

The Effective of Potassium Phosphite Silica Protective Fertilizer on Nutritional Responses and Control of Two Spotted Spider Mite on Strawberry (*Fragaria x ananassa*)

SEYED MOHSEN HOSSEINI¹, BABAK MOTESHAREZADEH^{*1}, JAMASB NOZARI², PEYMAN AZARFAM³

1. Department of Soil Science, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2. Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Science & Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3. Head of Zarafshan Company, Tehran, Iran.

(Received: May. 31, 2020- Revised: Sep. 20, 2020- Accepted: Sep. 27, 2020)

ABSTRACT

Pesticides consumption, especially in fresh-use crops creates some concerns. The aim of this study is to investigate the effect of chemical synthesis of essential and quasi-essential elements along with complexing compounds and their effects on pest control of two spotted spider mite in Strawberry. Treatments included the combination of virogard commercial fertilizer in two concentrations (2 and 5 per thousand, recommended by the manufacturer) and protective fertilizer synthesized in this study at a concentration of 10 per thousand (effective concentration determined in the pre-test) and the combination of protective fertilizer + pesticide (half permissible concentration) and control treatment (distilled water) in two stages of application of fertilizer treatments (pre-infested and post-infested plants to mites) with six replications which were performed in greenhouse conditions. In the growth period after fertilizer application, the death mites percent was estimated by Henderson-Tilton formula. Also, after three months, the plants were harvested and some morpho-physiological and nutritional characteristics were measured. Determination of nutrient concentrations of potassium, phosphorus and silica in aerial parts of the plant as well as determination of pH and titratable acidity, Vitamin C, Total Soluble Solids and Antioxidant Levels of Fruit as Postharvest Properties of Strawberries were also measured. The highest death percentage of mite (79.2%) was due to the protective fertilizer + acaricide treatment in both stages before and after plant infestation to mite. The synthesized fertilizer had the greatest effect on fresh and dry shoots weight. Virogard composition at 5/1000 concentrations, It had the greatest effect on fresh and dry weights. The highest concentration of potassium (29.26 g/kg) was belong to protective fertilizer+ acaricide and the highest concentration of phosphorus (6.48 g/kg) and silicon (753 mg/kg) was belong to the synthesized protective fertilizer individually. Considering the efficacy of the compounds used, it is recommended to use these compounds as inducers of plant resistance in order to reduce the use of pesticides and improve the product quality.

Keywords: Induced Resistance, IPM, Storage Time, Protective Fertilizer, Strawberry.

اثر کود حفاظتی سیلیکات فسفیت پتاسیم بر پاسخ‌های تغذیه‌ای توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa*) و کنترل کنه تارتن دونقطه‌ای

سید محسن حسینی^۱، بابک متشرع‌زاده^{۱*}، جاماسب نودری^۲، پیمان آذرفام^۲

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. گروه گیاه پزشکی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. مدیر عامل شرکت تولیدات کود و سم زرافشان، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۶)

چکیده

استفاده از آفت‌کش‌ها، به‌ویژه در محصولاتی که به‌صورت تازه مصرف می‌شوند موجب نگرانی است. هدف از این پژوهش استفاده از ترکیب شیمیایی سنتز شده از عناصر غذایی در کنار ترکیبات کمپلکس کننده و بررسی اثر آن‌ها بر کنترل کنه تارتن در گیاه توت‌فرنگی است. تیمارها شامل ترکیب کود تجاری و پروگارد در دو غلظت (۲ و ۵ در هزار) (غلظت توصیه شده توسط شرکت سازنده) و کود حفاظتی سنتز شده در این پژوهش در غلظت ۱۰ در هزار (غلظت موثر تعیین شده در پیش آزمایش) و ترکیب کود حفاظتی + آفت‌کش (نصف غلظت مجاز) و تیمار شاهد (آب مقطر) در دو مرحله اعمال تیمارهای کودی قبل از آلودگی گیاه به کنه و بعد از آلودگی گیاه به کنه در شش تکرار بود که در شرایط گلخانه‌ای اجرا گردید. در دوره داشت پس از اعمال تیمارهای کودی، درصد تلفات کنه متأثر از تیمارهای کودی با فرمول هندرسون-تیلتون اندازه‌گیری شد. پس از دوره داشت، گیاهان برداشت و ویژگی‌های ماده تر و خشک، مساحت سطح برگ به‌عنوان خصوصیات مورفولوژیکی؛ غلظت عناصر غذایی پتاسیم، فسفر و سیلیسیم در اندام هوایی گیاه و همچنین pH و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، ویتامین ث، مواد جامد کل محلول (TSS) و محتوای آنتی‌اکسیدان میوه به‌عنوان خصوصیات پس از برداشت میوه توت‌فرنگی، اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بیشترین درصد تلفات کنه (۷۹/۲ درصد) در تیمار کود حفاظتی + سم در هر دو مرحله اعمال قبل و بعد از آلودگی گیاه به کنه بود. کود حفاظتی سنتز شده بیشترین اثر را بر روی وزن تر و خشک شاخساره داشت. بیشترین مقدار پتاسیم (۲۹/۲۶ g/kg)، در کود و پروگارد در غلظت ۵ در هزار بود و برای دو عنصر فسفر (۶/۴۸ g/kg) و سیلیسیم (۷۵۳ mg/kg) مربوط به کود حفاظتی سنتز شده به‌صورت تکی بود. در مجموع، استفاده از ترکیبات مورد استفاده، علاوه بر کاهش مصرف سموم، کیفیت میوه توت‌فرنگی را نیز افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: انبارمانی میوه، توت‌فرنگی، کود حفاظتی، مدیریت تلفیقی آفات، مقاومت القایی.

مقدمه

در طول ۵۰ سال گذشته، حفاظت از محصول به شدت به سموم شیمیایی دفع آفات متکی بوده‌است، اما اکنون به دلیل قانون-گزارهای جدید و تکامل مقاومت آفات در برابر سموم شیمیایی، استفاده از این ترکیبات محدود شده است. بنابراین، روش‌های جایگزین مدیریت آفات مورد نیاز است (Chandler *et al.*, 2011). در این راستا استفاده از سیستم مدیریت تلفیقی آفات^۱ (IPM) راهکاری بهینه تلقی می‌شود؛ این سیستم ترکیبی از اقدامات حفاظت از محصولات در برابر آفات می‌باشد که برای حفاظت و نگهداری آفات زیر آستانه اقتصادی معین شده، طراحی شده است (Reuveni and Reuveni, 1998).

مقاومت القایی در گیاهان به‌عنوان بخشی از سیستم IPM و گزینه‌ای مناسب برای کنترل آفت و بیماری‌ها در نظر گرفته می‌شود (Warabieda and Olszak, 2010). برخی ترکیبات طبیعی یا شیمیایی از جمله عناصر غذایی می‌توانند پاسخ‌های دفاعی را در گیاهان القا کنند. بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که مقاومت گیاهان در معرض القا از سایر گیاهان شاهد بالاتر بوده است. با قرار گرفتن این ترکیبات اثرگذار در کنار هم کودهایی با خاصیت القا کننده مقاومت بوجود می‌آید که علاوه بر ارتقای سطح تغذیه گیاهان، می‌تواند گیاهان را در برابر آفات و پاتوژن‌ها محافظت کند (Pieterse *et al.*, 2009). در بین تمام عناصر غذایی، مهم‌ترین عنصری که بیماری‌ها و آفات گیاهی را تحت تأثیر قرار

یک آفت جدی برای بسیاری از محصولات کشاورزی به شمار می‌آید (Dermauw *et al.*, 2013)، این کنه در ایران اغلب در مناطق زیر کشت لوبیا، گلخانه‌ها، مزارع توت‌فرنگی و درختان میوه یافت می‌شود (Alizade *et al.*, 2016). کنه‌های تارتن دولکه‌ای از کلروپلاست‌های سلول در سطح زیرین برگ تغذیه می‌کنند، خسارت شدید موجب خشکیدگی و ریزش برگ‌ها می‌شود و این امکان هم وجود دارد که گیاه به‌طور کامل از تار پوشیده شده و پیش از رسیدن به مرحله زایشی از بین برود (Scopes, 1985). در سال‌های اخیر، مقاومت القایی در گیاهان به‌عنوان جایگزین بالقوه مؤثر برای کنترل کنه‌ها در نظر گرفته شده است (Dahmardeh *et al.*, 2018). غالب مطالعات صورت گرفته در این زمینه به بررسی اثر ترکیبات دو عنصره بر روی آفات و بیماری‌ها بوده است. در پژوهش حاضر، مطالعات کتابخانه‌ای در راستای کشف عناصر القاکننده مقاوت در گیاهان انجام گرفته و هدف آن، بررسی اثر این ترکیبات به‌صورت کمپلکس در کنار هم، ترکیب شده با یک آمینواسید آزاد در کنترل کنه تارتن دولکه‌ای در گیاه توت‌فرنگی به‌همراه بررسی اثر سمیت ترکیب بر روی آفت طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

