتخاب شود تا از تأثیر منفی بر محیط زیست جلوگیری شود. مقادیر توصیه شده نیتروژن برای کاملینا متفاوت است و از ۳۴ کیلوگرم در هکتار (Johnson et al., 2018) تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار (Mohammed et al., 2017) و بیشتر است (Jankowski et al., 2019). در مطالعه ملحی و همکاران (Malhi et al., 2014)، کاملینا به دوزهای بالای نیتروژن پاسخ مثبت داد. جیانگ و همکاران (Jiang et al., 2013) گزارش کردند که کوددهی کاملینا با نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه، محتوای پروتئین، عملکرد پروتئین و محتوای اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه شد، اما محتوای روغن و اسیدهای چرب تک غیراشباع را کاهش داد. گرچه نیاز کاملینا به کوددهی متوسط تا کم است؛ اما مطالعات نشان داده بسته به نوع خاک، عملکرد کاملینا با استفاده از کودهای نیتروژنی به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. تحقیقات بین المللی نشان داده است که عملکرد دانه کاملینا و مقدار پاسخ به نیتروژن کاربردی می تواند با توجه به نوع خاک و شرایط آب و هوایی متفاوت باشد (Jankowski et al., 2019). عناصر معدنی نقش مهمی در مقاومت گیاه به تنش های محیطی مانند خشکی و شوری ایفا می کنند و پتاسیم به عنوان یکی از عناصر مهم مورد نیاز گیاه نقش مهمی در نگهداری فشار تورگر در هر دو شرایط خشکی و شوری ایفا می کند (Amiri Darban et al., 2021). اهمیت

کود پتاسیم برای تشکیل عملکرد و کیفیت آن به خوبی شناخته شده است (Wang et al., 2013). گیاهان در هنگام مواجه شدن با تنش های محیطی مانند تنش خشکی نیاز بیشتری به کاربرد پتاسیم دارند که می تواند به ضرورت پتاسیم برای حفظ تثبیت دی اکسید کربن در فرآیند فتوسنتز نسبت داده شود (Amiri Darban et al., 2021). پتاسیم عنصر مغذی مهم دیگری است که در وزن دانه، عملکرد و مقاومت به خشکی گیاهان نقش دارد. مقدار قابل توجهی بیشتر پتاسیم درون زا در گونه های مقاوم به خشکی نسبت به گونه های حساس به خشکی گزارش شده است (Sedri et al., 2022). پتاسیم همچنین در تحمل تنش زیستی نقش دارد. بنابراین به نظر می رسد که تأمین برون زای این عنصر غذایی می تواند منجر به تولید گیاهان در شرایط کمبود آب می شود (Jeer et al., 2021). پتاسیم (K^+) اثرات قابل توجهی بر فعال سازی آنزیم، سنتز پروتئین، فتوسنتز، حرکت روزنه ها و رابطه آب (تنظیم تورگور و تنظیم

اسمزی) در گیاهان دارد (Lv et al., 2017). باتوجه به اهمیت کشت کاملینا به عنوان یک دانه روغنی با ارزش و نظر به اهمیت معرفی مقادیر جدید کودها در این محصول استراتژیک، این پژوهش با هدف بررسی مقادیر مختلف کودهای نیتروژن و پتاسیم بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی -روغنی گیاه کاملینا انجام شد.

مواد و روش ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در استان آذربایجان غربی شهرستان شاهین دژ اجرا شد. محل آزمایش بین ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی در ارتفاع ۱۴۰۶ متری از سطح دریا قرار داشت. به منظور تعیین عناصر ریز مغذی و ماکرو از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری نمونه برداری و پس از تهیه نمونه مرکب، عناصر ماکرو و میکرو اندازه گیری و بافت خاک نیز تعیین گردید (جدول ۱).

جدول ۱. ویژگی های شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه

Table 1. Chemical and physical characteristics of field soil

Optimal range	30 cm 0-	Chemical and physical properties of soil
Less than 2	2.14	EC
6.5-7.5	7.74	pH
40	45	SP (%)
Less than 10	23.33	TNV
20-30	20	Clay (%)
30-40	46	Silt (%)
30-40	34	Sand (%)
medium	L	TEX
medium	1.71	)(OC
medium	0.18	)(TN
medium	7.82	P
a lot	4.3	K

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل فاکتور اول کود نیتروژن (با منبع اوره) با سه سطح

(صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم) و فاکتور دوم کود پتاسیم (با منبع سولفات پتاسیم) با سه سطح (صفر، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم) بود. عملیات آماده سازی زمین از قبیل شخم،

تسطیح و قطعه‌بندی زمین در اواسط پاییز انجام شد. اندازه هر کرت ۱۸ متر مربع (۳×۶) بود، در داخل هر کرت ۱۵ ردیف کشت به فاصله ۰/۲ متر و به طول ۶ متر قرار داشت. بذرها در عمق یک سانتی‌متری به فاصله ۰/۱ متر از یکدیگر کاشته شدند. فاصله هر کرت از کرت مجاور ۱ و فاصله تکرارها ۲ متر مربع در نظر گرفته شدند. در این تحقیق از بذر کاملینا رقم سهیل استفاده شد که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شده بود. عملیات کشت در تاریخ ۱۴۰۰/۰۹/۱۹ توسط دستگاه بذر کار صورت گرفت. بر اساس نتایج آزمون خاک قبل از کشت ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل به همه واحدهای آزمایشی اضافه شد، کود پتاسیم نیز بر اساس نوع تیمار در نقشه آزمایشی به مقدار ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به کرت‌های مورد نظر قبل از کاشت اضافه و با خاک مخلوط شد. همچنین بر اساس نقشه کاشت کود نیتروژن در دو مرحله منطبق بر بارش‌های بهاری بعد از کاشت در کرت‌های آزمایشی مد نظر اعمال شد به‌طوری‌که یک دوم مرحله چهار برگه حقیقی (اواسط فروردین)، یک دوم دیگر در مرحله ساقه‌دهی (اوایل اردیبهشت) به کرت‌های مورد نظر اضافه شد. عملیات تنک کردن بوته‌ها در دو مرحله (مرحله تک برگه حقیقی و مرحله دوم در سه‌برگی حقیقی) جهت رسیدن به تراکم مطلوب (۵۰ بوته در متر مربع) انجام شد، در طول دوره رشد جهت مبارزه با علف‌های هرز مزرعه چند بار به صورت دستی وجین شد، جهت کنترل سفید پودری از سم کاپتان و جهت مبارزه با آفات به خصوص مورچه از سم دیازینون استفاده شد. محصول در تاریخ ۱۴۰۱/۳/۲۰ برداشت شد.

صفات مورد بررسی

در مرحله گلدهی از هر کرت آزمایشی ۲۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی (شاخه گل‌دهنده)، تعداد خورجین در بوته آن‌ها اندازه‌گیری و شمارش شد. در زمان برداشت، تعداد دانه‌ها در خورجین‌های ۲۰ بوته انتخابی شمارش و متوسط آن

به‌عنوان تعداد دانه در خورجین ثبت شد. همچنین ۲۰۰ دانه از هر واحد آزمایشی با استفاده از ترازوی دیجیتالی وزن، و بعد از گرفتن تناسب وزن هزار دانه در هر واحد آزمایشی برآورد شد. جهت برآورد عملکرد بیولوژیک ابتدا اثرات حاشیه حذف شدند، سپس از یک کوادر ۱×۱ مترمربعی برای نمونه‌برداری استفاده شد. بوته‌های مربوطه به آزمایشگاه منتقل شد و در آن در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و مجدداً وزن شده و وزن ماده خشک (عملکرد بیولوژیک) نمونه‌های آزمایشی برآورد شدند. بعد از جدا نمودن دانه‌ها و توزین دانه‌های هر کرت عملکرد دانه در واحد مترمربع محاسبه شد. جهت محاسبه شاخص برداشت عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک تقسیم شد. برای برآورد میزان روغن دانه از هر تیمار ۵۰ گرم بذر انتخاب و با استفاده از دستگاه سوکسله بر پایه تغییرات وزنی-وزنی (Latif and Anwar, 2011) با حلال هگزان استخراج روغن انجام گرفت. همچنین عملکرد روغن از حاصلضرب درصد روغن در عملکرد دانه به دست آمد. درصد نیتروژن دانه به روش کج‌دال تعیین شد (Bremner, 1996). از حاصلضرب درصد نیتروژن در ضریب گیاهی (۶/۲۵) درصد پروتئین دانه به دست آمد. عملکرد پروتئین دانه نیز از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد پروتئین به دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری

بعد از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS. 9.4 انجام شد، مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

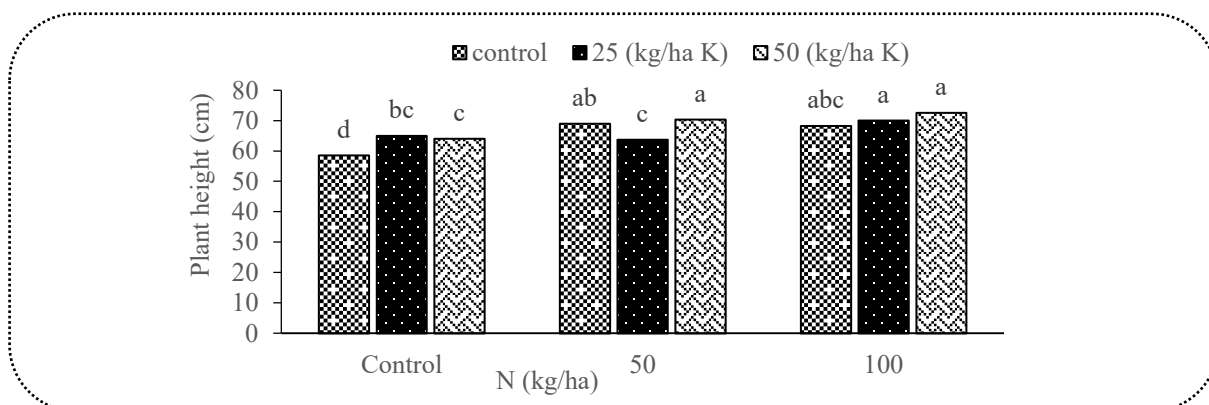
نتایج و بحث

ارتفاع بوته

در این مطالعه ارتفاع بوته کاملینا به‌صورت معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمارهای کود نیتروژن ($p < 0.01$)، پتاسیم

فتوستتزی به‌سوی ساقه‌ها جریان پیدا کرده و کشیدگی سلول‌های ساقه اتفاق می‌افتد که منجر به افزایش ارتفاع بوته می‌شود (Rasool et al., 2013). افزایش ارتفاع بوته کاملینا در تیمارهای کود نیتروژن در مطالعات دیگری نیز به اثبات رسیده است (Jankowski et al., 2019; Zarei et al., 2022). پتاسیم به‌عنوان یک عنصر غذایی ضروری به رشد سلولی کمک می‌کند و باعث بهبود عملکرد فتوستتزی، که در نتیجه منجر به افزایش تولید پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و مواد مغذی می‌شود. در شرایط تنش خشکی، وجود مقدار کافی پتاسیم می‌تواند بهبودی در عملکرد گیاهان را ایجاد کند تا بتوانند بهتر با محدودیت‌های آبی روبرو شوند. از این رو، تأمین نیاز به پتاسیم برای گیاهان مهم است تا بتوانند بهترین عملکرد رشدی و فتوستتزی را در شرایط تنش خشکی نشان دهند (Lv et al., 2017).

($p < 0.05$) و اثر متقابل دو تیمار ($p < 0.05$) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین ترکیبات تیماری کود نیتروژن و پتاسیم از نظر اثر بر ارتفاع بوته حاکی از آن بود که کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم با متوسط ۷۲/۶۳ سانتی متر بالاترین ارتفاع بوته را تولید کرد. اختلاف بین تیمار مذکور و تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن همراه با تیمار صفر و ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم و کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن همراه با تیمار صفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم معنی‌دار نبود، در این بررسی تیمار شاهد کودی (عدم کاربرد نیتروژن و پتاسیم) با متوسط ۵۸/۵۷ سانتی متر حداقل ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد (شکل ۱). یکی از عناصر مهم تشکیل‌دهنده کلروفیل و پروتئین عنصر نیتروژن است، با تأمین مقدار بهینه این عنصر فتوستتزی گیاه بیشتر شده، مقدار مواد



شکل ۱. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری کود نیتروژن و کود پتاسیم بر ارتفاع بوته

Figure 1. Comparison of the average treatment combinations of N fertilizer and K fertilizer on plant height

جدول ۲. میانگین مربعات صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای کود نیتروژن و پتاسیم در کاملینا

Table 2. Mean squares of investigated traits under the influence of N and K fertilizer treatments in Camelina

S.O.V	Df	Plant height	Number of sub-branches	Number of pods per plant	Number of seeds in a pod	Weight of a thousand grains	Biological Yield
R	2	13.66	7.98	512	2.81	0.29	949008
N	2	141.05**	59.90**	84116.1*	15.81**	2.71**	2287763*
K	2	33.91*	24.56**	10289.4*	4.29*	1.43**	3334452*
N×K	4	26.76*	17.19*	914.2 ^{ns}	3.59**	0.31 ^{ns}	638806 ^{ns}
Error	16	7.09	5.10	1778.6	0.73	0.21	603593
CV (%)		5.98	9.94	11.00	7.74	21.56	13.34

^{ns}, * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

ns, * and ** are non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۲. میانگین مربعات صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای کود نیتروژن و پتاسیم در کاملینا

Table 2. Mean squares of investigated traits under the influence of N and K fertilizer treatments in Camelina

S.O.V	Df	Grain Yield	Harvest Index	Oil Percentage	Oil Yield	Protein Percentage	Grain Protein Yield
R	2	10118	15.95	0.46	2523	1.91	2269
N	2	3149134**	714.83**	83.06**	580443**	78.86**	313171**
K	2	706684**	94.65*	87.76**	185127**	40.75*	89612**
N×K	4	70856*	13.51 ^{ns}	2.82 ^{ns}	14157 ^{ns}	5.53 ^{ns}	9474 ^{ns}
Error	16	20209	16.54	11.34	6448	10.62	4770
CV (%)		11.53	19.54	9.05	16.84	12.65	20.69