با توجه به اهداف تحقیق و ترتیب روش انجام کار، ابتدا نشاءهای توت‌فرنگی در رقم تجاری سلوا^۲ از یک گلخانه تجاری واقع در شهرک گلخانه‌ای هشتگرد در استان البرز تهیه گردید و سپس نشاءهای کاملا هم‌اندازه و یک‌شکل در اتاقک رشد واقع در گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به گلدان‌های اصلی با بستر کوکپیت-پرلیت (به ترتیب به نسبت ۶۰-۴۰) در فروردین سال ۱۳۹۷ انتقال داده شد. رقم سلوا رقمی پر محصول، روز خنثی و همیشه‌بار به همراه مقاومت نسبی در برابر آفات و پاتوژن‌ها می‌باشد که این موضوع باعث گردیده تا این رقم به عنوان یکی از مهم‌ترین رقم‌های تجاری به حساب آید (Bringhurst and Voth, 1984; Seyedi *et al.*, 2014). همراه با سپری شدن رشد رویشی گیاه، اقدام به ایجاد کلنی کنه تارتن دولکه‌ای در گلدان‌های لوبیا در اتاقک رشد دیگری صورت گرفت. همچنین تعدادی گیاه توت‌فرنگی به عنوان گیاهان واسط برای سازش و تطابق شرایط تغذیه‌ای کنه‌ها قبل از انتقال، کنار گذاشته شد و همچنین به صورت موازی سنتز کود حفاظتی جدید در آزمایشگاه به اتمام رسیده و در پیش‌آزمایشی بر روی دیسک‌های برگ گیاه توت‌فرنگی، غلظت مؤثر کود تعیین

می‌دهد پتاسیم است (Amtmann *et al.*, 2008). کمبود پتاسیم دیواره سلولی را نسبت به خروج مواد هیدروکربنه نشت‌پذیر نموده و بدین ترتیب شرایط مناسبی را جهت حمله آفات فراهم می‌سازد (Malakouti *et al.*, 2005). فسفر نیز دومین عنصر پرمصرف در گیاهان است که غلظت‌های بالای آن می‌تواند باعث کاهش شدت-های بیماری و آفات شود (Dordas, 2008). در مطالعه‌ای اثر فسفر بر آفات گیاه لوبیا چشم‌بلبلی مورد بررسی قرار گرفت و تاثیرات مثبت آن گزارش گردید (Asiwe, 2009). ترکیب فسفیت نسبت به فسفات متفاوت است. فسفیت به علت دارا بودن یک اکسیژن کمتر از فسفات، سرعت حرکت آن بسیار بیشتر بوده و علاوه بر تحریک رشد رویشی و زایشی گیاه منجر به کنترل طیف گسترده-ای از عوامل بیماری‌زای قارچی و آفات می‌گردد (Machinandiarena *et al.*, 2012; Liljeroth *et al.*, 2016).

بر اساس مطالعات دو دهه اخیر، سیلیسیم (Si) نیز نقش موثری در کنترل آفات و بیماری‌ها بر عهده دارد، بر اساس اصلاحیه تعریف عناصر ضروری توسط پژوهشگران، سیلیسیم به‌عنوان عنصر شبه ضروری برای گیاهان آلی در نظر گرفته شده است (Epstein and Bloom, 2005). چندین سازوکار برای سیلیس جهت کنترل بیماری در گیاهان پیشنهاد شده که از جمله آن‌ها، ایجاد مانع فیزیکی در سطح برگ و زیر اپی‌درم می‌باشد که با کاهش ترجیح مصرف و کیفیت هضم ترکیبات باعث کاهش آلودگی گیاه به آفت می‌شود (Ranganathan *et al.*, 2006. Frew *et al.*, 2018)، همچنین تأثیرگذاری بر سنتز آنزیم‌ها و مسیر سوخت‌وسازهای مختلف (Bakhat *et al.*, 2018)، افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ (Ahmad *et al.*, 2007) و ایفای نقش به عنوان یک عامل فعال کننده برای اکثر آنزیم‌های موجود (Meharg and Meharg, 2015) را می‌توان به عنوان سازوکارهای مرتبط با سیلیسیم برشمرد. عنصر بور نیز نقش مهمی در سنتز دیواره سلولی، سوخت و ساز قندها و تنظیم سطح هورمون‌های گیاهی برعهده دارد (Esringü *et al.*, 2011)، برخی از مطالعات اثر مثبت عنصر بور را بر کنه قرمز گیاه نخل روغنی (Rajaratnam and Hock, 1975) و همچنین سفیدک پودری (Eaton, 1930) در گیاه جو گزارش کرده‌اند.

توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa*) یکی از خوش‌مزه‌ترین و پرطرفدارترین میوه‌های تازه‌خور دنیاست، به علت ارزش غذایی بالا به خصوص از لحاظ ویتامین ث و مواد معدنی، به‌منزله یک منبع تغذیه بوده و در کشور ما اهمیت زیادی دارد (Seyedi *et al.*, 2014). کنه تارتن دولکه‌ای^۱ متعلق به خانواده *Tetranychoidae*

گردید و سپس با تهیه کود تجاری و ویروگارد^۱ (شرکت تولید کود و سم زرافشان) تیمارهای کودی تکمیل شد.

سننژ ترکیب حفاظتی

بر اساس بررسی کتابخانه‌ای (Amtmann *et al.*, 2008; Dordas, 2008; Machinandiarena, 2012; Liljeroth *et al.*, 2016; Jeer *et al.*, 2017; Manoja *et al.*, 2017; Frew *et al.*, 2018; Yaghubi *et al.*, 2019) از یک سو و تأکید بر تأثیر معنی‌دار برخی عناصر غذایی بر مقاومت القایی در گیاه و برخی نتایج پیش‌آزمون، عناصری از قبیل سیلیسیم (Si)، پتاسیم (K)، فسفیت (PO₃³⁻، بور (B) و آمینواسید لیزین (Lysine) برای سننژ فرمولاسیون جدید کودی در کنار ترکیب تجاری موجود استفاده شد. برای سننژ فرمولاسیون جدید، از سیلیکات پتاسیم مایع برای تأمین سیلیسیم و پتاسیم، از اسید فسفروس جهت تأمین فسفیت، اسید بوریک برای تأمین بور، همچنین از آمینواسید لیزین و عامل کلات کننده EDTA نیز استفاده گردید (جدول ۱).

جدول ۱- غلظت عناصر غذایی در کود حفاظتی سننژ شده

نام ترکیب	درصد (%)	نام ترکیب	درصد (%)
SiO ₂	۴ - ۴/۵	P ₂ O ₅	۶
K ₂ O	۷ - ۸	B	۱/۵
Lysine	۲	EDTA	۲

جدول ۲- غلظت عناصر غذایی در کود و ویروگارد

نام ترکیب	درصد (%)	نام ترکیب	درصد (%)
SiO ₂	۴/۵ - ۵	P ₂ O ₅	۵/۵ - ۶
K ₂ O	۱۲ - ۱۳	اسید سالیسیلیک ^۲	۴

تعیین غلظت موثر کود حفاظتی

در این راستا برگ‌های هم‌شکل و هم‌اندازه گیاه به‌عنوان دیسک-های برگ‌ی تهیه شد؛ سطح پشتی دیسک‌های برگ‌ی به سمت بالا و سطح رویی در تماس با اسفنج مرطوب داخل پتری‌دیش (قطر ۹ و ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر) قرار داده شدند. سطح آب در پتری-دیش‌ها هم‌سطح با اسفنج‌ها نگه داشته شد. تعدادی کنه ماده و نر بالغ به هر دیسک اضافه شد و بعد از ۲۴ ساعت کنه‌های بالغ حذف گردیده و تخم‌ها نگهداری شدند، سپس ۱۰ عدد پوره ماده هم‌سن تا مرحله بالغ شدن در اتاقک رشد نگهداری شد، از آن‌پس تیمارهای کودی شامل کود حفاظتی سننژ شده در غلظت‌های ۲/۵، ۵ و ۱۰ در هزار به همراه تیمار شاهد (آب مقطر) در ۱۲ تکرار بر روی نمونه‌ها استفاده گردید. پس از اسپری کردن تیمارهای کودی بر روی سطوح دیسک‌های برگ‌ی، بعد از گذشت ۲۴ ساعت جمعیت کنه‌ها سرشماری گردید و درصد تلفات با

استفاده از معادله هندرسون-تیلتون محاسبه شد.

عملیات داشت

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی پایه-ریزی شد. فاکتور اول شامل کود تجاری و ویروگارد با ترکیب مشخص در دو غلظت ۲ و ۵ در هزار، کود حفاظتی سننژ شده با غلظت ۱۰ در هزار به تنهایی و کود حفاظتی سننژ شده با غلظت ده در هزار ترکیب با غلظت ۰/۲۵ در هزار (نصف غلظت استاندارد) سم پروپال (Azocyclotin 25% WP، از گروه ارگانوتین) به همراه شاهد (آب مقطر) در ۵ سطح؛ و فاکتور دوم، دو مرحله اعمال تنش زیستی (کنه) بر روی گیاه بود؛ مرحله اول: اعمال تیمارهای کودی قبل از آلودگی گیاه به کنه تارتن دولکه‌ای جهت بررسی اثر کودها در مقاوم‌سازی گیاه به آفت، به این شکل که گلدان‌ها با تیمارهای مربوطه ابتدا به‌نحوی که سطح و زیر برگ به‌خوبی خیس شوند محلول‌پاشی شدند، سپس چهار روز بعد از اعمال تیمارهای کودی، به‌وسیله یک برس به تعداد ۳۰ عدد کنه ماده بالغ بر روی هر گلدان انتقال داده شد؛ کنه‌ها از گیاهان توت‌فرنگی واسط انتخاب گردیدند؛ ۷۲ ساعت بعد از آلودگی گیاهان به کنه جمعیت کنه‌ها سرشماری و سه عدد از تکرارها برای اندازه‌گیری پاره‌ای از صفات برداشت شدند. سه تکرار باقی‌مانده جهت میوه-دهی تا پایان مرحله رشد نگهداری شدند و در انتها برخی خصوصیات میوه در مرحله پس از برداشت نیز اندازه‌گیری شد. مرحله دوم: اعمال تیمارهای کودی بعد از آلوده کردن گیاه به کنه تارتن دولکه‌ای در جهت بررسی اثر کشندگی و سمیت ترکیب برای آفت مورد نظر صورت گرفت، در این آزمایش گیاهان به شیوه مرحله اول به کنه آلوده شدند، سپس ۲۴ ساعت بعد از اعمال کنه‌ها، تیمارهای کودی روی سطح برگ گیاهان محلول‌پاشی شدند به‌نحوی که سطح و پشت برگ کاملاً خیس شد و ۴۸ ساعت بعد تعداد کنه‌ها سرشماری گردید و سه تکرار از نمونه‌ها برای اندازه‌گیری برخی از خصوصیات برداشت شدند (Aghamohammadi *et al.*, 2016). کود حفاظتی سننژ شده پس از انجام پیش‌آزمایش و تعیین غلظت مؤثر آن بر روی گیاهان اصلی در اتاقک رشد اعمال گردید. در مجموع ۶۰ گلدان شامل ۱۰ تیمار (پنج تیمار کودی و دو مرحله اعمال بر روی گیاه) به همراه شش تکرار که سه عدد از تکرارها بعد از اعمال تیمار حذف شدند و سه عدد از آن‌ها تا میوه‌دهی نگه داشته شدند، وجود داشت. در گلدان‌های نگه‌داشته شده تا میوه‌دهی، دو مرحله کوددهی صورت گرفت، به‌نحوی که مرحله دوم اعمال تیمارها، ۱۵ روز بعد از اعمال مرحله اول تیمارها صورت گرفت و چهار روز

pH (1991; Moyer et al., 2008). در میوه‌های برداشت شده نیز pH آب‌میوه با دستگاه pH متر دیجیتالی، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) از روش تیتراسیون با سود، ویتامین ث میوه به روش تیتراسیون با ید و مقدار مواد جامد محلول توسط رفراکتور دستی مدل PR-32 Palette, AtagoCo., Japan با دمای اتاق اندازه‌گیری شد. همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از ماده DPPH اندازه‌گیری گردید (Faniadis et al., 2010). آنالیز تمامی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ورژن ۹.۴ انجام گردید. از آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA one-way) برای بررسی تفاوت تیمارهای مختلف استفاده شد، به‌منظور مقایسه میانگین تیمارهای مختلف برای درصد تلفات کنه از آزمون توکی و برای مابقی صفات از آزمون دانکن با سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) استفاده گردید.

نتایج و بحث

در طول دوره رشد در اتاقک رشد نیازهای محیطی موردنیاز گیاهان توت‌فرنگی به‌صورت مصنوعی تأمین گردید و شرایط برای تمام نمونه‌های آزمایش به‌صورت یکسان و به دور از تنش‌های زیستی و غیر زیستی تا انتهای آزمایش، مهیا گردید، سپس صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد.

ویژگی‌های مورفولوژیکی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده روشن ساخت که برای این صفات بین تمامی تیمارها در فاکتور کود تحت تنش زیستی اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد ($p < 0.01$) وجود دارد. فاکتور زمان اعمال تنها در برخی از صفات از قبیل مساحت سطح برگ، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه و همچنین اثر متقابل کود شیمیایی و زمان اعمال کود در غالب صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند و فقط در صفت وزن خشک ریشه اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید.

پس از آن میوه گیاهان برداشت شد. همچنین در آزمایشی دیگر، اثر تغذیه‌ای این تیمارها بر روی گیاه توت‌فرنگی بدون تنش زیستی (کنه تارتن دولکه‌ای) نیز مورد بررسی قرار گرفت، در این آزمایش ۱۵ گلدان برای بررسی اثر تغذیه‌ای کودها تهیه شد (پنج تیمار کودی به همراه سه تکرار) و بر روی آن‌ها تنها تیمارهای کودی اعمال شدند و گیاهان از هرگونه آفت یا تنش‌های زیستی و غیر زیستی دیگر مصون نگه داشته شدند. در نهایت ۶۰ گلدان در یک اتاقک رشد و ۱۵ گلدان در اتاقک رشد مجزا با همان شرایط محیطی استقرار داده شدند.

برداشت

با توجه به منابع و شرایط آزمایش، سه تکرار از نمونه‌ها پس از ۷۰ روز و سه تکرار باقیمانده در زمان میوه‌دهی (۹۰ روز بعد از انتقال نشاء) برداشت شدند (Yaghubi et al., 2019) پس از هر مرحله برداشت، برخی از خصوصیات مورفولوژیکی، غلظت عناصر غذایی و درصد تلفات کنه اندازه‌گیری شد و همچنین تعدادی خصوصیات پس از برداشت در تکرارهای نگه‌داشته شده تا مرحله میوه‌دهی اندازه‌گیری شد. درصد تلفات کنه به روش هندرسون-تیلتون (Henderson and Tilton, 1995) محاسبه گردید.

$$\text{Corrected \%} = \left(1 - \frac{Cb \times Ta}{Ca \times Tb}\right) \times 100$$

Corrected % = درصد تلفات کنه، Cb = جمعیت کنه در

شاهد قبل از اعمال تیمار، Ta = جمعیت کنه در تیمار بعد از اعمال

تیمار، Ca = جمعیت کنه در شاهد بعد از اعمال تیمار، Tb =

جمعیت کنه در تیمار قبل از اعمال تیمار

پس از برداشت پارامترهایی مانند وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، طول ریشه، سطح برگ گیاه نیز با دستگاه Leaf Area Meter C1-202 اندازه‌گیری شد و غلظت پتاسیم اندام هوایی به روش هضم با استات آمونیوم استخراج و توسط دستگاه فلیم فتومتر (Ryan et al., 2001) اندازه‌گیری شد. فسفر اندام هوایی از روش زرد (مولیبدو و انادات) (Kuo, 1996)، غلظت سیلیسیم موجود در گیاه با روش رنگ‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Elliott and Snyder,

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی و زمان اعمال تیمار بسته به تنش زیستی (کنه تارتن دولکه‌ای) بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه توت‌فرنگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	مساحت سطح برگ
کود	۴	۳۶/۸**	۶/۷۷**	۵/۶۹**	۱/۰۸**	۴۵۰۵۹/۶**
زمان اعمال	۱	۱ ^{ns}	۱۴/۸۶**	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۹۷**	۲۷۷۴۹/۱**
کود × زمان اعمال	۴	۸/۷۴**	۷/۰۱**	۲/۶۳**	۰/۱۱ ^{ns}	۳۰۵۷۲**
خطا	۲۰	۰/۹۶	۰/۶۳	۰/۲۲	۰/۰۶	۹۱۱/۳
ضریب تغییرات		۶/۷۴	۸/۱۱	۹/۳۸	۱۷/۰۹	۶/۳۶

** معنی‌داری در سطح یک درصد ($p < 0.01$)

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$)

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه توت‌فرنگی بدون تنش زیستی

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	مساحت سطح برگ
کود	۴	۲۱/۳۳*	۳/۳۷*	۱/۰۵ ^{ns}	۱۳۷ ^{ns}	۳۹۲۷۸/۷*
خطا	۱۰	۴/۵۷	۰/۱۸	۰/۴۸	۰/۰۴	۸۳۶
ضریب تغییرات		۱۶/۴	۱۰/۶۲	۹/۸۳	۲۵/۳	۷/۹

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد (p<0.05).

** معنی‌داری در سطح یک درصد (p<0.01).

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای کودی بدون تنش زیستی (جدول ۴) نشان داد که بین تیمارهای کودی در صفات مساحت سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد، بدین‌صورت که بیشترین مقدار وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار کود حفاظتی سنتز شده ترکیب با غلظت ۰/۲۵ در هزار سم پروپال مشاهده گردید و بیشترین مقدار مساحت سطح برگ مربوط به کود حفاظتی سنتز شده به صورت تنهایی بود. در مطالعه‌ای با بررسی اثر سیلیکات پتاسیم در گیاه توت‌فرنگی تحت تنش شوری مشاهده گردید که اعمال سیلیکات پتاسیم می‌تواند مقدار ماده خشک از دست‌رفته گیاهان در تنش شوری را بازیابی کند، از طرفی افزایش مقدار ماده خشک گیاه می‌تواند شرایط تغذیه را برای آفات مکنده و گیاه خوار سخت کند (Yaghubi *et al.*, 2019)، همچنین اعمال سیلیسیم در گیاه دارویی هواچوبه^۱ نشان داد که میزان رشد و به تبع آن وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در این گیاه افزایش یافت، همچنین گزارش گردید استفاده از سیلیسیم توانسته میزان بیوماس، عملکرد و کیفیت رشد را در تعداد زیادی از گیاهان از جمله تک و دولپه‌ای، افزایش دهد (Koolabadi *et al.*, 2019). مکانیسم دقیق تأثیر سیلیسیم بر افزایش میزان وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و شاخص‌های رشد گیاه هنوز کاملاً به‌خوبی شناخته نشده است، بااین‌حال گزارش شده است که

سیلیسیم باعث افزایش کشیدگی سلول و قابلیت انبساط دیواره سلولی در برنج می‌شود (Frew *et al.*, 2018) همچنین اثر مفید کاربرد سیلیسیم در بیوسنتز سیتوکینین منجر به تأخیر در پیری برگ در آرابیدوپسیس و سورگوم شده است (Markovic *et al.*, 2017). از طرف دیگر سیلیسیم با جذب سایر عناصر مغذی ارتباط داشته و با ایجاد تعادل بین نسبت‌های عناصر و افزایش جذب عناصر کم‌مصرف می‌تواند اثر مثبتی را در رشد گیاه داشته باشد (Wang and Galletta, 1998).