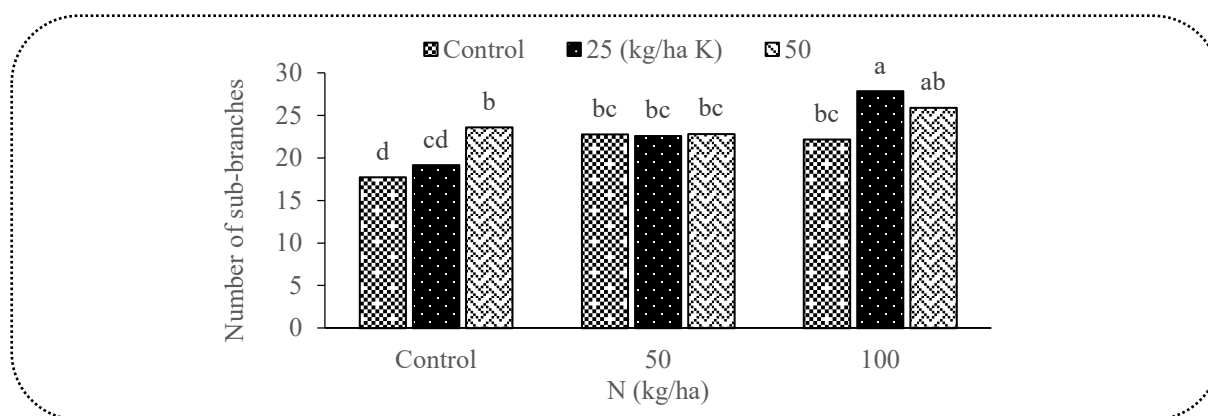
ns، * و ** به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

ns, * and ** are non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

تعداد شاخه فرعی

طبق نتایج تجزیه واریانس کود نیتروژن ($p < 0.01$)، کود پتاسیم ($p < 0.05$) و اثر متقابل دو تیمار ($p < 0.05$) بر تعداد شاخه‌های فرعی معنی داری بود (جدول ۲). نتایج مقایسات میانگین نشان داد کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن همراه با ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم به ترتیب با متوسط ۲۷/۸۴ و ۲۵/۹۰ بیشترین تعداد شاخه فرعی را به خود اختصاص داد، در بین تیمارهای مذکور تیمار شاهد کودهی (عدم کاربرد کود نیتروژن و پتاسیم) با متوسط ۱۷/۷۱ درصد کمترین تعداد شاخه فرعی را نشان داد (شکل ۲). به‌طور کلی افزایش کاربرد نیتروژن به دلیل افزایش سطح سبز فتوسنتزکننده موجب افزایش

جذب و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به مریستم‌های انتهایی و مریستم جانبی می‌شود و در نتیجه مجموعه این عوامل سبب افزایش تحریک مریستم انتهایی و مریستم جانبی و افزایش تولید شاخه‌های جانبی در سطح بالا نیتروژن می‌گردد. کنات جوشاهی (Kunt joshi et al., 2017) در مطالعه‌ای دریافت که کود نیتروژن اثر مثبتی بر افزایش تعداد شاخه جانبی در کاملینا داشت. کاربرد کود پتاسیم در گیاه کاملینا تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کمبود آب می‌تواند به افزایش تعداد شاخه‌های فرعی منجر شود. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت پتاسیم در بهبود رشد و توسعه گیاهان در شرایط مختلف است (Shirani Rad et al., 2023).



شکل ۲. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری کود نیتروژن و کود پتاسیم بر تعداد شاخه فرعی

Figure 2. Comparison of the average treatment combinations of N fertilizer and K fertilizer in terms of effect on the number of sub-branches

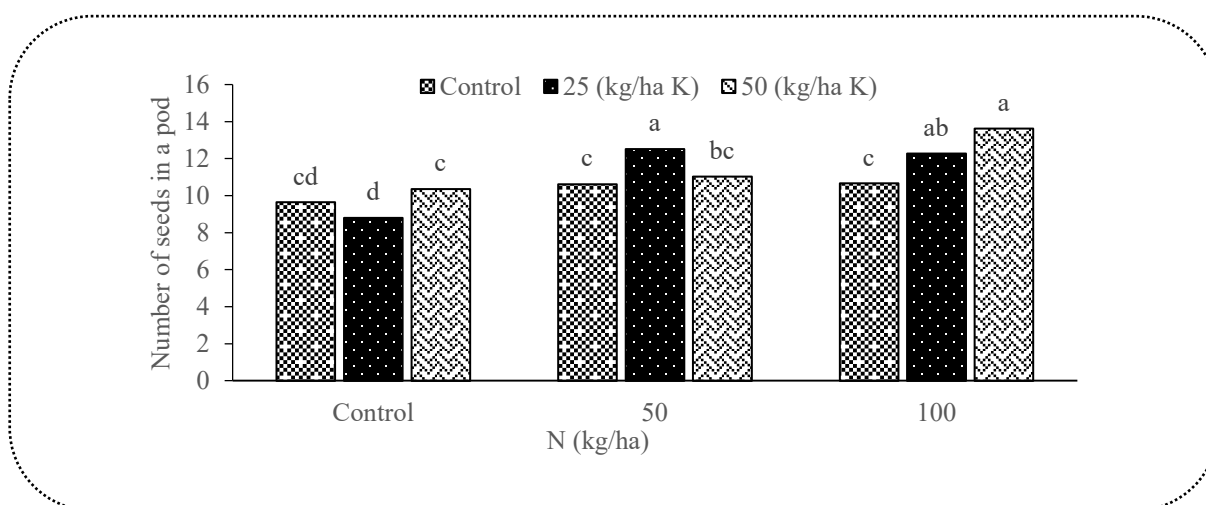
تعداد خورجین در بوته

نتایج نشان داد در این آزمایش تیمارهای کود نیتروژن ($p < 0/01$)، و کود پتاسیم ($p < 0/05$) به صورت معنی داری تعداد خورجین در بوته را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). در این بررسی تیمار بوته‌های کاملینا با ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار علاوه بر اینکه بالاترین تعداد خورجین در بوته (با متوسط $471/2$) را تولید کردند مقدار تعداد خورجین در بوته در مقایسه با سطوح ۵۰ و شاهد به ترتیب ۱۵/۲۹ و ۴۰/۶۰ درصد افزایش داد. کمترین تعداد خورجین در بوته برای تیمار شاهد (عدم کود دهی) با متوسط $279/76$ ثبت شد (جدول ۳). مطالعات نشان داده است که یکی از اجزای مؤثر در عملکرد دانه در گیاه کاملینا تعداد خورجینک بارور در بوته است (Jankowski et al., 2019). به نظر می‌رسد تأمین نیتروژن کافی برای گیاه کاملینا موجب کاهش تعداد گل‌های عقیم و کاهش ریزش آن‌ها شود، در تحقیقی بر روی کاملینا کنت جوشاهی و همکاران (Kunt joshi et al., 2017) اظهار داشتند، کاربرد کود نیتروژن تعداد خورجین در بوته کاملینا را به صورت چشمگیری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. در مطالعه زارعی و همکاران (Zarei et al., 2022) حداکثر تعداد خورجین در بوته در تیمار کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به دست آمد. نتایج مقایسه سطوح کود پتاسه از نظر اثر بر تعداد خورجین در بوته نشان داد صفت مذکور واکنش مثبتی به اعمال کود پتاس نشان دادند به طوری که سطوح ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاس به ترتیب با متوسط $382/41$ و $411/62$ خورجین مقدار این صفت را در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب $37/41$ و $66/62$ واحد (معادل $10/84$ و $19/31$ ٪) افزایش دادند (جدول ۳). در این مطالعه کمترین تعداد خورجین در بوته برای تیمار شاهد (عدم کاربرد کود پتاسیم) ثبت شد. استفاده از ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم به طور قابل توجهی به افزایش تعداد خورجین‌ها در گیاه کاملینا منجر شده است. این یافته‌ها اهمیت استفاده از کودهای پتاسیمی را در بهبود عملکرد و کیفیت گیاهان دانه

روغنی مانند کاملینا در شرایط تنش خشکی را نشان می‌دهد. (Amiri Darban et al., 2021).

تعداد دانه در خورجین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر کود نیتروژن ($p < 0/01$)، کود پتاس ($p < 0/05$)، و اثر متقابل دو تیمار ($p < 0/01$)، بر تعداد دانه در خورجین معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نشان داد که تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن همراه با سطح ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم پتاس در هکتار به ترتیب با متوسط $12/28$ و $13/63$ دانه بالاترین تعداد دانه را تولید کردند، لازم به ذکر است که اختلاف بین تیمارهای ذکر شده با تیمار کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن همراه با ۲۵ کیلوگرم کود پتاسیم معنی دار نبود. در این آزمایش تیمار شاهد همراه با سطح ۲۵ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و همچنین تیمار عدم کوددهی به ترتیب با متوسط $8/80$ و $9/65$ دانه در خورجین حداقل تعداد دانه در بوته را تولید کردند (شکل ۳). منبع ذخیره مواد فتوسنتزی دانه‌ها هستند هر چه تعداد دانه بیشتر باشند ذخایر مواد فتوسنتزی افزایش می‌یابند. استفاده از کود نیتروژن به دلیل تأمین نیتروژن گیاه، تعداد مخازن فتوسنتزی (دانه‌ها) را افزایش می‌دهد و به نوبه خود موجب انتقال کارآمدتر این مواد به دانه‌ها در طول دوره رشد گیاه می‌شود (Yousaf et al., 2016). در آزمایشی که بر روی گیاه پنبه انجام شده است به اثبات رسیده است که در غیاب عنصر پتاسیم غلظت کربوهیدرات‌های سنتز شده در جریان فتوسنتز بالا رفته و مقدار انتقال این مواد به داخل مخازن (دانه‌ها) به شدت افت می‌کند که مجموع این فرآیندها موجب کاهش تعداد و وزن دانه در گیاه می‌شوند (Pettigrew, 2009). طی پژوهشی گزارش شده است، گیاه کاملینا بالاترین تعداد دانه در خورجینک را با اعمال کود پتاسیم به دست آورد. این موضوع نشان می‌دهد که کود پتاسیم می‌تواند به بهبود رشد و تولید گیاه کاملینا کمک کند، به خصوص در زمین‌هایی که کمبود کود پتاسیم دارند (Shirani Rad et al., 2023).



شکل ۳. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری کود نیتروژن و کود پتاسیم بر تعداد دانه در خورجین

Figure 3. Comparison of the average treatment combinations of nitrogen fertilizer and potassium fertilizer on the number of seeds in Khurjin

وزن هزار دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اختلاف بین سطوح کود نیتروژن و پتاسیم از نظر اثر بر وزن هزار دانه معنی‌دار ($p < 0.01$) دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد کاربرد سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (به ترتیب با میانگین ۲/۳۶ و ۲/۵۲ گرم) وزن هزار دانه را در مقایسه با تیمار شاهد (با میانگین ۱/۵۰ گرم) به ترتیب ۵۷/۳۳ و ۶۸/۰۰ درصد افزایش دادند (جدول ۳). وزن هزار دانه یکی از اجزای عملکرد دانه در کاملینا است، بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه در تیمارهای کود نیتروژن می‌تواند دلیل افزایش وزن هزار دانه در این تیمارها باشد. زارعی و همکاران (Zarei et al., 2022) نشان دادند بالاترین وزن هزار دانه گیاه کاملینا در واکنش به تیمار ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به دست آمد. در بین سطوح کود پتاسیم کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار با متوسط ۲/۵۸ گرم حداکثر وزن هزار دانه را به خود اختصاص داد، تیمار شاهد با متوسط ۱/۸۲ گرم کمترین وزن هزار دانه را تولید کرد و اختلاف بین تیمار شاهد و سطح ۲۵ کیلوگرم در هکتار معنی‌دار نبود (جدول ۳). تأثیر مقدار پتاسیم بر وزن هزار دانه می‌تواند به دلیل افزایش جذب پتاسیم در گیاه و در نتیجه افزایش سطح برگ و فتوسنتز گیاه مربوط باشد.

تحت چنین شرایطی میزان تولید مواد و انتقال آن به دانه افزایش می‌یابد (Pettigrew, 2009). از طرفی، پتاسیم پیر شدن برگ‌ها را به تعویق انداخته و در نتیجه قابلیت استفاده گیاه از مواد غذایی در دوره پرشدن دانه را افزایش می‌دهد و در نتیجه آن، وزن دانه افزایش می‌یابد (Hasanuzzaman et al., 2018). تحقیقات ثابت کرده است که ساقه، یک منبع ذخیره‌ای کوچک کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی متحرک به شمار می‌رود که بعد از مرحله گلدهی این ترکیبات را به دانه انتقال می‌دهد. پتاسیم به خصوص در مرحله زایشی، مقدار ذخیره کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی متحرک را در ساقه از طریق افزایش سطح برگ و انتقال آن به دانه بهبود بخشیده و در نتیجه موجب افزایش وزن دانه می‌شود (Marschner et al., 2012). در مطالعات انجام شده توسط محققین گزارش شد که وزن هزار دانه پاسخ مثبتی به تیمار کود پتاسیم نشان داد. این یافته با نتایج تحقیقات حاضر مطابقت دارد و نشان می‌دهد که کاربرد پتاسیم می‌تواند به‌طور قابل توجهی وزن بذر را افزایش دهد که عاملی حیاتی در بهره‌وری کشاورزی است. تأثیر مثبت پتاسیم بر وزن دانه را می‌توان به نقش آن در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف در گیاهان از جمله فتوسنتز، فعال سازی آنزیم و تنظیم اسمزی نسبت داد. این فرآیندها برای

رشد و نمو مطلوب به ویژه در شرایط تنش مانند خشکسالی ضروری هستند. افزایش وزن بذر از طریق تیمار پتاسیم نشان می‌دهد که ممکن است عملکرد و کیفیت کلی محصولات را نیز بهبود بخشد، که برای پایداری کشاورزی و امنیت غذایی حیاتی است (Shirani et al., 2023).