مقدار عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه

فسفر و پتاسیم اندام هوایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۵) مقدار عناصر غذایی بافت گیاهان، روشن ساخت که برای این صفات بین تیمارهای مختلف کودی در سطح یک درصد (p<0.01) اختلاف آماری وجود دارد. به‌نحوی که بیشترین مقدار پتاسیم را تیمار کود و پروگاردر در غلظت پنج در هزار و بعد از آن تیمار کود حفاظتی داشته و با شاهد در سطح یک درصد (p<0.01) اختلاف معنی‌داری نشان دادند (شکل ۲)؛ همین‌طور جدول تجزیه‌واریانس اثر تیمارهای کودی بدون تنش زیستی بر مقدار پتاسیم اندام هوایی (جدول ۶) نشان داد که تیمارهای کودی بر میزان پتاسیم اندام هوایی بدون حضور تنش زیستی (کنه) در سطح احتمال یک درصد (p<0.01) اثر گذار بوده‌اند.

جدول ۵- نتایج آزمون تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی، زمان اعمال تیمار بسته به تنش زیستی و زمان برداشت گیاه بر مقدار عناصر فسفر و پتاسیم در گیاه

توت‌فرنگی			منبع تغییرات
فسفر	پتاسیم	درجه آزادی	
۲/۳۷**	۷۵/۷**	۴	کود
۸/۲۲**	۱۵۳**	۱	زمان اعمال
۵/۰۴**	۶۹/۶۶**	۱	زمان برداشت
۰/۳۵ ^{ns}	۷/۵۶ ^{ns}	۴	کود * زمان اعمال
۳/۱۸**	۷۵/۹۲**	۴	کود * زمان برداشت
۰/۸۱ ^{ns}	۸۲/۳۶**	۱	زمان اعمال * زمان برداشت
۰/۴۴ ^{ns}	۳/۴۶ ^{ns}	۴	کود * زمان اعمال * زمان برداشت
۰/۲۳	۴/۶۲	۴۰	خطا
۱۰/۶	۹/۷		ضریب تغییرات

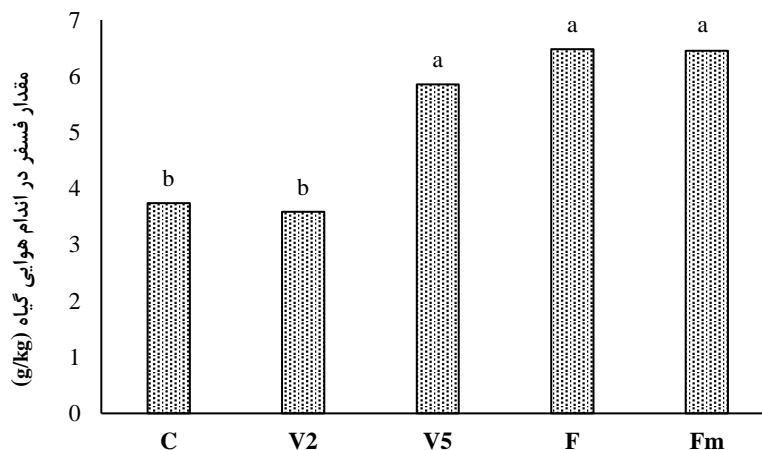
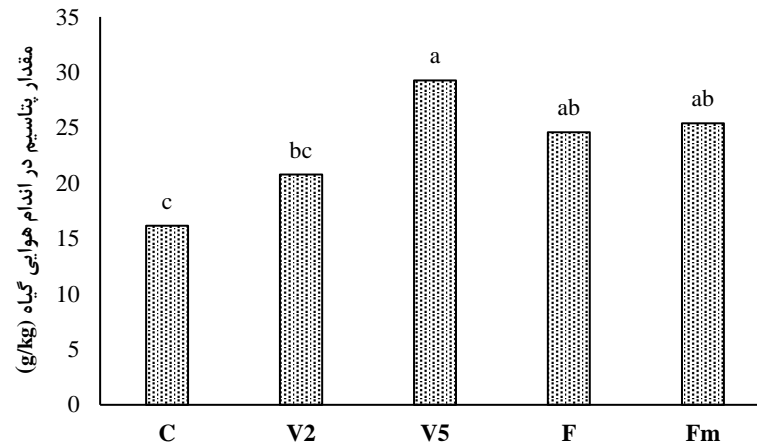
* معنی‌داری در سطح ۵ درصد (p<0.05).

** معنی‌داری در سطح یک درصد (p<0.01).

جدول ۶- نتایج آزمون تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر میزان عناصر فسفر و پتاسیم گیاه توت‌فرنگی بدون تنش زیستی

منبع تغییرات	درجه آزادی	پتاسیم	فسفر
کود	۴	۷۴/۲۵**	۶/۳۷**
خطا	۱۰	۳/۵۷	۰/۵۸
ضریب تغییرات		۸/۱	۱۴/۶

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$). ** معنی‌داری در سطح یک درصد ($p < 0.01$)



شکل ۱ و ۲- اثر سطوح مختلف کودی بدون تنش زیستی بر مقدار فسفر (شکل ۱) و پتاسیم (شکل ۲) اندام هوایی در گیاه توت‌فرنگی. C: کنترل؛ V2: ویروگارد دو در هزار؛ V5: ویروگارد پنج در هزار؛ F: کود حفاظتی سنتز شده در پژوهش؛ Fm: کود حفاظتی سنتز شده ترکیب با نیم‌دز سم پروپال. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک انگلیسی، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار هستند.

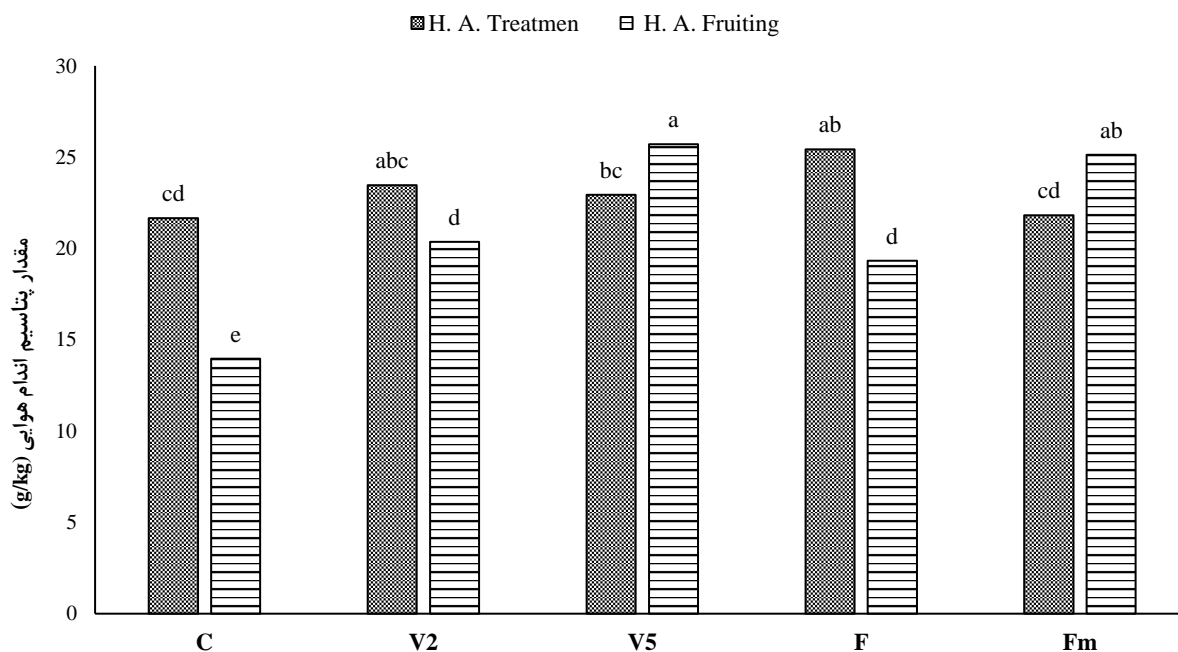
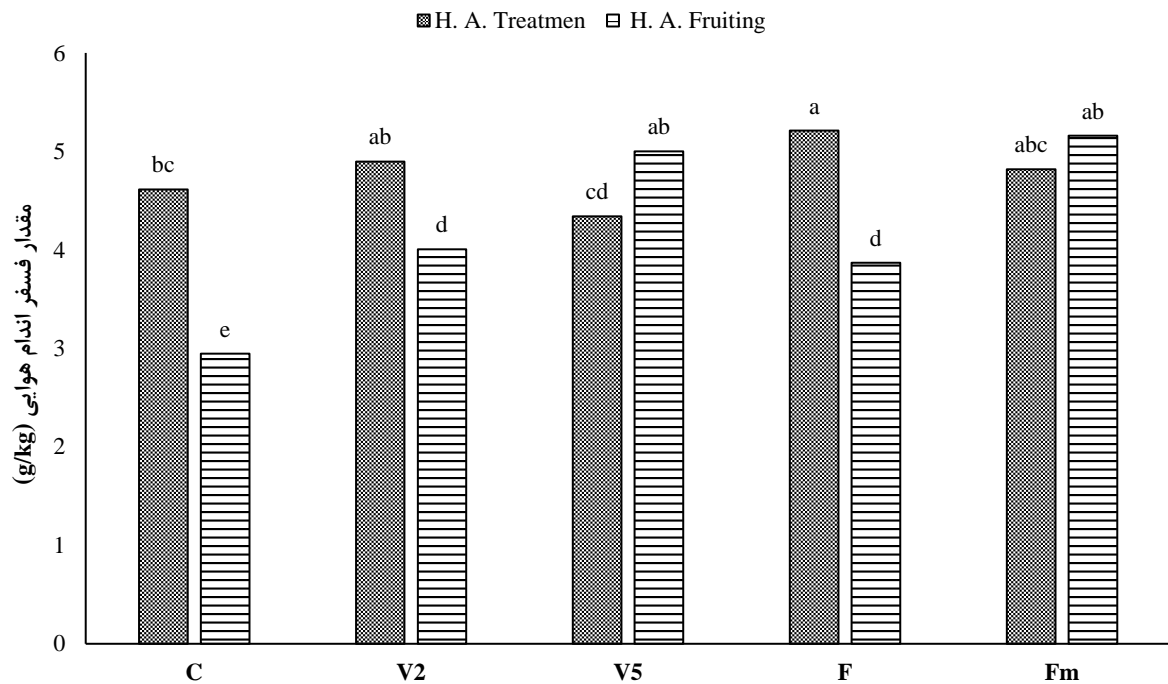
در سطح یک درصد ($p < 0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۵) که می‌توان اینگونه استنباط کرد فاکتور زمان حداقل در یکی از تیمارها توانسته اثر معنی‌داری بر روی مقدار دو عنصر مذکور در گیاه داشته باشد.

فسفیت (H_3PO_3) غالباً به‌عنوان قارچ‌کش و یک ترکیب محرک زیستی در کشاورزی فعلی به‌حساب می‌آید، فسفیت بسیار راحت‌تر از ترکیب فسفات (H_3PO_4) توسط ریشه جذب شده و در آوندهای چوبی و آبکش به تمام بخش‌های گیاه انتقال می‌یابد. هر دو میزان بیشترین و کمترین درگیری پمپ‌های فسفات‌دهنده در جریان

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر ساده کود و همینطور اثر ساده زمان اعمال تیمار کودی بسته به اعمال تنش زیستی (کنه) بر مقدار فسفر اندام هوایی گیاه در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) معنی‌دار شد. بدین‌صورت که مقدار فسفر اندام هوایی گیاه در گلدان‌های تیمار شده با کود ویروگارد و حفاظتی، بیشترین مقدار بوده و تنها در تیمار کود ویروگارد در غلظت دو در هزار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱). همچنین اثر متقابل تیمارهای کودی و زمان برداشت گیاهان نیز

نه تنها میزان فسفر گیاه را کنترل می کند بلکه مزیت های زیادی اضافه بر خاصیت تغذیه ای این ترکیب وجود دارد که استفاده از آن را برای گیاهان بسیار کارآمد می سازد (Heuer *et al.*, 2017). مشاهده گردید که با اعمال فسفیت پتاسیم در گیاه گوجه فرنگی محتوای پتاسیم گیاه نیز افزایش یافت (Munns and Tester., 2008)

جذب فسفیت در گیاه گزارش گردیده است. باین حال اطلاعات کمی در رابطه با نقش و فعالیت ترکیبات خانواده فسفات ه زمانی که گیاه تحت تیمار ترکیبات فسفیت می باشد به دست آمده است (Achary *et al.*, 2017). به تازگی به خوبی مشخص گردیده است که استفاده از فسفیت یک روش ویژه ای برای افزایش میزان فسفر گیاه و به تبع آن افزایش رشد و نمو گیاه می باشد. این ترکیب



شکل ۳ و ۴- اثر تیمارهای مختلف کودی و زمان برداشت گیاه بر مقدار فسفر (شکل ۳) و پتاسیم (شکل ۴) در گیاه توت فرنگی. C: کنترل؛ V2: ویروگارد دو در هزار؛ V5: ویروگارد پنج در هزار؛ F: کود حفاظتی سنتز شده در پژوهش؛ Fm: کود حفاظتی سنتز شده ترکیب با نیم دز سم پروپال. H. A. Fruiting: برداشت بعد از زمان میوه دهی، H. A. Treatment: برداشت بعد از اعمال تیمارهای کودی. ستون های دارای حداقل یک حرف مشترک انگلیسی، فاقد اختلاف آماری معنی دار هستند.

سیلیسیم اندام هوایی

تیمارها و یا در انتهای آزمایش، تأثیر معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ($p < 0.05$) بر مقدار سیلیسیم برگ داشته است. همچنین نتایج آزمون تجزیه واریانس (جدول ۷) نشان داد که مقدار سیلیسیم برگ گیاه توت‌فرنگی به صورت معنی داری ($p < 0.05$) از تیمارهای کودی در شرایط بدون تنش زیستی تأثیر پذیرفته است.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶) نشانگر آن است که اعمال تیمارهای کودی توانسته اثر معنی داری در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) را بر روی مقدار سیلیسیم برگ گیاه توت‌فرنگی داشته باشد؛ اثر متقابل فاکتورهای زمان اعمال تیمارهای کودی نسبت به تنش زیستی (کنه) و زمان برداشت گیاه در بعد از اعمال

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی، زمان اعمال تیمار بسته به تنش زیستی (کنه تارتن دولکه‌ای) و زمان برداشت گیاه بر مقدار سیلیسیم اندام هوایی در گیاه توت‌فرنگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	سیلیسیم	منبع تغییرات	درجه آزادی	سیلیسیم
کود	۴	۳۰۴۷۴۸ ^{**}	زمان اعمال* زمان برداشت	۲	۲۵۰۴۳۰ [*]
زمان اعمال	۱	۲۹۵۳۹ ^{ns}	کود* زمان اعمال* زمان برداشت	۴	۳۹۵۴۰ ^{ns}
زمان برداشت	۱	۵۳۶۵۵ ^{ns}	خطا	۲۰	۴۳۱۵۶
کود* زمان اعمال	۴	۸۴۷۲/۸ ^{ns}	ضریب تغییرات		۳۷/۲
کود* زمان برداشت	۴	۱۰۵۴۴۲ ^{ns}			

* معنی داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$) ** معنی داری در سطح یک درصد ($p < 0.01$)

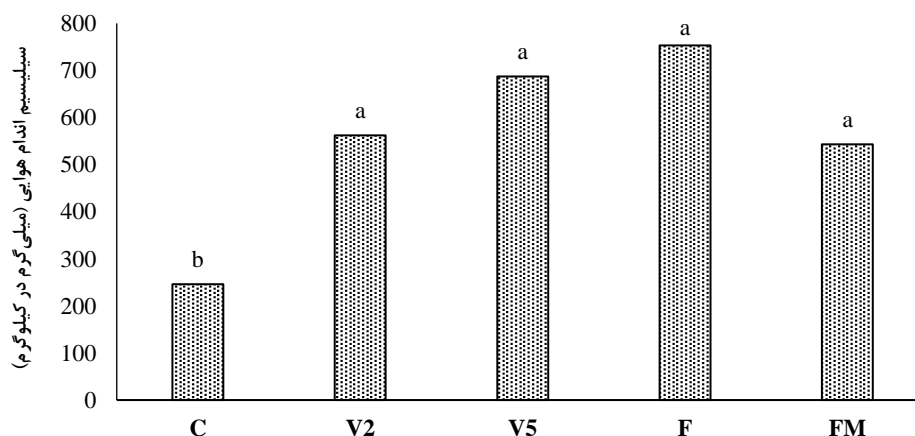
جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر میزان سیلیسیم اندام هوایی گیاه توت‌فرنگی بدون تنش زیستی (کنه تارتن دولکه‌ای)

منبع تغییرات	درجه آزادی	سیلیسیم
کود	۴	۴۴۲۰۷/۵ [*]
خطا	۵	۸۴۴۵
ضریب تغییرات		۱۴/۹۹

* معنی داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$) ** معنی داری در سطح یک درصد ($p < 0.01$)

استفاده از ترکیبات سیلیکات پتاسیم به صورت خاکی و محلول- پاشی در مرکبات نشان داد که مقدار سیلیسیم برگ در هر دو تیمار خاکی و محلول پاشی افزایش یافت به این نحو که مقدار تجمع سیلیسیم در تیمارهای برگی بیشتر از تیمارهای خاکی بود (Ramírez-Godoy et al., 2018).

پس از جذب سیلیسیم، انتقال این عنصر در گیاه از طریق آوند چوبی و به وسیله جریان تعرق از ریشه به شاخساره انجام می‌شود، بنابراین غلظت آن در ساقه بیشتر از ریشه است و در نهایت به صورت سیلیکات‌های بی‌شکل (اوپال، ژل سیلیکا یا فیتولیت‌ها) در قسمت‌های گیاه مانند دیواره سلولی، فضای بین سلولی، ریشه‌ها، برگ‌ها و اندام‌های تولیدمثلی رسوب می‌کند.



شکل ۵- اثر سطوح مختلف کودی تحت تنش زیستی بر مقدار سیلیسیم اندام هوایی در گیاه توت‌فرنگی. C: کنترل؛ V2: ویروگارد دو در هزار؛ V5: ویروگارد پنج در هزار؛ F: کود حفاظتی سنتز شده در پژوهش؛ FM: کود حفاظتی سنتز شده ترکیب با نیم‌دز سم پروپال. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک انگلیسی، فاقد اختلاف آماری معنی دار هستند.