عملکرد بیولوژیک

در این آزمایش عملکرد بیولوژیک کاملینا به صورت معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کود نیتروژن و پتاسیم ($p < 0.05$) قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که سطوح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن و تیمار شاهد به ترتیب با متوسط ۶۲۷۴/۸ و ۵۲۸۰/۲ کیلوگرم در هکتار حداکثر و حداقل عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند. اگر چه سطح ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم با متوسط ۶۲۳۹ کیلوگرم در هکتار حداکثر عملکرد بیولوژیک را تولید کرد اما اختلاف بین سطح مذکور با ۲۵ کیلوگرم در هکتار معنی‌دار نبود. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد بیولوژیک را در مقایسه با تیمار شاهد با متوسط ۵۱۲۶/۴ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۱۹/۲۰ و ۲۱/۷۰ درصد افزایش دادند (جدول ۳). محققان به این نتیجه رسیدند که در دسترس بودن عنصر نیتروژن برای گیاه موجب افزایش ماده خشک، بهبود رشد و نمو و فعالیت بیوشیمیایی گیاه می‌شود (Hasani Balyani et al., 2020)، همچنین از سوی

دیگر افزایش بیش از حد عناصر غذایی خاک از جمله نیتروژن، می‌تواند موجب کاهش بهره‌وری محصول شود و اغلب بازده اقتصادی به استفاده کارآمد از کود نیتروژن وابسته است. در تحقیقی سولیش و همکاران (Solis et al., 2013) نشان دادند که عملکرد بیولوژیک با افزایش سطح کود نیتروژن تا ۳۴/۵ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت و افزایش بیش از مقدار مذکور اثر معنی‌داری در افزایش عملکرد زیست توده نشان نداد. در مطالعه زراعی و همکاران (Zarei et al., 2022) حداکثر عملکرد بیولوژیک در تیمار کاربرد ۴۷ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به دست آمد. پتاسیم با افزایش سرعت فتوسنتز برگ‌های گیاه، بر جذب دی‌اکسیدکربن و تسهیل انتقال کربن اثر مثبتی می‌گذارد. این عنصر با تأثیر بر متابولیسم کربن و فرآیند انتقال و ذخیره مواد فتوسنتزی و افزایش سنتز مواد حد واسط در رشد سلول‌ها می‌تواند نقش مثبتی در افزایش مقدار عملکرد بیولوژیک داشته باشد. طی پژوهشی کاربرد کود پتاسیم به طور قابل توجهی باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی در گیاه کاملینا نسبت به تیمار شاهد شد. پتاسیم برای فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف در گیاهان، از جمله فعال‌سازی آنزیم، فتوسنتز و تنظیم اسمزی حیاتی است. کاربرد آن می‌تواند با بهبود کارایی مصرف آب و کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در بافت‌های گیاه، انعطاف‌پذیری گیاه را در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری افزایش دهد. به عنوان مثال، مطالعات نشان داده‌اند که افزایش

جدول ۳ مقایسه میانگین اثرات اصلی کود نیتروژن و پتاسیم بر صفات مورد بررسی در کاملینا

Table 3. Comparison of the main effects of nitrogen and potassium fertilizers on the examined traits in Camelina

N (kg/ha)	Number of pods per plant	Weight of a thousand grains (gr)	Biological Yield (kg/ha)	Harvest Index (%)	Oil Percentage (%)	Oil Yield (kg/ha)	Protein Percentage (%)	Protein Yield (%)
Control	76279c	1.5b	5280.2b	10.91b	33.97b	199.89c	22.75b	133.02c
50	398.94b	2.36a	5921.1ab	23.36a	40.02a	532.23b	25.86ab	367.54b
100	471.2a	2.52a	6274.8a	28.18a	37.63a	698.69a	28.66ab	500.9a
K (kg/ha)								
Control	345.86b	1.82b	5126.4b	17.76b	33.98b	325.65c	24.57b	233.93c
25	382.41a	1.98b	6110.7a	20.48ab	38.41a	494.24b	24.49b	340.03b
50	411.62a	2.58a	6238a	24.21a	40.20a	610.92a	28.21a	433.5a

سطح پتاسیم می تواند منجر به کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در برگ و ساقه شود که در شرایط شور مفید است (Arabi et al., 2022).

عملکرد دانه

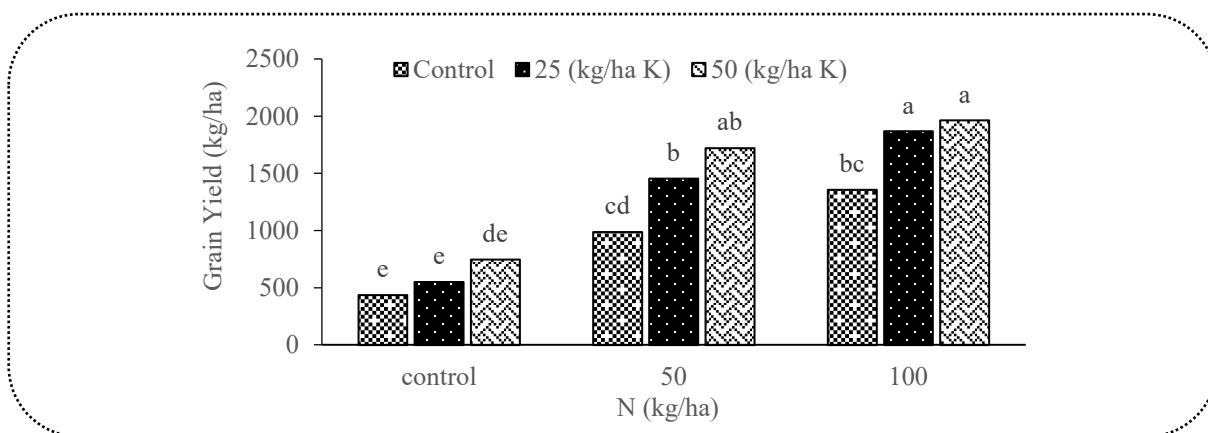
نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد عملکرد دانه به صورت معنی داری تحت تأثیر کود نیتروژن، کود پتاسیم و اثر متقابل کود نیتروژن در پتاسیم قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین ترکیبات تیماری کود نیتروژن با پتاسیم نشان داد که ترکیب کود نیتروژن با پتاسیم اثرهم افزایی بر بهبود عملکرد دانه داشته است. در این تحقیق کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن همراه با ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار با متوسط ۱۸۷۰/۵ و ۱۹۶۵/۰ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را تولید کردند. اختلاف بین دو تیمار مذکور با تیمار کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار همراه با ۵۰ کیلوگرم در هکتار از نظر عملکرد دانه معنی دار نبود. در این مطالعه تیمار عدم مصرف نیتروژن همراه با تیمار عدم مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم دارای اختلاف معنی دار نبود. در این بررسی در سطوح عدم مصرف کود نیتروژن اختلاف بین تیمارهای کاربرد کود پتاسیم معنی دار نبود درحالی که کاربرد ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم در سطوح ۵۰ (به ترتیب ۴۷/۱۲ و ۷۴/۱۲٪) و ۱۰۰ (به ترتیب ۳۷/۸۴ و ۴۴/۸۰٪) به صورت معنی داری عملکرد دانه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند. در آزمایش حاضر حداکثر اجزای عملکرد دانه نظیر تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه در واکنش به تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن همراه با سطوح ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم کود پتاسیم و ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن همراه با ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم حاصل شد، بنابراین افزایش عملکرد در تیمارهای مذکور را می توان به افزایش اجزای عملکرد دانه در این تیمارها نسبت داد (شکل ۴). افزایش عملکرد دانه با افزایش مصرف کود نیتروژن در این آزمایش را می توان به دلیل

رشد سبزینه ای گیاه و افزایش تولید ماده ذخیره ای، تعداد شاخه های فرعی، افزایش میزان باروری گل ها، تعداد خورجینک که در نهایت سبب افزایش عملکرد بذری می شود مرتبط دانست. گزارش شده است که واکنش گیاه کاملینا به سطوح مختلف نیتروژن در شرایط آب و هوایی مختلف، متفاوت است، برخی از شرایط محیطی محل آزمایش مانند دما می توانند پتانسیل عملکرد محصول را در پاسخ به نیتروژن محدود نمایند (Malhi et al., 2014). جانکوسکی و همکاران (Jankowski et al., 2019) اظهار داشتند حداکثر عملکرد کاملینا در کشور لهستان با کاربرد ۴۰/۸ کیلوگرم در هکتار قابل دستیابی است که بیشتر با تأثیر بر روی تعداد خورجینک در بوته به دست می آید، درحالی که افزایش سطح نیتروژن تا ۵۴/۴ کیلوگرم اثر معنی داری بر افزایش عملکرد دانه در این محصول نداشته است.

گزارش شده است شرایط اقلیمی به خصوص بارندگی و ویژگی های خاک محل آزمایش بر مقدار نیاز کاملینا به عنصر نیتروژن تأثیرگذار است، ویسکی و همکاران (Wysocki et al., 2013)، مقدار نیاز به نیتروژن برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه در کاملینا را بسته به شرایط بارندگی و مقدار نیتروژن خاک بین ۵ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند. در تحقیقی دیگر در کانادا گزارش شد که حداکثر عملکرد دانه در کاملینا (کمتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کاربرد کود نیتروژن در محدوده ۱۷۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم بدست آمد (Jiang and Caldwell et al., 2016). عنصر پتاسیم در اغلب فرآورده های مربوط به فعالیت آنزیم ها، فتوسنتز، انتقال قندها، سنتز پروتئین، نشاسته، استقرار بهتر گیاه در شرایط تنش کمبود آب به واسطه تنظیم سرعت و میزان باز و بسته شدن روزنه ها، بهبود مقاومت به تنش های محیطی مختلف نقش اساسی دارد (Hoeft et al., 2010). پتاسیم از طریق فرآورده های مذکور می تواند عملکرد اقتصادی محصول را تحت تأثیر قرار دهد. اثر مثبت کود پتاسیم در بهبود عملکرد دانه در دیگر گیاهان روغنی مانند گلرنگ (Sawan

هکتار سولفات آمونیوم + ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم گزارش شد (Amiri Darban et al., 2021).

(et al et al., 2006) و کنجند (Sharma, 2005)، در مطالعات قبلی به اثبات رسیده است. در مطالعه‌ای حداکثر عملکرد دانه در گیاه کاملینا در واکنش به کاربرد ۷۵ کیلوگرم در



شکل ۴. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری کود نیتروژن و کود پتاسیم بر عملکرد دانه

Figure 4. Comparison of the average treatment combinations of nitrogen fertilizer and potassium fertilizer on grain yield

شاخص برداشت بر توزیع نسبی محصولات فتوستتزر در بین مخزن‌های اقتصادی و سایر مخازن موجود در گیاه دلالت دارد. معنی‌دار بودن تأثیر مقادیر پتاسیم بر شاخص برداشت به مفهوم تأثیر بیشتر آن در ذخیره مواد تولید شده در فرآیند فتوستتزر تحت تأثیر پتاسیم در اندام‌های زایشی مانند دانه نسبت به اندام‌های رویشی کاملینا است. محققین اظهار می‌دارند که پتاسیم به‌طور مستقیم در تولید عملکرد بهینه دانه و کیفیت آن در محصولات زراعی نقش داشته و عملکرد دانه را بیش از عملکرد زیستی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Cakmak, 2005).

درصد روغن

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اختلاف بین سطوح کود نیتروژن و پتاسیم از نظر درصد روغن دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین سطوح کود نیتروژن نشان داد که کاربرد سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار درصد روغن دانه را در مقایسه با سطح شاهد (عدم مصرف کود) به ترتیب ۱۷/۸۰ و ۱۰/۷۷ درصد افزایش دادند (جدول ۳). در بین تیمارهای کود

شاخص برداشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بین سطوح کود نیتروژن ($p < 0.01$) و کود پتاسیم ($p < 0.05$) از نظر اثر بر شاخص برداشت اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). در بین سطوح تیمارهای کود نیتروژن سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب با متوسط ۲۳/۳۶ و ۲۸/۱۸ درصد بالاترین شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند، اختلاف بین دو سطح مذکور معنی‌دار نبود، کمترین شاخص برداشت با متوسط ۱۰/۹۱ درصد برای تیمار شاهد (عدم مصرف نیتروژن) ثبت شد (جدول ۳). در تحقیق حاضر کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار و عدم کاربرد کود پتاسیم به ترتیب با متوسط ۲۴/۲۱ و ۱۷/۴۶ درصد به ترتیب حداکثر و حداقل شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). گزارش شده است که استفاده مناسب از کودهای شیمیایی به خصوص تعداد مخازن فرآورده‌های فتوستتتری حاصل از رشد رویشی کاملینا را افزایش داده و باعث می‌شود فرآورده‌های فتوستتتری به موقع به دانه‌ها انتقال یافته و موجب افزایش شاخص برداشت شود (Amiri Darban et al., 2021).