غلظت مؤثر کود حفاظتی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۹) در پیش آزمایش مربوط به تعیین غلظت مؤثر کود سننز شده بر روی کنه تارتن دولکهای، نشان داد که سطوح مختلف تیمار کود حفاظتی سننز شده اختلاف آماری معنی داری در سطح یک درصد ($p < 0.01$) بر روی درصد تلفات کنه داشته است. این در حالی است که غلظت ده در هزار کود موردنظر توانست بیشترین اثر را بر روی درصد تلفات داشته و اختلاف معنی داری در سطح یک درصد ($p < 0.01$) با دو تیمار دیگر ایجاد کند. از این رو این غلظت از کود برای انجام آزمایش گلخانه‌ای انتخاب گردید و از آنجایی که یکی از اهداف پژوهش حاضر کاهش مصرف سم در محصولات کشاورزی (به صورت موردی در اینجا توت‌فرنگی) می‌باشد، تصمیم بر آن شد تا کود حفاظتی سننز شده ترکیب با غلظت ۰/۲۵ در هزار (نصف غلظت مجاز) سم کنه‌کش پروپال که یکی از رایج‌ترین سموم مورد استفاده در کنترل کنه تارتن دولکهای می‌باشد، به صورت یکی از تیمارهای کودی مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۹- نتایج آزمون تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف کود حفاظتی سننز شده بر درصد تلفات کنه تارتن دولکهای بر دیسک‌های برگ گیاه توت‌فرنگی

در پتری‌دیش		
منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد تلفات
کود	۲	۳۶۹۱/۵۲**
خطا	۳۳	۱۱/۹۵
ضریب تغییرات		۱۲/۵

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$).
** معنی‌داری در سطح یک درصد ($p < 0.01$)

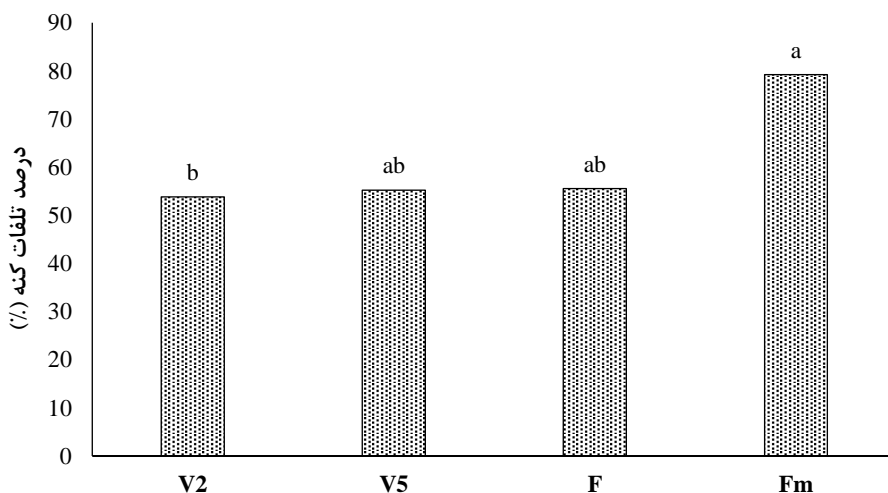
درصد تلفات کنه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱۰) می‌توان نتیجه گرفت اعمال تیمارهای کودی در گیاه موردنظر توانسته میزان تحمل^۱ گیاه را به کنه تارتن دولکهای به صورت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد افزایش دهد، به گونه‌ای که تیمار کود-سم و تیمار ویروگارد در غلظت دو در هزار، به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را داشتند (شکل ۶). با بررسی نتایج اثر زمان اعمال تیمارهای کودی بر روی کنه (شکل ۷) می‌توان نتیجه گرفت که اثر مستقیم تیمارهای کودی نسبت به اثر غیرمستقیم آن‌ها در ایجاد تحمل در گیاه، از لحاظ آماری به میزان معنی‌داری بیشتر بوده است که این موضوع می‌تواند نشان دهنده اثر سمیت ترکیبات استفاده شده برای آفت باشد.

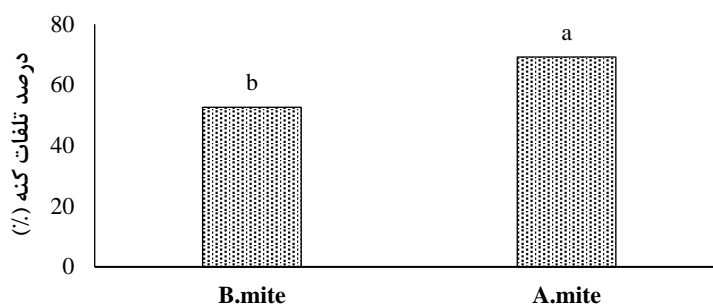
جدول ۱۰- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر درصد تلفات کنه تارتن دولکهای در گیاه توت‌فرنگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد تلفات کنه
کود	۳	۱۷۸۹/۶۹**
زمان اعمال	۱	۳۲۹۲/۴۶**
کود*زمان اعمال	۳	۴۹۴/۳۸ ^{ns}
خطا	۴۰	۳۵۰/۸۵
ضریب تغییرات		۳۰/۷

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$).
** معنی‌داری در سطح یک درصد ($p < 0.01$)



شکل ۶- اثر تیمارهای مختلف کودی بر درصد تلفات کنه تارتن دولکهای در گیاه توت‌فرنگی. C: کنترل؛ V2: ویروگارد دو در هزار؛ V5: ویروگارد پنج در هزار؛ F: کود حفاظتی سننز شده در پژوهش؛ Fm: کود حفاظتی سننز شده ترکیب با نیم‌دز سم پروپال. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک انگلیسی، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار هستند.



شکل ۷- اثر زمان اعمال تیمارهای کودی نسبت به تنش زیستی (کنه تارتن دولکه‌ای) بر کنترل کنه تارتن دولکه‌ای. B.mite: اعمال تیمار کودی قبل از آلوده کردن گیاه به کنه، A.mite: اعمال تیمار کودی بعد از آلوده کردن گیاه به کنه. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک انگلیسی، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار هستند.

کنه‌های بالغ در تیمارهای فسفیت پتاسیم بعد از تیمار سیدروفوریک مشاهده گردید (Dahmardeh *et al.*, 2018). به‌طور طبیعی انباشته شدن سیلیسیم در اندام‌های هوایی گیاه، پلیمریزاسیون و رسوب آن در فضاهای بین سلولی و زیر کوتیکول باعث ایجاد مقاومت گیاه در برابر پاتوژن‌ها می‌شود. علاوه بر آن سیلیسیم محلول در سیتوسول باعث ایجاد یک مسیر متابولیکی شده که نتیجه آن تولید جاسمونیک اسید در گیاه است. ترکیب این فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مقاومت گیاه را به تنش‌های زیستی افزایش می‌دهد (Bakhat *et al.*, 2018).

صفات اندازه‌گیری شده در میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات کیفی پس از برداشت میوه (جدول ۱۱) نشان دهنده آن است که برای این صفات بین تیمارها در فاکتور کود اختلاف معنی‌داری وجود دارد و فقط در صفت pH آب‌میوه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. فاکتور زمان اعمال تیمارهای کودی بسته به تنش زیستی تنها در بعضی از صفات از قبیل اسیدیته قابل تیتراسیون و میزان آنتی‌اکسیدان میوه در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است. همچنین اثر متقابل تیمارهای کودی و زمان اعمال تیمارها در غالب صفات اندازه‌گیری شده به‌غیر از مواد جامد محلول میوه و pH آب‌میوه در سطح یک درصد ($p < 0.01$) اثر معنی‌دار داشته‌اند.

تاثیر سیلیسیم در کنترل آفات به دو طریق دفاع فیزیکی و دفاع بیوشیمیایی صورت می‌گیرد، سیلیسیم می‌تواند به عنوان فیتولیت‌های اوپالین^۱ در گیاهان رسوب کرده و باعث افزایش سختی و استحکام بافت‌ها شود و در این صورت مانع از خورده شدن و نفوذ اندام مکنده به وسیله آفات می‌شود (Liang *et al.*, 2015). این امر می‌تواند به دلیل کاهش ترجیح مصرف و همچنین افت کیفیت هضم ترکیبات برگ برای حشرات، به دلیل وجود مقدار سیلیسیم زیاد در اندام‌های هوایی گیاهان، باعث کاهش جمعیت آفت بر روی گیاه شود (Ranganathan *et al.*, 2006).