پتاسیم سطح ۵۰ کیلوگرم در هکتار اگر چه بالاترین درصد روغن دانه را با متوسط ۴۰/۲۰ درصد به خود اختصاص داد، اما بین سطح مذکور و سطح ۲۵ کیلوگرم در هکتار از نظر درصد روغن اختلاف معنی‌دار دیده نشد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد استفاده از ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم درصد روغن را به ترتیب ۳/۴۳ و ۶/۲۲ واحد معادل ۴/۴۳ و ۶/۲۲ درصد افزایش دادند (جدول ۳). در مراحل رشد سریع گیاه که نیاز غذایی افزایش می‌یابد، به میزانی که مواد غذایی پرمصرف و کافی در اختیار گیاه قرار گیرد به دلیل اثر بر پر شدن دانه‌ها، درصد روغن افزایش می‌یابد. پژوهشگران بر این باورند که درصد روغن تحت کنترل عوامل ژنتیکی بوده، اما فراهمی عناصر ضروری در مرحله فعالیت‌های حیاتی و حساس گیاه نیز می‌تواند بر میزان فتوسنتز و تولید متابولیت‌های گیاه تأثیر گذاشته و در نهایت به انباشت روغن کمک نماید. اثر مثبت پتاسیم بر بهبود درصد روغن کنجد (Kathiresan, 2002) در مطالعه دیگری نیز به اثبات رسیده است. تأمین نیتروژن گیاه باعث افزایش محتوی پروتئین و کاهش محتوی روغن دانه می‌شود، وجود همبستگی و ارتباط منفی بین محتوی روغن دانه با محتوی پروتئین دانه در مطالعات قبلی در گیاه کاملینا (Solis et al., 2013) و کلزا (Stahl et al., 2017) به اثبات رسیده است. گزارشات متنوعی در مورد اثر کود نیتروژن بر محتوی روغن دانه کاملینا وجود دارد به‌طوری‌که اوبینگ و همکاران (Obeng et al., 2020) و محمد و همکاران (Mohammad et al., 2017) اظهار داشتند کاربرد کود نیتروژن و پتاسیم اثر معنی‌داری بر تغییرات درصد روغن دانه کاملینا نداشت در حالیکه در مطالعات مختلفی به اثبات رسیده است افزایش سطح نیتروژن موجب کاهش محتوی روغن دانه کاملینا می‌شود (Sintim et al., 2015; Johnson et al., 2019).

عملکرد روغن

نتایج نشان داد عملکرد روغن به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر کود نیتروژن و کود پتاسیم ($p < 0.01$) قرار

گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (به ترتیب با متوسط ۵۳۲/۲۳ و ۶۹۸/۶۹ کیلوگرم در هکتار) متوسط عملکرد روغن را در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود به ترتیب ۳۳۲/۳۴ و ۴۹۸/۸ کیلوگرم در هکتار افزایش دادند. در این بررسی تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژن) با متوسط ۱۹۹/۸۹ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد روغن را به خود اختصاص داد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد کاربرد کود پتاسیم اثر مثبتی بر افزایش عملکرد روغن دانه داشت به‌طوری‌که استفاده از ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب با متوسط ۴۹۲/۲۴ و ۶۱۰/۹۲ قادر به افزایش عملکرد روغن دانه به مقدار ۱۶۸/۵۹ و ۲۵۸/۲۷ کیلوگرم در هکتار معادل ۵۱/۸۷ و ۸۷/۷۷ درصد در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود پتاسیم (۳۲۵/۶۵ کیلوگرم در هکتار) بودند (جدول ۳). پتاسیم نقش مهمی در فعالیت‌های فیزیولوژیکی و سیستم‌های آنزیمی گیاهان دارد و به‌طور قابل توجهی بر متابولیسم مواد فتوسنتزی و تبدیل آن‌ها به روغن تأثیر می‌گذارد. وجود پتاسیم فعالیت‌های آنزیمی متعددی را که برای فتوسنتز و فرایندهای متابولیک کلی در گیاه حیاتی هستند، تسهیل می‌کند. (Ghaffari Nejad et al., 2020). تحقیقات نشان می‌دهد که پتاسیم نه تنها به سنتز ترکیبات ضروری کمک می‌کند، بلکه به تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان در شرایط مختلف تنش نیز کمک می‌کند. به پایداری غشای سلولی و فعال شدن آنزیم‌های دخیل در مسیرهای متابولیک کمک می‌کند، که برای تبدیل مؤثر محصولات فتوسنتزی به روغن حیاتی هستند. این تنظیم آنزیمی برای به حداکثر رساندن تولید روغن اساسی است، زیرا به‌طور مستقیم بر توانایی گیاه در استفاده مؤثر از منابع موجود تأثیر می‌گذارد. نقش پتاسیم در بهبود انعطاف‌پذیری گیاه در برابر تنش‌های غیرزنده مانند خشکی که می‌تواند بر رشد و تولید روغن تأثیر منفی بگذارد، گسترش می‌یابد. با افزایش تحمل گیاه به تنش، پتاسیم تضمین می‌کند که فرایندهای

متابولیکی کارآمد باقی می‌مانند و در نتیجه از عملکرد روغن بالاتر حمایت می‌کنند (Hopkins et al., 2022).

درصد پروتئین

بر اساس نتایج تحقیق حاضر اثر کود نیتروژن ($0/01$) و کود پتاسیم ($p < 0/01$) بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). در این آزمایش کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن با متوسط $28/66$ درصد حداکثر درصد پروتئین دانه را به خود اختصاص داد. اختلاف بین سطح مذکور و سطح 50 کیلوگرم در هکتار معنی‌دار نبود. کم‌ترین درصد پروتئین نیز با متوسط $22/75$ به تیمار شاهد کودی (عدم کاربرد کود نیتروژن)، اختصاص داشت. نتایج تحقیق حاضر نشان داد با افزایش سطح نیتروژن بر درصد پروتئین دانه افزوده شد اما به صورت همزمان عملکرد روغن دانه کاهش نشان داد. در بررسی حاضر استفاده از سطح 50 کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم (با متوسط $28/21$ درصد پروتئین دانه را در مقایسه با سطح 25 ($24/49$ درصد) و عدم مصرف کود پتاسیم ($24/57$ درصد) به ترتیب $3/64$ و $3/72$ معادل $15/18$ و $14/85$ درصد افزایش داد (جدول ۳). نتایج بیانگر آن است که محتوای پروتئین با افزایش مصرف نیتروژن افزایش می‌یابد و از آنجایی که بیش‌ترین نقش پتاسیم در گیاهان خاصیت کاتالیزوری آن است و پتاسیم موجب فعالیت آنزیم‌هایی می‌شود که کاتالیزور ساخت پروتئین هستند، بنابراین با افزایش پتاسیم محتوای پروتئین افزایش پیدا می‌کند. وجود این رابطه معکوس بین پروتئین و غلظت روغن را می‌توان به رقابت این دو ترکیب برای اسکلت‌های کربن در هنگام متابولیسم کربوهیدرات‌ها مرتبط دانست. این امر به دلیل پایین بودن سطح کربوهیدرات‌ها در پروتئین نسبت به روغن است که می‌تواند به افزایش میزان نیتروژن در سنتز پروتئین‌ها با هزینه سنتز اسید چرب در بیشتر محصولات زراعی روغنی شود (Malhi et al., 2014). بنابراین افزایش پیش ماده‌های پروتئین مانند کود نیتروژن، می‌تواند موجب افزایش پروتئین دانه و کاهش درصد روغن دانه‌ها شود.

همسو با نتایج مطالعه حاضر جانکوسکی و همکاران (Jankowski et al., 2019) نشان دادند با افزایش کود نیتروژن درصد روغن کاهش و درصد نیتروژن افزایش نشان داد. تحت شرایط افزایش نیتروژن کربوهیدرات‌های موجود برای سنتز روغن افزایش یافته و یا احتمالاً انتقال انرژی و منابع بیشتر به تولید پروتئین به جای تولید روغن را می‌توان از دلایل کاهش درصد روغن و افزایش نسبت پروتئین به شمار آورد (Elhanafi et al., 2019).

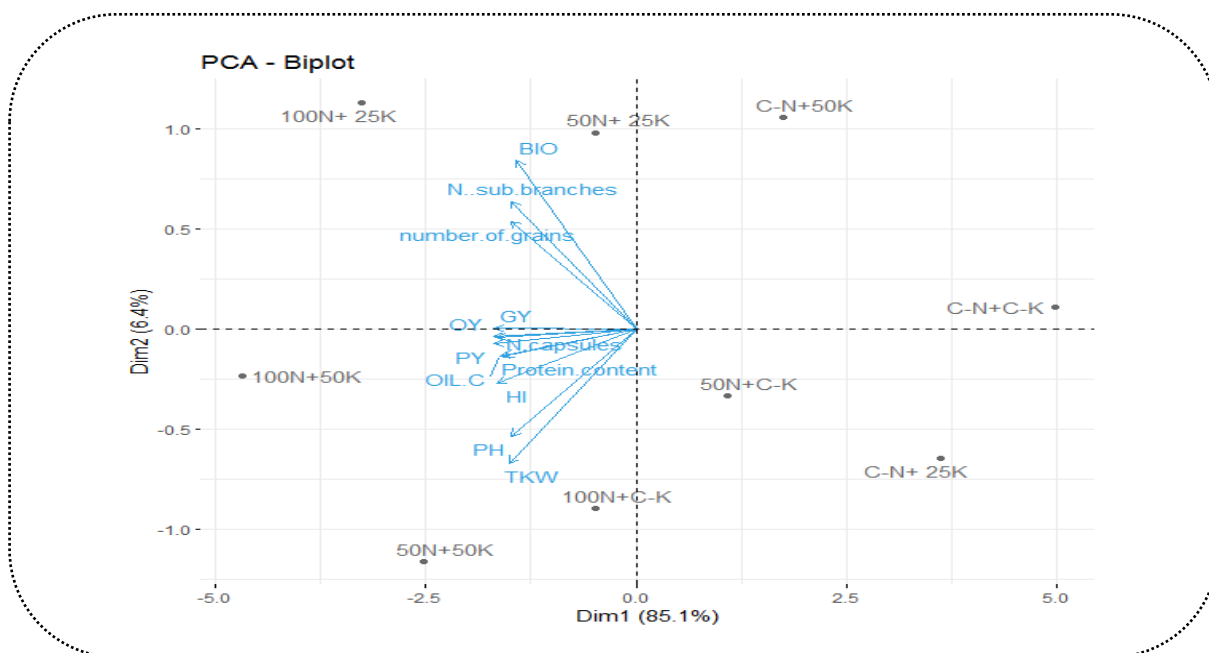
عملکرد پروتئین دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اختلاف بین سطوح کود نیتروژن و پتاسیم از نظر درصد پروتئین دانه معنی‌دار (هر دو $p < 0/01$) بود (جدول ۲). نتایج نشان داد کاربرد کود نیتروژن اثر مثبتی بر بهبود عملکرد پروتئین دانه داشت به‌طوری‌که سطوح 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب با متوسط $367/54$ و $500/9$ کیلوگرم در هکتار در رتبه اول و دوم قرار گرفتند تیمار شاهد با متوسط $133/02$ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد روغن را به خود اختصاص داد (جدول ۳). نظر به اینکه عملکرد پروتئین دانه از دو جزء عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه تشکیل شده است، بالا بودن عملکرد پروتئین در تیمار 100 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به دلیل بالا بودن این دو جزء در تیمار 100 کیلوگرم در هکتار بود. در بین سطوح کود پتاسیم سطح 50 کیلوگرم در هکتار با متوسط $433/5$ کیلوگرم در هکتار بالاترین و تیمار شاهد (عدم کاربرد کود پتاسیم) با متوسط $233/93$ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد پروتئین را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). در مطالعه اوبینگ و همکاران (Obeng et al., 2020) بر روی کاملینا بالاترین عملکرد دانه با متوسط 341 کیلوگرم در هکتار در تیمار کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار بدست آمد، همچنین سینتیم و همکاران (Sintim et al., 2015) اظهار داشتند با افزایش سطح کود نیتروژن به صورت همزمان بر درصد پروتئین دانه در کاملینا افزوده می‌شود.

تجزیه بای پلات

بر اساس نتایج آنالیز بای پلات دو عامل اول ۹۱/۵ درصد از کل واریانس داده‌ها را تبیین کرد، گروه‌بندی داده‌ها بر اساس تیمارها و صفات مورد بررسی نشان داد در ناحیه اول (بالا سمت چپ) تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم پتاسیم، تیمارهای ۵۰ کیلوگرم نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم پتاسیم قرار گرفتند، تیمارهای مذکور بیشترین نزدیکی را با صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد شاخه جانبی و تعداد دانه داشتند، قرار گرفتن این صفات در کنار تیمارهای مذکور نشان دهنده این است که بالاترین عملکرد بیولوژیک، تعداد شاخه جانبی و تعداد دانه در واکنش به تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم

پتاسیم، تیمارهای ۵۰ کیلوگرم نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم پتاسیم بدست آمد، لازم به ذکر است که جهت بردار صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد شاخه جانبی و تعداد دانه با دو تیمار شاهد نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم پتاسیم و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن با شاهد پتاسیم مخالف بود، که بیانگر آن بود که صفات مذکور کمترین مقادیر را در واکنش به شاهد نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم پتاسیم و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن کسب کردند، نکته دیگر که باید به آن اشاره داشت این است که زاویه بین بردارهای صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد شاخه جانبی و تعداد دانه با یکدیگر کم و هم جهت بودند که بیانگر وجود همبستگی مثبت بین صفات مذکور است (شکل ۵).



شکل ۵. نمودار بای پلات گروه‌بندی تیمارها و صفات مورد بررسی در کاملینا

Figure 5. Biplot diagram of the grouping of treatments and studied traits in Camelina

تیمارها در کنار صفات مذکور بیانگر واکنش مثبت صفات به تیمارهای مذکور است. همانطوری که مشاهده می‌شود، بردارهای عملکرد دانه با بردارهای وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، شاخص برداشت، تعداد خورجی در بوته، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین هم جهت و در مجاور یکدیگر قرار گرفته‌اند، که بیانگر همبستگی مثبت و تأثیرپذیری مثبت

در ناحیه چهار بای پلات صفات وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، شاخص برداشت، تعداد خورجین در بوته، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین قرار گرفتند، صفات مذکور در کنار تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن + شاهد پتاسیم، ۵۰ کیلوگرم نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم پتاسیم قرار گرفتند، قرار گرفتن این

منابع

Ahmadi, M. R., and A. Javidan Far. 1999. Nutrition Oil Plant Canola. Committee Oilseeds. Amidi publications. East Azarbaijan.

Amiri Darban, N., Q., Noor Mohammadi, A.H., Shirani Rad, S.M.J., Mirhadi, and A. Majidi, 2021. Investigating the physiological response and yield of camellia seed and oil (*Camelina sativa* L. Crantz) to the application of ammonium sulfate and potassium sulfate under drought stress at the end of the season. Environmental tensions in agricultural sciences. 54(4): 87-99.

Arabi, M., Parsa, S., Jami Al-Ahmadi, M., and S. Mahmoodi, 2022. Effect of superabsorbent polymer and potassium sulfate on growth, yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) under water deficit conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 15(1): 149-160.

Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. J. Plant Nutr. Soil Science. 168: 521-53.

Dobre, P., and C. Jur, 2011. Camelina sativa- an oilseed crop with unique agronomic characteristics. scientific Papers, UA SVMBU charest. Series A, VOL. LIV 425-430.

Elhanafi, L., Houhou, M., Rais, C., Mansouri, I., Elghadraoui, L., and Greche, H. 2019. Impact of excessive nitrogen fertilization on the biochemical quality, phenolic compounds, and antioxidant power of *Sesamum indicum* L seeds. Journal of Food Quality. 2: 1-6.

Esmacili, A., A., Najaphy, and D. Kahrizi, 2022. Evaluation of drought tolerance in camellina (*Camelina Sativa*) doubled haploid lines using selection index of ideal genotype (SIIG). Journal of Crop Breeding. 14(44): 199-210.

Fallah, F., D., Kahrizi, A., Rezaeizad, A.R., Zebajadi, and L. Zarei, 2019. Evaluation of genetic variation and parameters of fatty acid profile in doubled haploid lines of *Camelina sativa* L. Plant

صفات مذکور از یکدیگر است (شکل ۵). در ارزیابی مقدار تحمل به تنش در لاین‌های هاپلوئید مضاعف کاملینا خشکی اسماعیلی و همکاران (Esmacili et al., 2022) از روش بای بای پلات استفاده کردند، در مطالعه آن‌ها دو مولفه اول ۹۹/۶۸ درصد از کل تغییرات داده‌ها را تبیین کرد.

نتیجه‌گیری

باتوجه به اهمیت اقتصادی عملکرد دانه و عملکرد روغن در گیاه کاملینا نتیجه‌گیری کلی بر اساس این دو صفت که برآیند کلیه صفات مورد بررسی است انجام می‌شود، در تحقیق حاضر اگر چه حداکثر عملکرد دانه در تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم بدست آمد، اما اختلاف بین تیمار مذکور با تیمار استفاده از ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (با توجه به هدر رفت سریع کود نیتروژن از طریق آب شویی) همراه با ۵۰ کیلوگرم در پتاسیم معنی‌دار نبود، همچنین در آنالیز بای پلات نیز عملکرد دانه و عملکرد روغن در مجاورت تیمارهای ۵۰ کیلوگرم نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم پتاسیم قرار گرفتند، که بیانگر اثر مثبت این تیمارها بر صفات مذکور بود. بنابراین می‌توان اظهار داشت با کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۵۰ کود پتاسیم همان عملکردی به دست می‌آید که از کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن همراه با ۵۰ کیلوگرم کود پتاسیم قابل دست‌یابی است، همچنین حداکثر عملکرد روغن در تیمار استفاده از ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم به دست آمد. می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد دو سطح مذکور علاوه بر اینکه با اثر مثبت بر روی عملکرد و اجزای عملکرد دانه و روغن موجب حصول حداکثر صفات اقتصادی مذکور شدند مطلوب‌ترین تیمار از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی نیز هستند.

Journal. 105: 1847–1852.

Johnson, J.M., R.W., Gesch, and N.W. Barbour, 2018. Spring camelina N rate: Balancing agronomics and environmental risk in United States Corn Belt. Arch. Agron. Soil Science. 65: 640–653 .

Kathiresan, G. 2002. Response of sesame (*Sesamun indicum* L.) genotypes to levels of nutrients and spacing under different seasons. Indian Journal of Agronomy. 47: 537-540.

Kunt joshi, S., S., Ahmad, L. C., Meher, A., Agarwal, and M. Nasim, 2017. Growth and yield response of Camelina sativa to inorganic fertilizers and farmyard manure in hot semi-arid climate of India. Advances in Plants & Agriculture Research. 7 (3): 305-309.

Latif, S., and A. Farooq, 2011. Aqueous enzymatic sesame oil and protein extraction. Food Chemistry. 125 (2): 679-684.

Li, N., P., Kumar, L., Lai, G.O., Abagandura, S., Kumar, T., Nleya, H.L., Sieverding, J.J., Stone, and W. Gibbons, 2019. Response of Soil Greenhouse Gas Fluxes and Soil Properties to Nitrogen Fertilizer Rates under Camelina and Carinata Nonfood Oilseed Crops. BioEnergy Reserch. 12: 524–535 .

Lv, X., T., Li, X., Wen, Y., Liao, and Y. Liu, 2017. Effect of potassium foliage application post-anthesis on grain filling of wheat under drought stress. Field Crop. Reserch. 206: 95–105.

Malhi, S.S., E.N., Johnson, L.M., Hall, W.E., May, S., Phelps, and B. Nybo, 2014. Effect of nitrogen fertilizer application on seed yield, N uptake, and seed quality of Camelina sativa. Canadian Journal of Soil Science. 94(1): 35-47.

Malhi, S.S., E.N., Johnson, L.M., Hall, W.E., May, S., Phelps, and B. Nybo, 2014. Effect of nitrogen fertilizer application on seed yield, N uptake, and seed quality of Camelina sativa. Can. Journal Soil Science. 94: 35–47.

Genet. Res. 6(2): 79 96.

Ghaffari Nejad, S.A., F., Nourgholipour, and M.N. Gheybi, 2020. Biostimulants and their roles in plant physiology, nutrient absorption, and tolerance to abiotic stresses. Land Management Journal. 8(1): 47-67.

Hasani Balyan, M., M.R., Tadayon, and A.A. Fadaei Tehrani, 2020. Evaluation of some growth and yield traits of Camelina sativa L. under the influence of biological and chemical fertilizers. Journal of Crop Production and Processing. 10(1): 39-51.

Hasanuzzaman, M., B., Bhuyan., K., Nahar., S., Hossain., J., Al Mahmud., S., Hossen., A.A.C., Masud, and M.M. Fujita. 2018. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. Agron. 8(31): 1-29.

Hoeft, R. G., E.D., Nafziger, R.R., Johnson, and R. Aldrich, 2010. Modern Corn and Soybean Production, MCSP Publications, USA.

Jankowski, K.J., M., Sokólski, and B. Kordan, 2019. Camelina: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland. Industrial Crops and Products 141: 111776.

Jeer, M., Y., Yele, K.C., Sharma, and N.B. Prakash, 2021. Exogenous application of different silicon sources and potassium reduces pink stem borer damage and improves photosynthesis, yield and related parameters in wheat. Silicon. 13: 901–910.

Jiang, Y., C.D., Caldwell, K.C., Falk, R.R., Lada, and D. MacDonald, 2013. Camelina yield and quality response to combined nitrogen and sulfur. Agron. Journal. 105: 1847–1852.

Jiang, Y., and C.D. Caldwell, 2016. Effect of nitrogen fertilization on camelina seed yield, yield components, and downy mildew infection. Can. Journal Plant Science. 96: 17–26 .

Jiang, Y., C.D., Caldwell, K.C., Falk, R., Lada, and D. Macdonald, 2013. Camelina Yield and Quality Response to Combined Nitrogen and Sulfur. Agron.

130: 138-144.

Sedri, M.H., E., Roohi, M., Niazian, and G. Niedbala, 2022. Interactive effects of nitrogen and potassium fertilizers on quantitative-qualitative traits and drought tolerance indices of rainfed wheat cultivar. *Agronomy*. 12: 30.

Shirani Rad, A., M., Malmir, and H. Eyni-Nargeseh, 2023. Potassium Silicate Positively Affects Oil Content, Physiologic, and Agronomic Traits of *Camelina sativa* L. Under Optimal Water Supply and Drought Stress Conditions. *Silicon*. 121(3): 117-129.

Sintim, H.Y., V.D., Zheljazkov, A.K., Obour, A.G., Garcia, and T.K. Foulke, 2015. Influence of nitrogen and sulfur application on camelina performance under dryland conditions. *Ind. Crops Prod.* 70: 253–259.

Solis, A., I., Vidal, L., Paulino, B. L., Johnson, and M.T. Berti, 2013. Camelina seed yield response to nitrogen, sulfur, and phosphorus fertilizer in South Central Chile. *Industrial Crops and Products*. 44: 132-138.

Stahl, A., M., Pfeifer, M., Frisch, B., Wittkop, and R.J. Snowdon, 2017. Recent Genetic Gains in Nitrogen Use Efficiency in Oilseed Rape. *Frontiers in Plant Science*. 8: 963.

Stolarski, M.J., M., Krzyżaniak, J., Tworkowski, D., Załuski, J., Kwiatkowski, and S. Szczukowski, 2019. Camelina and crambe production—Energy efficiency indices depending on nitrogen fertilizer application. *Ind. Crop. Prod.* 137: 386–395 .

Wang, M., Q., Zheng, Q., Shen, and Sh. Guo, 2013. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*. 14: 7370-7390.

Wysocki, D.J., T.G., Chastain, W.F., Schillinger, S.O., Guy, and R.S. Karow, 2013. Camelina: seed yield response to applied nitrogen and sulfur. *Field Crops Reserch*. 145: 60–66.

Mohammed, Y.A., C., Chen, and R.K. Afshar, 2017. Nutrient Requirements of Camelina for Biodiesel Feedstock in Central Montana. *Agron. Journal*. 109: 309–316 .

Obeng, E.O., K., Augustine, N. O., Nelson, I. A., Ciampitti, and D. Wang, 2020. Nitrogen and sulfur application effects on camelina seed yield, fatty acid composition, and nutrient removal. *Canadian Journal of Plant Science*. 101(3): 365-353.

Pettigrew, W.T. 2009. Potassium deficiency increases specific leaf weights of leaf glucose levels in field - grown cotton. *Agronomía Mesoamericana*. 91: 962-968.

Rasool, F. U., B., Hassan, I., Aalum, and S.A. Ganie, 2013. Effect of nitrogen, sulphur and farmyard manure on growth dynamics and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under temperate conditions. *Scientific Research and Essays*. 8(43): 2144-2147.

Raziei, Z., D., Kahrizi, H., Rostami-Ahmadvandi, F., Falah and F. Karami, 2016. Production and fatty acid characterization of DH1025 a doubled haploid Camelina sativa line. *International Conference on Researches in Science and Engineering*. 28 July 2016. Istanbul University, Turkey.

Righini. D., F., Zanetti, E., Martínez-Force, M., Mandrioli, T., Gallina Toschi, and A. Monti, 2019. Shifting sowing of camelina from spring to autumn enhances the oil quality for bio-based applications in response to temperature and seed carbon stock. *Ind Crop Prod.* 137:66–73.

Sawan, Z.M., S.A., Hafez, A.E., Basyony, and A.E.R. Alkassas, 2006. Cottonseed, protein, oil yields and oil properties as affected by nitrogen fertilization and foliar application of potassium and a plant growth retardant. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2 (1): 56-65.

Schillinger, W.F., D.J., Wysocki, T.G., Chastain, S.O., Guy, and R.S. Karow, 2012 Camelina: planting date and method effects on stand establishment and seed yield. *Field Crops Research*.

Zarei, Sh., P., Hassibi, D., Kahrizi, and S.M. Safieddin Ardebili, 2022. Effect of Nitrogen Application on Camelina (*Camelina sativa*) Oil Seed Yield and Yield Components at Different Planting Dates. Iranian Journal of Field Crops Research. 13(51): 81-96.

Yousaf, M., X., Li, Z., Zhang, T., Ren, R., Cong, S. T., Ata-Ul-Karim, S., Fahad, A. N., Shah, and J. Lu, 2016. Nitrogen fertilizer management for enhancing crop productivity and nitrogen use efficiency in a rice-iilseed rape rotation system in China. Frontiers in Plant Science. 7: 1496.

The Effect of Foliar Application of Different Concentrations of Calcium on the Fruit Quality of Golden Delicious Apple Before Harvest

Keyvan Pirouti¹, Ismail Nabizadeh^{2*}, Khadijah Ahmadi³, Masoud Haqshenas⁴

1- Researcher of Miandoab Agricultural Research and Natural Resources Station, West Azarbaijan, Iran.
(pirotykivan@gmail.com)

2- Corresponding authors and Associate Professor, Department of Agrothechnology, Faculty of Agricultural and Natural Resources Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
(nabizadeh.esmaeil@gmail.com)

3- Ph.D. in Crop Physiology, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran.
(kh.ahmadi612@gmail.com)

4- Ph.D. Student in Horticulture, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
(haghshenas@gmail.com)

Received Date: 19/06/2022

Accepted Date: 15/10/2022

Abstract

Introduction: Apple (*Malus domestica* Borkh.), belongs to the Rosaceae family and is one of the most important economic fruits in the world. Apple trees grow best in well-drained, deep, and fertile soils, and the availability of nutrients influences the overall yield and quality of fruits produced in orchards. The importance of increasing calcium in apple fruit to improve its quality has led to research in major apple production areas around the world. Calcium is a critical component in maintaining the hardness of fruits during storage, as it is responsible for the integrity of the cell. Thus, the softening of the fruit may result from the loss of calcium in the middle of the plate and/or its absence in the bonds between the peptic molecules. When treated during the pre-harvest period, the entrance of calcium into fruits delays the fruit's softening and ripening rate, thereby slowing down the decay of cell walls. The pre-harvest use of calcium can slow down the aging of fruits without adversely affecting the consumer quality of fruits. The preferred method to increase the calcium concentration of the fruit is to apply foliar application of various calcium compounds before harvesting. In this research, the effects of foliar application of different calcium compounds on the quality parameters of Golden Delicious apple fruit were evaluated.

Material and methods: In this study, three different calcium compounds including calcium chloride (CaCl_2), calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) and calcium oxide (CaO) in concentrations of 0.5%, 1% and 1.5% and control (distilled water) were used to evaluate the effects of calcium on the quality characteristics of Golden Delicious apples. This design was implemented as a factorial experiment based on randomized complete blocks in three replications. The experiment was recorded at two harvest times and after 4 months of storage in the refrigerator (4°C and 85-95% relative humidity).