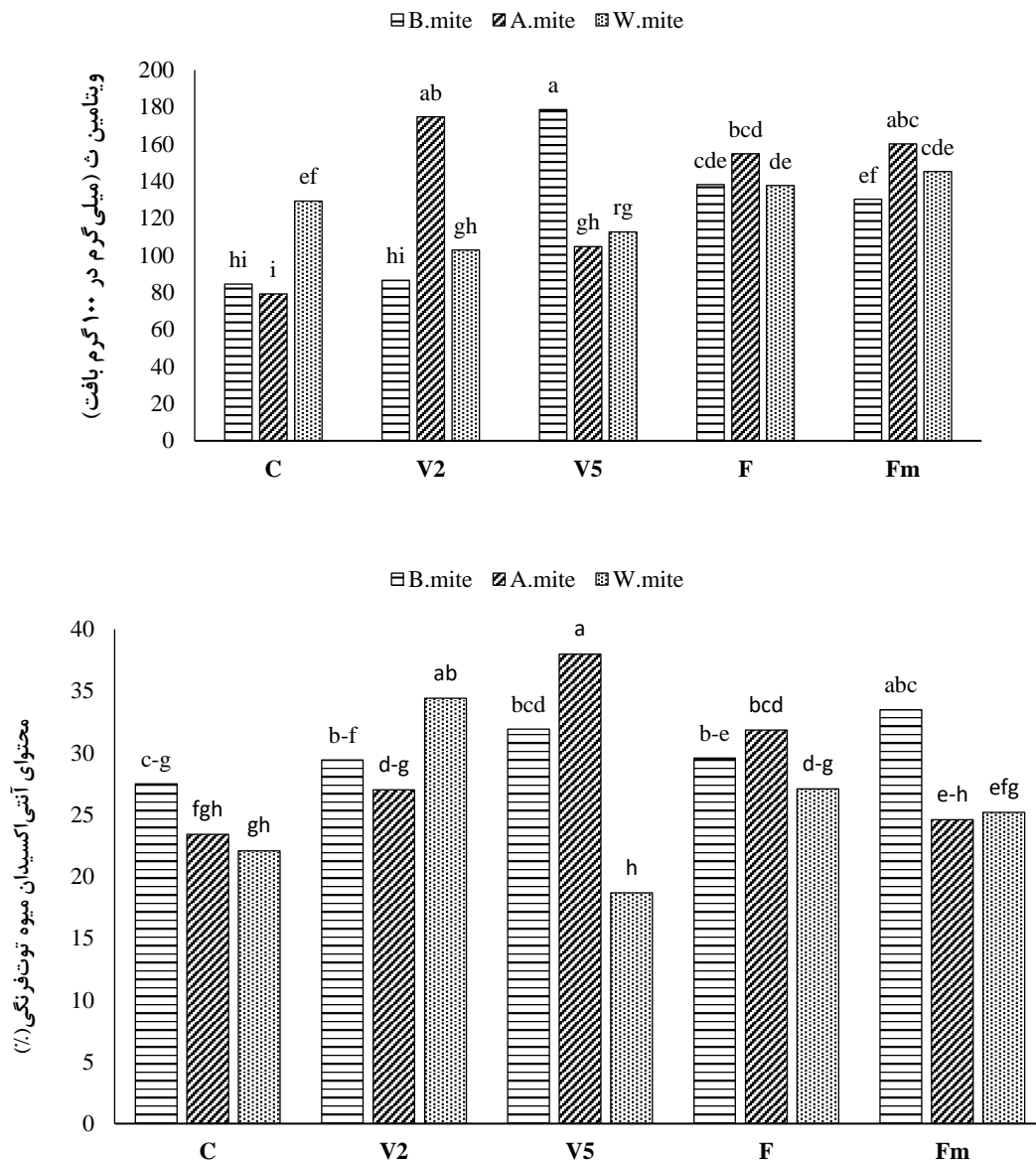
از طرف دیگر شواهد روزافزونی نشان می‌دهد که تغییرات بیوشیمیایی ناشی از سیلیسیم در گیاهان باعث کاهش خسارت ناشی از حشرات در گیاهان شده است. مطالعات جدید همچنین شواهدی را ارائه داده‌اند که نشان می‌دهد سیلیسیم از طریق تولید پیشرفته آنزیم‌های دفاعی و یا احتمالاً انتشار مواد فرار در مقاومت گیاه نقش دارد (Liang *et al.*, 2015). محققان در گیاهانی که تحت تیمارهای سیلیسیم بودند، ترکیبات فلاونوئیدها و فنولیک اسیدهایی که به‌طور خاص در الگوهای فیتوالاکسی‌ها القاشده بودند را شناسایی کردند (Coskun *et al.*, 2019). بررسی تأثیر برخی از ترکیبات از قبیل فسفیت پتاسیم، سیدروفورهای زیستی و آمینواسید؛ بر پارامترهای جدول زندگی کنه تارتن دولکه‌ای نشان داد که کم‌ترین مقادیر میانگین زمان رشد و طول عمر برای

جدول ۱۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی و زمان اعمال تیمار بسته به تنش زیستی (کنه تارتن دولکه‌ای) بر خصوصیات پس از برداشت میوه توت‌فرنگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مواد جامد محلول	اسیدیته قابل تیتراسیون	ویتامین ث	pH آب میوه	میزان آنتی‌اکسیدان
کود	۴	۶/۹۵۸**	۰/۰۴۴**	۲۲۷۵/۶۸**	۰/۰۳۹ ^{ns}	۳۴/۳۴*
زمان اعمال	۲	۰/۱۷۱ ^{ns}	۰/۰۲۶**	۳۵۰/۷۵ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{ns}	۶۳/۶۰**
کود*زمان اعمال	۸	۰/۹۷۳ ^{ns}	۰/۱۴۷**	۲۳۷۱/۵۵**	۰/۰۳۳ ^{ns}	۵۹/۳۸**
خطا	۱۵	۰/۸۷۹	۰/۰۰۳۸	۱۰۸/۷	۰/۰۱۳	۷/۹۹
ضریب تغییرات		۱۵/۷۸	۱۲/۲۹	۸/۱۵	۳/۳	۱۰/۰

** معنی‌داری در سطح یک درصد ($p < 0.01$)

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$)



شکل ۸ و ۹- اثر تیمارهای مختلف کودی و زمان اعمال تیمارها بسته به تنش زیستی (کنه تارتن دولکه‌ای) بر ویتامین ث (شکل ۸) و محتوای آنتی‌اکسیدان کل (شکل ۹) در میوه توت‌فرنگی. C: کنترل؛ V2: وبروگارد دو در هزار؛ V5: وبروگارد پنج در هزار؛ F: کود حفاظتی سنتز شده در پژوهش؛ Fm: کود حفاظتی سنتز شده ترکیب با نیم‌دز سم پروپال. B.mite: اعمال تیمار کودی قبل از آلوده کردن گیاه به کنه، A.mite: اعمال تیمار کودی بعد از آلوده کردن گیاه به کنه، W.mite: اعمال تیمار کودی بدون تنش زیستی (کنه تارتن دولکه). ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک انگلیسی، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار هستند.

که مقدار TSS در دو رقم مورد آزمایش با اعمال سیلیکات پتاسیم افزایش یافت، این افزایش زمانی که گیاهان تحت تنش نبودند بیشتر بود (Yaghubi *et al.*, 2019). در مطالعه دیگری بر روی گیاه توت‌فرنگی مشاهده گردید بیشترین مقدار بریکس میوه توت‌فرنگی مربوط به نمونه تیمار شده با فسفیت می‌باشد، این گیاهان فسفر موردنیاز خود را به‌وسیله ترکیبی از فسفات و فسفیت به‌دست می‌آورند که در تیمار ۳۰ درصد فسفیت، بیشترین مقدار بریکس در میوه مشاهده شده بود (Estrada-Ortiz *et al.*, 2012). یکی از دلایلی که برای افزایش میزان TA و TSS در میوه مطرح می‌شود مربوط به تأثیر سیلیسیم بر افزایش

همانطور که مشهود است (شکل ۸ و ۹) به‌صورت کلی محتوا آنتی‌اکسیدان کل و ویتامین ث میوه نسبت به شاهد در تمامی تیمارها افزایش یافته است که اثر مثبت عناصر غذایی تشکیل دهنده ترکیبات کودی را بر این صفات نشان می‌دهد و همچنین تجزیه واریانس اثر متقابل (جدول ۹) نشان داد که اعمال تیمار کودی بسته به زمان اعمال تیمار نسبت به تنش زیستی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد ($P < 0.01$) بر روی صفت مورد بررسی داشته است.

در مطالعه‌ای با اعمال تیمار سیلیکات پتاسیم در دو رقم توت‌فرنگی پارس و کردستان تحت تنش شوری، نشان داده شد

شده توانست میزان فسفر اندام هوایی گیاه را به بیشترین حد نسبت به تیمارهای دیگر برساند (شکل ۱)، همچنین جذب دیگر مواد غذایی در تیمارهای کود حفاظتی سنتز شده زیاد بوده که احتمالاً به دلیل ایجاد کمپلکس با اسید آمینه آزاد لیزین و جذب بهتر آنها به وسیله برگ‌ها بوده است. بنا به نتایج بدست آمده، استفاده مداوم از این گونه ترکیبات القا کننده مقاومت در گیاهان می‌تواند علاوه بر افزایش رشد و عملکرد گیاه، با افزایش آستانه تحمل گیاه توت‌فرنگی به کنه تارتن دولکه‌ای باعث کاهش خسارت و همچنین کاهش مصرف آفت‌کش در گیاه شود. به نظر می‌رسد استفاده از ترکیب کود حفاظتی سنتز شده به دلیل دارا بودن تعدادی از عناصر غذایی با نقش القا کننده مقاومت از جمله عنصر بور، توانسته نقش مفیدی در افزایش کیفیت میوه داشته باشد و به صورت کلی باعث بهبود صفات کیفی پس از برداشت میوه توت‌فرنگی شود.

سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از طرح کاربردی شماره ۲۸۰/م می‌باشد. نویسندگان لازم می‌دانند از حمایت‌های معنوی شرکت تولیدات کود و سم زرافشان سپاس‌گزاری نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Achary, V. M. M., Ram, B., Manna, M., Datta, D., Bhatt, A., Reddy, M. K., Agrawal, P. K. (2017). Phosphite: a novel P fertilizer for weed management and pathogen control. *Plant Biotechnology Journal*, 15(12), 1493-1508.
- Aghamohammadi, Z., Etesami, H., Alikhani, H. A. (2016). Vermiwash allows reduced application rates of acaricide azocyclotin for the control of two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch, on bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ecological Engineering*, 93, 234-241.
- Ahmad, F. R., Aziz, T., Maqsood, M. A., Tahrir, M. A., Kanwal, S. (2007). Effect of silicon application on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth under water deficiency stress. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 1-7.
- Alizade, M., Hosseini, M., Awal, M. M., Goldani, M., Hosseini, A. (2016). Effects of nitrogen fertilization on population growth of two-spotted spider mite. *Systematic and Applied Acarology*, 21(7), 947-956.
- Amtmann, A., Troufflard, S., Armengaud, P. (2008). The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*, 133(4), 682-691.
- Asiwe, J. A. N. (2009). The impact of phosphate fertilizer as a pest management tactic in four cowpea varieties. *African Journal of Biotechnology*, 8(24), 7182-7188.