Results and discussion: Results and discussion: Based on the results obtained from the two experiments, the traits affected by different sources of calcium fertilizer and the interaction effects of calcium fertilizer sources were not concentrated. According to the results, different concentrations had a significant impact on the studied traits. The mean comparison results indicated that with the increase in the concentrations of calcium sources, the fruit firmness traits (4.87% and 8% at harvest and 4 months after storage, respectively) and organic acid (0.67% and 0.38% at harvest and 4 months after storage, respectively) increased. Additionally, with the increase in the concentrations of calcium sources, the total soluble solids (13.06% and 11.95% at harvest and 4 months after storage, respectively) and pH (3.61 and 4 at harvest and 4 months after storage, respectively) had the lowest values. Overall, spraying calcium sources at a concentration of 1% at harvest effectively improved the fruit quality and storage capability of the Delicious apple variety.

Conclusions: Based on the observations made at the time of harvesting and after storage in cold storage, high concentrations of fertilizer sources, especially in the treatment of 1.5%, caused burns and damage to fruits. Therefore, despite the effectiveness of these treatments in increasing the firmness of the fruit compared to the control, the use of this concentration is not recommended. Since there was no burn effect at the concentration of 1% and it had a greater effect on increasing the firmness of the fruit texture than other treatments, it can be used as a result. Foliar application was used at harvest time and 4 months after refrigeration, and this concentration showed its efficiency in this experiment.

Keywords: Calcium, Fruit firmness, Golden Delicious Apple, Organic Acid.

اثر محلول پاشی غلظت‌های مختلف کلسیم بر کیفیت میوه سیب (رقم گلدن دلشز) روی پایه‌های بذری

کیوان پیروتی^۱، اسمعیل نبی‌زاده^{۲*}، خدیجه احمدی^۳، مسعود حق شناس^۴

۱- محقق ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی میاندوآب، آذربایجان غربی، ایران
(pirotykivan@gmail.com)

۲- نویسنده مسئول و دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، مهاباد، ایران
(nabizadeh.esmaeil@gmail.com)

۳- دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، ایران
(kh.ahmadi612@gmail.com)

۴- دانشجوی دکتری تخصصی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(haghshenas@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹

چکیده

اهمیت افزایش کلسیم میوه سیب جهت بهبود کیفیت آن منجر به انجام تحقیقاتی در مناطق عمده تولید سیب در جهان گشته است. روش رایج جهت افزایش غلظت کلسیم میوه به‌کارگیری محلول‌پاشی ترکیبات مختلف کلسیمی قبل از برداشت است. در این مطالعه جهت ارزیابی اثرات کلسیم بر خصوصیات کیفی سیب (رقم گلدن دلشز) از سه ترکیب مختلف کلسیمی شامل کلرور کلسیم، نترات کلسیم و اکسید کلسیم در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد و شاهد (آب مقطر) استفاده گردید. این طرح به‌صورت آزمایش فاکتوریل طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شده است. دو آزمایش جداگانه یکی در زمان برداشت و آزمایش دوم چهار ماه بعد از نگهداری در یخچال (با دمای ۳-۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵-۹۵٪) یادداشت‌برداری شد و نتایج به‌دست‌آمده باهم مقایسه گردید. براساس نتایج بدست آمده دو آزمایش، صفات تحت اثر ساده منابع مختلف کود کلسیم و اثر متقابل منابع کود کلسیم در غلظت قرار نگرفت. همچنین اثر ساده غلظت‌های مختلف تأثیر معنی‌داری بر صفات کیفیت میوه سیب داشتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت صفات سفتی میوه (۸ و ۴/۸۷ درصد به ترتیب در زمان برداشت و ۴ ماه بعد از نگهداری) و اسید آلی (۰/۶۷ و ۰/۳۸ درصد به ترتیب در زمان برداشت و ۴ ماه بعد از نگهداری) افزایش پیدا کردند. همچنین با افزایش غلظت منابع کلسیم صفات مواد جامد محلول کل (۱۳/۰۶ و ۱۱/۹۵ درصد به ترتیب در زمان برداشت و ۴ ماه بعد از نگهداری) و pH (۴ و ۳/۶۱ به ترتیب در زمان برداشت و ۴ ماه بعد از نگهداری) دارای کمترین مقدار بودند. به‌طور کلی، محلول‌پاشی منابع کلسیم در غلظت یک درصد در زمان برداشت به‌طور مؤثری کیفیت میوه و قابلیت نگهداری سیب رقم گلدن دلشز را بهبود بخشید.

کلمات کلیدی: اسید آلی، کلسیم، سفتی میوه، سیب رقم گلدن دلشز.

مقدمه

سیب یکی از مهم ترین میوه های اقتصادی در جهان است. سیب (*Malus domestica*) متعلق به خانواده Rosaceae است که منشأ آن در خاورمیانه در حدود ۴۰۰۰ سال پیش است و از هزاران سال پیش در آسیا و اروپا پرورش داده می شود (Pandita et. al., 2016). درختان سیب در خاک های با زهکشی خوب، عمیق و حاصلخیز بهترین رشد را دارند و در دسترس بودن مواد مغذی بر عملکرد و کیفیت کلی میوه های تولیدشده در باغات تأثیر می گذارد (Motesharezadeh et al, 2021). اگرچه کاربرد خاکی روش رایج استفاده از کود در درختان میوه است، اما محلول پاشی برای پاسخ سریع، روشی ایده آل برای رفع کمبود عناصر غذایی است. محلول پاشی استفاده مؤثر و اقتصادی از کودها است، علاوه بر این گیاهان گهگاه با سرعتی بالاتر از قابلیت پشتیبانی ریشه رشد می کنند تا مواد معدنی را به بافت های مهم برگ، گل و میوه منتقل کنند. محلول پاشی اغلب به غلبه بر کمبود مواد مغذی و حفظ سطوح بهینه مواد مغذی در آن بافت های حیاتی کمک می کند (Almeida and Gomes 2017). بهره وری، کیفیت میوه و ظرفیت ذخیره سازی درختان میوه توسط عوامل متعددی تعیین می شود که یکی از آن ها تغذیه معدنی درخت است. کلسیم (Ca) یک یون تنظیم کننده اصلی در محصولات باغی است که از طریق مکانیسم های فیزیکی و بیوشیمیایی نقش حیاتی در رسیدن میوه دارد (Hocking et al., 2016). کلسیم جزء مهمی از دیواره سلولی گیاه است و رشته های پکتین را به هم متصل می کند و به حفظ سفتی میوه پس از برداشت کمک می کند (Gao et al., 2019). جذب و انتقال کلسیم از طریق جریان تعرق انجام می شود و بر خلاف بسیاری از مواد مغذی دیگر، کلسیم متحرک آبکش نیست و نمی تواند به راحتی از یک اندام به اندام دیگر منتقل شود (de Freitas and Mitcham, 2012). کمبود کلسیم می تواند به دلیل در دسترس بودن کم کلسیم یا تنش آبی باشد که منجر به تعرق پایین می شود، زیرا

کلسیم نمی تواند از بافت های قدیمی تر و از طریق آبکش توزیع شود (Thomas and Adarsh, 2020). کلسیم از طریق آوند چوبی منتقل می شود و به محض اینکه تقسیم سلولی متوقف شود و گسترش سلولی بعدی آغاز شود، کلسیم اضافی بسیار کمی وارد میوه می شود (Lurie, 2009). به همین دلیل، محلول پاشی های کلسیم یک عمل باغبانی معمولی برای گونه های مختلف میوه برای بهبود یکپارچگی سلول های میوه، مقاومت در برابر بیماری، کیفیت، یا به حداقل رساندن وقوع کمبود کلسیم است (Val and Fernández, 2011). با این حال، پاسخ به محلول-پاشی های کلسیم متغیر است و تولیدکنندگان میوه اغلب نتایج متناقضی را به دست می آورند (Crisosto et al., 2000). محلول پاشی شاخ و برگ درخت سیب با کودهای کلسیم که به طور انحصاری از طریق برگ ها استفاده می شود می تواند به طور قابل توجهی در تأمین بهتر کلسیم میوه ها در مقایسه با نوع شاهد کمک کند، هم چنین محلول پاشی کلسیم تأثیر مثبتی در بهبود سفتی سیب دارد (Murtić et al., 2017).

کلسیم را می توان از طریق نیترات کلسیم، کلرید کلسیم، هیدروکسید کلسیم و غیره اعمال کرد. تقریباً تمام ویژگی های قبل از برداشت مؤثر در بروز لکه تلخی سیب می تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم با تغذیه کلسیم میوه ها مرتبط باشد و این اختلالات دوره ذخیره سازی را به چند ماه محدود می کند (Almeida and Gomes 2017). کلسیم نقش مهمی در ساختار و استحکام دیواره سلولی، ساختار و عملکرد غشاء، به عنوان یک یون متقابل در اندامک های ذخیره و به عنوان یک مولکول سیگنال در سیتوزول ایفا می کند (Ahmed and Palta, 2017). مطالعات گزارش کرده اند که محتوای کم کلسیم میوه منجر به نرم شدن و قهوه ای شدن سریع گوشت می شود (Hepler, 2005). بر این اساس، میوه های تیمار شده با کلسیم سفت تر هستند و میزان قهوه ای شدن هسته کمتری دارند (Hatoum et al., 2014). هدف از این پژوهش بررسی اثرات محلول پاشی

ترکیبات مختلف کلسیم بر پارامترهای کیفی میوه سیب (رقم گلدن دلشز) بود.

مواد و روش ها

این تحقیق در شهرستان مهاباد (واقع در استان آذربایجان غربی و به مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۳ دقیقه الی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه نیمکره شمالی) در سال ۱۳۹۹ در روستای اگریقاش اجرا گردید. ارتفاع شهرستان از سطح دریا ۱۳۵۲ متر است. محدوده حرارتی منطقه تحت تأثیر توده های هوایی مختلف، متضمن سرماهای شدید و نوسانات اقلیمی بوده و میانگین سالانه دمای منطقه ۱۲/۹ درجه و متوسط دمای حداکثر مطلق ۴۱/۲ درجه در مردادماه و متوسط دمای حداقل مطلق ۱۹/۸- در بهمن ماه است. میانگین سالانه بارندگی منطقه ۴۱۳ میلی متر و محدوده آن مدیترانه ای است. حداکثر بارش ماهانه که ۱۹٪ کل بارش سالانه را تشکیل می دهد و در اردیبهشت و فروردین ماه ۱۴۰۰ با متوسط ۲۰ میلی متر و حداقل بارش ماهانه در مردادماه ۱۴۰۰ برابر ۱/۲ میلی متر بود.

مشخصات درختان مورد آزمایش

درختان سیب مورد آزمایش از رقم گلدن دلشز بوده که روی پایه های بذری پیوند شده اند. درختان ۳۰ ساله و به فواصل ۶ در ۶ متر کشت شده بودند. مراقبت های باغی از درختان هر سال عملیات کود دهی، هرس، مبارزه با آفات و بیماری ها در صورت لزوم انجام شده است. خاکی که درختان در آن کشت شده بودند دارای بافت لوم رسی با درصد قابل توجهی رس های سیلیکاتی ۲:۱ با خاصیت تورم پذیری و جذب رطوبت زیاد بود. باغ مورد آزمایش کلاً فاقد سنگ و سنگریزه در سطح و تحت الارض بوده و عمق خاک از ۱۵۰-۹۰ سانتی متر و در بعضی از نقاط عمق خاک به بیش از ۱۵۰ سانتی متر نیز می رسد. شوری خاک ناچیز و قابلیت هدایت الکتریکی آن کم تر از ۴ میلی موس بر سانتی متر بوده و سطح آب تحت الارض در کلیه قسمت های آن در اعماق پایین تر از ۲-۳ متری قرار داشت. مشخصات نمونه تجزیه خاک باغ محل اجرای آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ویژگی های شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه

Table 1- Chemical and physical characteristics of field soil

30 cm 0-	Chemical and physical properties of soil
Clay Loam	Texture
0.4	EC (ds/m)
8	pH
50	SP (%)
17	TNV
1.5	OC (%)
0.73	Total N (%)
3.6	P (ppm)
200	K (ppm)

روش اجرای آزمایش

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی (فاکتور اول ترکیب کلسیمی در سه سطح: کلرور کلسیم، نترات کلسیم، اکسید کلسیم و

فاکتور دوم غلظت در چهار سطح: ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) با ۱۲ تیمار در ۳ تکرار شامل ۳۶ واحد آزمایشی در بهار سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ استفاده شد. به این ترتیب که بعد از برداشت محصول، طی چند نوبت مراجعه به باغ،

را تنظیم کرده به طوری که روی صفحه مدرج، درصد قند در عصاره میوه قرائت شد.

اندازه گیری pH

برای اندازه گیری pH عصاره میوه از روش پتانسیومتری، با محلول های بافر با pH = ۴ و ۷ دستگاه pH متر را تنظیم و سپس ۱۰ تا ۲۰ میلی لیتر از عصاره میوه را در ظرفی ریخته و الکترود شیشه ای pH متر را در محلول فروبرده و عدد مربوطه را قرائت شد. بعد از هر بار استفاده لازم است که الکتروود را با آب مقطر شسته و کاملاً پاک کرده و سپس برای نمونه بعدی استفاده شد.

اندازه گیری اسید آلی میوه (TA)

برای اندازه گیری اسید آلی میوه ۱۰ میلی لیتر از عصاره میوه را توسط پیپت برداشته و در لوله آزمایش ریخته و به آن ۴۰-۲۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. به محلول تهیه شده ۲ تا ۳ قطره شناساگر (معرف) فنل فتالین یک درصد اضافه گردید. سپس عمل سنجش حجمی (تیتراسیون) توسط هیدرو اکسید سدیم ۰/۱ نرمال (دسی نرمال) انجام گرفت. هنگامی که رنگ محلول حاوی عصاره میوه تغییر کرد (قرمز روشن)، عمل تیتراسیون خاتمه یافت. برای اطمینان می توان در حین تیتراسیون، pH عصاره را نیز اندازه گیری شد. زمانی که pH به ۸/۱ رسید عمل تیتراسیون را متوقف و مقدار سود مصرفی را یادداشت نمود زیرا معرف فنل فتالین در محیط اسیدی بی رنگ بوده اما در محیط قلیایی (pH = ۸/۳-۱۰) به رنگ قرمز تبدیل می شود. سپس مقدار اسید آلی از فرمول زیر محاسبه شد:

$$A = \frac{S.N.F.E}{C} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

A: مقدار اسید در عصاره میوه (g/100 ml)، S: مقدار NaOH مصرف شده، N: نرمالیت NaOH (۰/۱)، F: فاکتور NaOH (۱)، C: مقدار عصاره میوه (۱۰ میلی لیتر) و E: اکی والان اسید مورد نظر (۰/۰۶۷ = اسید مالیک) است. از آنجایی که اسید آلی غالب سیب، اسید مالیک است لذا اکی والان آن ۰/۰۶۷ است.

درختان استاندارد سیب رقم گلدن دلشز (۳۰ ساله) مورد نظر که دارای قدرت و فرم یکسانی بودند به تعداد مورد نظر (۳۶ اصله) انتخاب گردیده و از هر درخت سه شاخه تقریباً یکسان به طول ۱/۵-۲ متر در سه طرف مختلف درخت انتخاب گردید. اتیکت مربوط به هر شاخه نصب شد. طی دو مرحله یکی زمان برداشت و دیگری بعد از چهار ماه نگهداری در سردخانه، صفات سفتی میوه، TSS، اسیدیته، میزان کلسیم و pH میوه اندازه گیری شدند. در زمان برداشت، میوه های هر کدام از تیمارها به طور جداگانه برداشت شده و در جعبه های مجزا قرار داده شدند. نیمی از آن ها جهت انجام آنالیزهای مربوط به زمان برداشت بلافاصله به آزمایشگاه ایستگاه تحقیقات کشاورزی کهریز منتقل شده و بقیه در سردخانه در شرایط ۳-۴ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۸۵ درصد نگهداری شدند تا پس از ۴ ماه دوباره صفات مورد نظر اندازه گیری شد.

محلول پاشی

محلول های تهیه شده به طور جداگانه در بطری های سربسته ریخته شد. در زمان فندقه شدن میوه های سیب به فاصله هر دو هفته یکبار محلول پاشی طی ۴ نوبت تکرار شد و برای هر غلظت، از سم پاش های دستی ۱/۵ لیتری جداگانه استفاده شد. عملیات محلول پاشی از ساعت ۸-۱۰ صبح روزهای تعیین شده و قبل از گرمای ظهر انجام گرفت و محلول پاشی بر روی تمام سطح میوه های شاخه های علامت گذاری شده انجام گرفت به طوری که کاملاً خیس شدند.

اندازه گیری مواد جامد محلول کل (TSS)

برای اندازه گیری قندها از دستگاه رفاکتومتر دستی استفاده گردید. به این ترتیب که ابتدا با استفاده از آب مقطر صفحه مدرج را صفر کرده، سپس سرپوش منشور کنار زده شده و چند قطره از عصاره میوه را که قبلاً تهیه شده بود روی آن ریخته شد. دوباره سرپوش منشور را گذاشته و برای مشاهده واضح صفحه مدرج، با دکمه، عدسی شیئی

تجزیه داده ها

فاکتورهای آزمایش شامل ترکیب کلسیمی در سه سطح (کلرور کلسیم، نیترات کلسیم و اکسید کلسیم) و غلظت در چهار سطح (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) با ۱۲ تیمار در ۳ تکرار شامل ۳۶ واحد آزمایشی بودند. بعد از جمع آوری داده ها، تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج

سفتی میوه در زمان برداشت

نتایج تجزیه واریانس صفت سفتی میوه نشان داد که

بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نیترات کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل منابع کود در غلظت اختلاف معنی دار وجود ندارد ولی برای غلظت های مورد استفاده در سطح احتمال ۱٪ اختلاف آماری وجود دارد (جدول ۲). مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن برای غلظت های مصرفی نشان داد که غلظت های مصرفی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ در یک گروه آماری واقع شده و با افزایش غلظت کلسیم سفتی میوه سیب بیشتر شده است. هر سه غلظت مصرفی نسبت به شاهد برتری دارند، ولی از نظر آماری تفاوتی در بین آن ها نیست و این برتری در غلظت یک درصد دارای بیش ترین مقدار با میانگین ۸/۱ درصد است (جدول ۳).

جدول ۲- میانگین مربعات صفات مورد بررسی تحت غلظت های مختلف کود کلسیم در زمان برداشت

Table 2- Mean square of investigated traits under concentrations of calcium fertilizer at harvest time

S.O.V	Df	Fruit Firmness	TSS	TA	pH
Ca fertilizer (Ca)	2	0.238 ^{ns}	1.434 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.041 ^{ns}
Concentration (C)	3	2.863**	9.383**	0.025*	0.214**
Ca × C	6	0.657 ^{ns}	1.703 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.029 ^{ns}
Error	22	0.307	0.908	0.006	0.028
CV (%)	-	7.24	6.89	12.07	4.5

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

^{ns}, * and ** are non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت های مختلف کود کلسیم بر صفات کیفی سیب در زمان برداشت

Table 3- Comparison of different average concentrations of calcium fertilizer on quality traits of apples at harvest time

Concentration (%)	Fruit Firmness (kg/cm ²)	TSS (Brix)	TA (Malic acid %)	pH
Control	6.84 ^b	15.3 ^a	0.55 ^b	3.96 ^a
0.5	7.7 ^a	13.78 ^b	0.63 ^{ab}	3.73 ^b
1	8.1 ^a	13.2 ^b	0.67 ^a	3.67 ^b
1.5	8 ^a	13.06 ^b	0.66 ^a	3.61 ^b

حروف یکسان در بین ارقام در یک ستون تفاوت معنی داری ندارد (آزمون دانکن در سطح معنی داری ۰/۰۵).

The same letters among cultivars within the same column are not significantly different (Duncan test at 0.05 significant level).

مواد جامد محلول کل (TSS) در زمان برداشت

طبق نتایج تجزیه واریانس مواد جامد محلول تحت تأثیر منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نیترات

کلسیم و اکسید کلسیم)، و اثر متقابل منابع کود در غلظت های مصرفی قرار نگرفت. همچنین اثر غلظت های مورد استفاده در سطح احتمال یک درصد بر مواد جامد

محلول کل در زمان برداشت معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی نشان داد که با افزایش غلظت‌های مصرفی از ۰/۵ تا ۱/۵ باعث کاهش مواد جامد محلول شد و هر سه غلظت مصرفی نسبت به شاهد کاهش نشان دادند که بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول مربوط به شاهد با میانگین ۱۵/۳ بود (جدول ۳).

اسید آلی (TA) در زمان برداشت

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) برای صفت اسید قابل تیتراسیون نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نترات کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل منابع کود در غلظت‌های مصرفی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. ولی برای غلظت‌های مورد استفاده (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵) در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری وجود دارد. طبق نتایج مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی مصرفی نشان داد که با افزایش غلظت‌های مصرفی کود کلسیم (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) نسبت به شاهد برتری نشان دادند و غلظت یک درصد دارای بیش‌ترین میزان اسید آلی با میانگین ۰/۶۷ درصد بود (جدول ۳).

pH در زمان برداشت

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) برای صفت pH نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم،

نترات کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل منابع کود در غلظت‌های مصرفی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. ولی برای غلظت‌های مورد استفاده (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۰) در سطح احتمال ۱٪ اختلاف آماری وجود دارد. مقایسه میانگین برای غلظت‌های مصرفی مصرفی نشان داد که با افزایش غلظت‌های مصرفی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ در یک گروه آماری واقع شده و هر سه غلظت مصرفی نسبت به شاهد (با میانگین ۳/۹۶) کاهش پیدا کردند (جدول ۳).

نتایج حاصل از غلظت و منابع کود کلسیمی بر سفتی میوه بعد از چهار ماه نگهداری در سردخانه

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف بعد از چهار ماه نگهداری در سردخانه در جدول ۴ آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس برای سفتی میوه نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نترات کلسیم و اکسید کلسیم) در سطح احتمال ۵ درصد (جدول ۴) و برای غلظت‌های مورد استفاده (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف آماری وجود دارد. بین اثر متقابل منابع کود در غلظت‌های مصرفی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی مصرفی نشان داد که غلظت‌های مصرفی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد در یک گروه آماری واقع شده و هر سه غلظت مصرفی نسبت به شاهد برتری دارند و بیش‌ترین مقدار سفتی میوه مربوط به غلظت یک درصد با میانگین ۴/۸۷ درصد بود (جدول ۵).

جدول ۴- میانگین مربعات صفات مورد بررسی تحت تأثیر کود با منبع کلسیم بعد از ۴ ماه نگهداری در سرد خانه
Table 2- Mean square of investigated traits under the effect of fertilizer with calcium source after 4 months of storage in cold house

S.O.V	Df	Fruit Firmness	TSS	TA	pH
Ca fertilizer (Ca)	2	0.969 ^{ns}	1.848 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.058 ^{ns}
Concentration (C)	3	1.757**	6.438**	0.042*	0.128**
Ca × C	6	0.066 ^{ns}	0.164 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.018 ^{ns}
Error	22	0.211	0.57	0.003	0.019
CV (%)	-	10.3	6.01	16.8	3.41

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.
^{ns}, * and ** are non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین غلظت‌های مختلف کود کلسیم بر صفات کیفی سیب بعد از ۴ ماه نگهداری در سردخانه

Table 5- Comparison of different average concentrations of calcium fertilizer after 4 months of storage in cold house

Concentration (%)	Fruit Firmness (kg/cm ²)	TSS (Brix)	TA (Malic acid %)	pH
Control	3.84 ^b	13.78 ^a	0.22 ^c	4.27 ^a
0.5	4.45 ^a	12.48 ^b	0.30 ^b	4.06 ^b
1	4.87 ^a	12 ^b	0.38 ^a	4.02 ^b
1.5	4.65 ^a	11.95 ^b	0.33 ^{ab}	4 ^b

حروف یکسان در بین ارقام در یک ستون تفاوت معنی داری ندارد (آزمون دانکن در سطح معنی داری ۰/۰۵).

The same letters among cultivars within the same column are not significantly different (Duncan test at 0.05 significant level).

pH بعد از چهار ماه نگهداری در سردخانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) برای pH نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نیتрат کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل کود در غلظت اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ولی برای غلظت‌های مورد استفاده (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۰) در سطح احتمال ۱٪ اختلاف آماری وجود دارد. مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی نشان داد که غلظت‌های مصرفی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ در یک گروه آماری واقع شده و هر سه غلظت مصرفی نسبت به شاهد کاهش دارند و کم‌ترین مقدار مربوط به سطح ۱/۵ درصد با میانگین ۴ است (جدول ۵).

بحث

اثر غلظت‌های مختلف منابع کود کلسیمی بر مقدار مواد جامد محلول اثر گذار بود به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد. همچنین در این آزمایش در طی نگهداری میوه‌ها در سردخانه میزان قند کاهش یافت. این نتیجه با نتایج زارع و سیاری (Zarea and Sayyari, 2018) مطابقت دارد. که این محققین احتمالاً میوه‌ها را قبل از رسیدگی برداشت کرده بودند. زیرا به نظر می‌رسد اگر میوه اندکی نارس برداشت‌شده و روانه سردخانه شود در طی انبارداری میوه رسیده‌تر می‌شود که به تبع آن مقدار قند کل و TSS آن افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج مرادی‌زاده و درستکار

مواد جامد محلول کل (TSS) بعد از چهار ماه

نگهداری در سردخانه

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف بعد از چهار ماه نگهداری در سردخانه در جدول ۴ آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس برای مواد جامد محلول نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نیترات کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل منابع کود در غلظت اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ولی در غلظت‌های مورد استفاده در سطح احتمال یک درصد اختلاف آماری وجود دارد. مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی نشان داد که بیشترین مقدار مواد جامد محلول به شاهد با ۱۳/۷۸ و کمترین مقدار مواد جامد محلول به غلظت مصرفی ۱/۵ درصد تعلق دارد (جدول ۵).

اسید آلی (TA) بعد از چهار ماه نگهداری در

سردخانه

نتایج تجزیه واریانس برای اسید آلی (جدول ۴) نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نیترات کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل منابع کود در غلظت اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. صفت اسید آلی تحت اثر غلظت‌های مورد استفاده در سطح احتمال ۱٪ اختلاف آماری وجود دارد. مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی نشان داد که بیش‌ترین مقدار اسید آلی به غلظت مصرفی یک درصد با مقدار ۰/۳۸ تعلق داشته و کمترین مقدار اسید آلی در شاهد مشاهده گردید (جدول ۵).

(Moradinezhad and Dorostkar, 2021) نیز مطابقت ندارد که در آزمایش آن‌ها با محلول پاشی کلرید کلسیم میزان قند افزایش یافته بود. اصولاً افزایش قند در میوه‌های کلیماتریک ناشی از تجزیه نشاسته است که با افزایش مقدار کلسیم در میوه‌ها میزان تجزیه نشاسته کاهش می‌یابد (Maletsika et al., 2023). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار قند در تیمارهای شاهد و کمترین مقدار آن و یا درواقع کمترین مقدار تجزیه نشاسته میوه در تیمارهای محلول پاشی شده مشاهده گردید. نتایج حاصل از این آزمایش نتایج بررسی‌های پووینه و همکاران (Poovaiah et al., 1988) را تأیید می‌کند. آن‌ها گزارش دادند که کلسیم داخلی میوه سیب موجب کاهش تولید اتیلن و به تأخیر افتادن پیک کلیماتریک تنفس و در نهایت کاهش تجزیه نشاسته می‌گردد. قسمت اعظم مواد جامد محلول کل قندها می‌باشند. در طی مدت نگهداری میوه‌ها در سردخانه به‌طور بطئی تنفس ادامه می‌یابد. ماده اصلی مورد مصرف در تنفس، قندها می‌باشند. لذا، باگذشت زمان به‌طور طبیعی مقدار قند کل و به‌تبع آن مواد جامد محلول کل کاسته می‌شوند.