محتوای کلروفیل برگ و بازده فتوسنتزی می‌باشد، زیرا بر اثر این اقدام تولید قندهای آلی و اسیدهای آلی در برگ‌ها افزایش می‌یابد و به تبع آن این ترکیب‌ها به میوه‌ها منتقل می‌شوند (Yaghubi *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای دیگر اثر برخی ترکیبات حاوی بور بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه مورد بررسی قرار گرفت و بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمار روی و بور بود. گزارش گردید که اسیدیته قابل تیتراسیون تحت تأثیر مواد شیمیایی ممکن است با واکنش‌های مربوط به معکوس کردن مسیر گلیکولیتیک و یا در تنفس و یا اینکه در هر دو مورد به سرعت به قند و مشتقات آنها تبدیل شود (Sau *et al.*, 2018). گزارش‌های مختلفی مبنی بر اثر مفید ریزمغذی‌ها در افزایش محتوا اسید آسکوربیک برخی از میوه‌ها مطرح شده است (Srinivas *et al.*, 2015). استفاده از ترکیبات شامل عناصر کم مصرف می‌تواند بر مقدار ویتامین ث (اسید آسکوربیک) اثرگذار باشد، در آزمایشی نشان داده شد که استفاده از بور توانست میزان اسید آسکوربیک میوه را به صورت معنی‌داری افزایش دهد (Sau *et al.*, 2018).

نتیجه‌گیری

استفاده از فسفیت به جای فسفات در ترکیب کود حفاظتی سنتز

- Bakhat, H. F., Bibi, N., Zia, Z., Abbas, S., Hammad, H. M., Fahad, S., Saeed, S. (2018). Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: a review. *Crop Protection*, 104: 21-34.
- Bringhurst, R.S. and Voth, V. (1984). Strawberry plant *Selva*. U.S. Patent Application No. 06/452,696.
- Chandler, D., Bailey, A. S., Tatchell, G. M., Davidson, G., Greaves, J., Grant, W. P. (2011). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 366(1573), 1987-1998.
- Coskun, D., Deshmukh, R., Sonah, H., Menzies, J. G., Reynolds, O., Ma, J. F., Bélanger, R. R. (2019). The controversies of silicon's role in plant biology. *New Phytologist*, 221(1), 67-85.
- Esringü, A., Turan, M., Gunes, A., Eşitken, A., Sambo, P. (2011). Boron application improves on yield and chemical composition of strawberry. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 61(3), 245-252.
- Dahmardeh, A., Latifi, M. and Riseh, R. S. (2018). Effect of induced resistance in bean plants on *Tetranychus urticae* life table parameters. *Systematic and Applied Acarology*, 23(8), 1627-1640.
- Dermauw, W., Wybouw, N., Rombauts, S., Menten, B., Vontas, J., Grbic, M., Clark, R.M., Feyerisen, R., Van Leeuwen, T. (2013). A link between host

- plant adaptation and pesticide resistance in the polyphagous spider mite *Tetranychus urticae*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(2), E113–E122.
- Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 33–46.
- Elliott, C. L., & Snyder, G. H. (1991). Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(6), 1118–1119.
- Epstein, E. and Bloom, A.J. (2005). *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*, second edition. Sinauer Associates, Inc.
- Estrada-Ortiz, E., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Núñez-Escobar, R., Sandoval-Villa, M. (2012). Phosphite on growth and fruit quality in strawberry. In II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics 947 (pp. 277–282).
- Faniadis, D., Drogoudi, P. D., Vasilakakis, M. (2010). Effects of cultivar, orchard elevation, and storage on fruit quality characters of sweet cherry (*Prunus avium L.*). *Scientia Horticulturae*, 125(3), 301–304.
- Frew, A., Weston, L. A., Reynolds, O. L., & Gurr, G. M. (2018). The role of silicon in plant biology: a paradigm shift in research approach. *Annals of Botany*, 121(7), 1265–1273.
- Henderson, C. F., Tilton, E. W. (1955). Tests with acaricides against the brown wheat mite. *Journal of Economic Entomology*, 48(2), 157–161.
- Heuer, S., Gaxiola, R., Schilling, R., Herrera-Estrella, L., López-Arredondo, D., Wissuwa, M., Rouached, H. (2017). Improving phosphorus use efficiency: a complex trait with emerging opportunities. *The Plant Journal*, 90(5), 868–885.
- Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., Song, A. (2015). Silicon and insect pest resistance. In *Silicon in Agriculture* (pp. 197–207). Springer, Dordrecht.
- Jeer, M., Telugu, U. M., Voleti, S. R., Padmakumari, A. P. (2017). Soil application of silicon reduces yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker) damage in rice. *Journal of Applied Entomology* 141: 189–201.
- Koolabadi, Z., Najjar, M. B., Abdolzadeh, A. (2019). Increased growth rate, lignin, and shikonic levels in *Onosma dichroantha* bioss. As affected by silicon treatment. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(3), 671–681.
- Kuo, S. (1996). "Phosphorus. P 869-919." *Methods of soil analysis*. Part 3.
- Liljeroth, E., Lankinen, A., Wiik, L., Burra, D. D., Alexandersson, E., Andreasson, E. (2016). Potassium phosphite combined with reduced doses of fungicides provides efficient protection against potato late blight in large-scale field trials. *Crop Protection*, 86, 42–55.
- Machinandiarena, M. F., Lobato, M. C., Feldman, M. L., Daleo, G. R., Andreu, A. B. (2012). Potassium phosphite primes defense responses in potato against *Phytophthora infestans*. *Journal of Plant Physiology*, 169(14), 1417–1424.
- Malakouti, M. J., Shahabi, A. A. and Bazargan, K. (2005). *Potassium in agriculture of Iran*. Sana publication. 352pp. [In Persian]
- Manoja, F. S., Mushongi, A. A., Harvey, J., Wainaina, J., Wanjuki, I., Ngeno, R., Darnell, R., Gnonlonfin, B. G. Massomo, S. M. (2017). Potential of using host plant resistance, nitrogen and phosphorus fertilizers for reduction of *Aspergillus flavus* colonization and *aflatoxin* accumulation in maize in Tanzania. *Crop Protection*, 93, pp.98–105.
- Meharg, C., & Meharg, A. A. (2015). Silicon, the silver bullet for mitigating biotic and abiotic stress, and improving grain quality, in rice? *Environmental and Experimental Botany*, 120, 8–17.
- Moyer, C., Peres, N. A., Datnoff, L. E., Simonne, E. H., Deng, Z. (2008). Evaluation of silicon for managing powdery mildew on gerbera daisy. *Journal of Plant Nutrition*, 31(12), 2131–2144.
- Munns, R., Tester, M. (2008). Mechanism of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biology*, 59, 651–681.
- Pieterse, C. M. J., Leo-Reyes, A., Van der Ent, S. Van wees, S. C. M. (2009). Networking by small-molecule hormones in plant immunity. *Nature Chemical Biology*, 5, 308–316.
- Ramírez-Godoy, A., del Pilar, V. M., Jiménez-Beltrán, N., Restrepo-Díaz, H. (2018). Effect of potassium silicate application on populations of 2800sian citrus psyllid in Tahiti lime. *Horticultural Technology*, 28(5), 684–691.
- Ranganathan, S., Suvarchala, V., Rajesh, Y.B.R.D., Prasad, M.S., Padmakumari, A.P., Voleti, S.R. (2006). Effects of silicon sources on its deposition, chlorophyll content, and disease and pest resistance in rice. *Biologia Plantarum*, 50(4), pp.713–716.
- Reuveni, R., Reuveni, M. (1998). Foliar-fertilizer therapy—a concept in integrated pest management. *Crop Protection*, 17(2), 111–118.
- Ryan, J., Estefan, G., Rashid, A. (2001). *Soil and plant analysis laboratory manual*, International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Aleppo and National Agricultural Research Centre (NARC), Islamabad, Pakistan.
- Sau, S., Sarkar, S., Ghosh, B., Ray, K., Deb, P., Ghosh, D. (2018). Effect of foliar application of B, Zn and Cu on yield, quality and economics of rainy season guava cultivation. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 28(1), 1–10.
- Scopes, N. E. A. (1985). Red spider mite and the predator *Phytoseiulus persimilis*. *Biological pest control: the glasshouse experience*/edited by NW Hussey and N. Scopes.
- Seyedi, A., Ebadi, A. and Babalar, M. (2014) Effect of potassium levels in nutrient solution, harvest season, and plant density on quantity and quality of strawberry fruit (CV. Selva) in hydroponic

- system conditions, Iranian Journal of Horticultural Science, 44(4), 423-429. (In Farsi)
- Srinivas, M., Prasad, V. M., Baradwaj, K., Ajmeera, V., Ravulapenta, S., Veerendra, A. C. (2015). Effect of different sources of organic and inorganic plant nutrients on fruit growth, yield and quality of guava (*Psidium guajava L.*) cv. Allahabad Safeda. Environment and Ecology. 33(1), 126-130.
- Wang, S. Y., Galletta, G. J. (1998). Foliar application and Potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. Journal of Plant Nutrition, 21(1), 157-167.
- Warabieda, W., Oszak, R. (2010). Effect of exogenous methyl jasmonate on numerical growth of the population of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae Koch.*) on strawberry plants and young apple trees. Journal of Plant Protection Research, 50(4), 541-544.
- Yaghubi, K., Vafae, Y., Ghaderi, N., & Javadi, T. (2019). Potassium silicate improves salinity resistant and affects fruit quality in two strawberry cultivars grown under salt stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 50(12), 1439-1451.