اثر غلظت‌های منابع کود کلسیمی بر pH و اسیدیته قابل تیتراسیون در زمان برداشت در این آزمایش نیز تأثیر گذار بود، اسید غالب میوه سیب مالیک اسید است و هراندازه اسید آلی میوه بیشتر باشد در نتیجه pH آن کمتر خواهد بود. در این تحقیق میزان اسید آلی بعد از چهار ماه نگهداری کاهش یافت. ماده پیش‌نیاز اسیدهای آلی در برگ‌ها سنتز شده و سپس توسط آوندهای آبکش به میوه‌ها منتقل می‌شود. در اکثر میوه‌های در حال رشد و نمو میزان اسیدهای آلی آزاد افزایش می‌یابد و بعد از رسیدن به یک نقطه حداکثر در مراحل رسیدن میوه، به دلیل مصرف در پدیده تنفس، میزان اسیدهای آلی به‌طور مستمر کاهش می‌یابد. کاهش اسیدهای آلی در میوه‌های سیب بعد از برداشت محصول نیز ادامه می‌یابد. در میوه‌هایی که هنگام رسیدن دارای اوج تنفسی بوده و بنام میوه‌های فراز گرا

معروف می‌باشند (نظیر سیب)، سرعت کاهش اسیدهای آلی بعد از برداشت محصول بیشتر می‌شود (Jalili, 2004). با توجه به اینکه در این آزمایش در طول نگهداری میوه‌ها در سردخانه اسیدیته قابل تیتراسیون کاهش و pH افزایش یافت به نظر می‌رسد این تغییرات به دلیل مصرف اسیدهای آلی در متابولیسم میوه در مدت انبارداری باشد. این نتیجه با نتایج وارلا و همکاران (Varela et al., 2008) مطابقت دارد.

کلسیم موجب حفظ سفتی بافت میوه می‌شود. افزایش سفتی بافت در میوه‌های تیمار شده با منابع کود کلسیمی به دلیل افزایش نسبی مقدار کلسیم داخلی میوه‌ها نسبت به شاهد است (Haleema et al., 2020). وقتی میوه‌ها می‌رسند تیغه میانی دیواره سلولی تجزیه می‌گردد و میوه‌ها نرم‌تر می‌شوند (Dhatt and Mahajan, 2007) و از آنجا که کلسیم در استحکام دیواره سلول نقش اساسی دارد در نتیجه میوه‌های تیمار شده با کلسیم دارای کلسیم بیشتر از شاهد بوده و سفتی آن‌ها از شاهد بیشتر است. بر اساس گزارش محققین (Xiong et al., 2021) برای حفظ سفتی میوه در طول نگهداری در سردخانه باید میزان کلسیم میوه از یک سطح بحرانی بالاتر باشد که این حد با تغذیه خاکی گیاه حاصل نمی‌شود زیرا حرکت کلسیم در گیاه با جریان تعرق همراه بوده و به نقاطی می‌رود که میزان تعرق بیشتر است. بنابراین بیشترین غلظت کلسیم در برگ‌ها وجود دارد و میوه کمترین میزان کلسیم را دارد و بایستی از طریق محلول پاشی این کمبود کلسیم میوه جبران گردد و به همین خاطر میوه‌های تیمار نشده دارای کلسیم کمتر و در نتیجه سفتی کمتری نسبت به درختان تیمار شده با منابع کود کلسیمی بودند (Garde-Cerdán et al., 2023). طبق پژوهشی در میوه هلو، محلول‌های کلسیم قبل از برداشت تأثیر مثبتی بر پارامترهای کیفیت میوه، به‌ویژه سفتی گوشت، حتی پس از ذخیره‌سازی در سردخانه داشت (Ali et al., 2021).

کلسیم عامل اتصال‌دهنده دو زنجیره اسید

کلسیم گوشت میوه را افزایش داد بدون این‌که آسیبی به پوست میوه وارد گردد (Saftner et al., 1998). غلظت کلسیم در میوه‌های تیمار شده با ترکیبات مختلف کود کلسیمی بیشتر از تیمارهای شاهد بود که نشانگر مؤثر بودن محلول‌پاشی در افزایش محتوی کلسیم میوه است که این نتیجه با نتایج پانفیلووا و همکاران (Panfilova et al., 2024) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

بر اساس مشاهدات پژوهش حاضر در زمان برداشت و بعد از نگهداری در سردخانه غلظت‌های بالای منابع کودی در غلظت ۱/۵ درصد موجب آسیب میوه‌ها گردید. به‌طور کلی، محلول‌پاشی منابع کلسیم در غلظت یک درصد در زمان برداشت و حتی بعد از مدت زمان ۴ ماه نگهداری در یخچال به‌طور مؤثری کیفیت میوه و قابلیت نگهداری سیب رقم گلدان دلشز را بهبود بخشید.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مسئولین آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد جهت همکاری در این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

Ahmed, Z.F.R., and J.P. Palta, 2017. Hormone-like action of a natural lipid, lysophosphatidylethanolamine: a comparison with auxin. *Acta Horticulturae*. 1187:107-114.

Ali, I., N. Abbasi, and I. Hafiz, 2021. Application of calcium chloride at different phenological stages alleviates chilling injury and delays climacteric ripening in peach fruit during low-temperature storage. *Int. J. Fruit Science*. 21:1040-1058.

Almeida, D.P.F., and M.H. Gomes, 2017. Physicochemical quality, macronutrients and dietary fiber in apples from the Protected Geographical Indication 'Maçã de Alcobaça', Portugal. *European Journal of Horticultural Science*. 82:239-243.

گالاکتورونیک در پلیمرهای پکتین است که از این طریق به ترکیبات پکتین در تیغه میانی ثابت می‌بخشد و اتصال و چسبندگی سلول‌ها را افزایش می‌دهد. تیمار کلسیم موجب کمتر شدن تجمع پلی اورونوئیدها می‌شود این حالت به احتمال زیاد به علت اتصال کلسیم به گروه‌های کربوکسیل آزاد موجود بر روی پلیمرهای پلی گالاکتورونات دیواره سلولی و تیغه میانی ناشی می‌گردد. که در این صورت ثابت و سفتی بافت میوه افزایش یافته و حفظ می‌شود (Glenn and Poovaiah, 1985). بر اثر گذشت زمان نگهداری در سردخانه سفتی میوه به میزان قابل‌توجهی کاهش یافت. نرم شدن میوه در طول دوره انبارداری می‌تواند وابسته به میزان کلسیم باند شده به کل ظرفیت دیواره سلولی در باند کردن کلسیم باشد کاهش سفتی بافت میوه در اثر به درازا کشیدن مدت انبارداری را می‌توان به تغییرات فیزیولوژیک در دیواره سلول‌ها و کاهش خاصیت تراوایی آن‌ها و افزایش از دست دادن آب مربوط دانست (Roy, 1986). در جذب کلسیم عوامل مختلفی از قبیل غلظت کود کلسیمی، بلوغ میوه، دمای محلول، تنش آب در طی روزهای گرم تابستان و رطوبت نسبی انبار دخیل هستند با افزایش غلظت محلول می‌توان کلسیم میوه را تا حدی بالا برد اما غلظت‌های بالا باعث آسیب‌هایی به پوست میوه خواهد شد که رقم گلدان دلشز به این‌گونه آسیب‌ها حساس است (Panfilova et al., 2024). در این تحقیق در کلیه تیمارهای کلرور کلسیم با غلظت ۱/۵ درصد میوه‌های خراب مشاهده شد و میزان کلسیم میوه‌های تیمار شده با این غلظت دارای کلسیم کمتری از کلرور کلسیم با غلظت یک درصد بودند که با نفوذ کلسیم در ارقامی مثل گلدان دلشز می‌تواند از طریق حفره کاسبرگ‌ها هم صورت گیرد که می‌تواند خسارت‌زا باشد از این رو در غلظت‌های پایین کلرور کلسیم همچنان‌که محققین گزارش کرده‌اند می‌توان با استفاده از غلیظ کننده‌ها برای افزایش تماس کلرور کلسیم با سطح میوه و افزایش پتانسیل اسمزی و نیز از خیسانده‌ها یا مویان‌ها، غلظت

peaches. Horticulturae. 9:299.

Moradinezhad, F., and M. Dorostkar, 2021. Pre-harvest Foliar Application of Calcium Chloride and Potassium Nitrate Influences Growth and Quality of Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Fruit cv. 'Shahroudi. Journal Soil Science Plant Nutrient. 21:1642–1652. (in Persian with English abstract)

Motesharezadeh, B., Q. Ma, A.R.R. Tabibi, Fatemi, and F. Bekhradi, 2021. Nutritional, yield and quality responses of apple, pear and cherry to calcium nitrate application. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 52(10):1132-1148. (in Persian with English abstract)

Murtić, S., R. Oljača, I. Kolečka, and H. Čivić, 2017. Apple Quality and Calcium Content as Affected by Fertilizer Treatment. Polish Journal of Environmental Studies. 26(5):2107-2111.

Pandita, D., A., Pandita, and S. Pandita, 2016. *Malus domestica*—"The King of Delicious Fruits" booming in the Paradise of Botanists (*Arunachal Pradesh*). Annals of Biological Research. 7(9):39-44.

Panfilova, O., I. Kahramanoğlu, G.I. Ondrasek, N. Ryago, L. Leonteva, Ch. Wan, M. Tsoy, V. Okatan, O. Golyaeva, O. Loretts, V. Kukhar, and M. Karpukhin, 2024. Enhancing Quality Fruit Composition in Red Currant Cultivars by Foliar Calcium Application across Preharvest and Postharvest Stages. Journal of Food Quality. 12 April 2024.

Poovaliah, B.W., G. Glenn, and A.S. Ready, 1988. Calcium and fruit softening physiology and biochemistry. Horticultural Reviews. 10:107-152.

Roy, K. S. 1986. Characteristics of apple dwarfing rootstock fruit varieties. Journal. 40(3):71-79.

Saftner, R. A., W.S. Conway, and C. E. Sams, 1998. Effect of post-harvest calcium and fruit coating treatment on postharvest life, quality maintenance and fruit surface injury in Golden Delicious. American Society of Agronomy | Agronomy Crop Science. 123:294-298.

Sürücü O., and Z. Küçükyumuk 2023. Effect of foliar potassium and calcium applications on the nutrient status, fruit quality and yield of apple tree varieties. Journal of Elementology. 28(1):173-187.

Thomas, G., and S. Adarsh, 2020. Chapter-7 versatility of calcium as a plant nutrient. Advances in Agronomy. 9:119–141.

Val, J., and V. Fernández, 2011. In-season calcium-spray formulations improve calcium balance and

Crisosto, C.H., K.R. Day, R.S. Johnson, and D. Garner, 2000. Influence of in-season foliar calcium sprays on fruit quality and surface discoloration incidence of peaches and nectarines. Journal of the American Pomological Society. 54:118–122

De Freitas, S.T., and E. J. Mitcham, 2012. Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. Horticulture – Reviews. 40:107–146.

Dhatt, A.S. and B.V.C. Mahajan, 2007. Postharvest Technology. Punjab Agricultural University.

Gao, Q., T. Xiong, X. Li, W. Chen, and X. Zhu, 2019. Calcium and calcium sensors in fruit development and ripening. Science Horticultural. 253:412–421.

Garde-Cerdán, T., M. González-Lázaro, D. Alonso-Ortiz de Urbina, I. Sáenz de Urturi, S. Marín-San Román, R. Murillo-Peña, L.L. Torres-Díaz, E.P. Pérez-Álvarez, and V. Fernández, 2023. Foliar applications of calcium, silicon and their combination: a tool to improve grape composition and quality. Applied Sciences. 13:12.

Glenn, G.M., and B.W. Poovaliah, 1985. Cuticular permeability to calcium compounds in 'Golden Delicious' apple fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science. 110:192–195.

Hatoum, D., K. Buts, M.L.A.T.M. Hertog, A.H. Geeraerd, A. Schenk, J. Vercammen, and B.M. Nicolai, 2014. Effects of pre- and postharvest factors on browning in Braeburn. Horticultural Science. 41:19–26.

Hepler, P.K. 2005. Calcium: a central regulator of plant growth and development. Plant Cell. 17:2142–2155.

Hocking, B., S.D. Tyerman, R.A. Burton, and M. Gilliam, 2016. Fruit Calcium: Transport and Physiology. Front. Plant Science. 7:569.

Jalili, M.R. 2004. Physiology after harvesting. Second edition. Academic Jihad Publications, Uremia, 276 p. (in Persian)

Lurie, S. 2009. Stress physiology and latent damage. In Postharvest Handling, 2nd ed.; Florkowski, W.J., Shewfelt, R.L., Brueckner, B., Prussia, S.E., Eds.; Academic Press: San Diego, CA, USA, pp. 443–459.

Maletsika, P., V. Liava, E. Sarrou, V.S. Titeli, E. Nasiopoulou, S. Martens, E. Karagiannis, K. Grigoriadou, A. Molassiotis, and G.D. Nanos, 2023. Foliar calcium effects on quality and primary and secondary metabolites of White-Fleshed 'Lemonato'

Xiong, T., Q. Tan, S.C. Li Mazars, J.-P. Galaud, and X. Zhu, 2021. Interactions between calcium and A.B.A. signaling pathways in the regulation of fruit ripening, *Journal of Plant Physiology*. 256:153309.

Zarea, S., and M. Sayyari, 2018. The effect of calcium ascorbate on fruit firmness, cell wall-degrading enzymes activities and postharvest quality of tomato cv. Rio Grande. *Iranian Journal of Horticultural Science*. 49(3):669-679. (in Persian with English abstract)

fruit quality traits of peach. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 174:465–472.

Varela, P., Salvador, A. and S. Fiszman, 2008. Shelf-life estimation of 'Fuji' apples. The behavior of recently harvested fruit during storage at ambient conditions. *Postharvest Biology and Technology*. 50:64-69.