

Effect of foliar application of some micronutrients on growth, biomass and morpho-physiological characteristics of basil in three different cultivation systems

Hamid Aghamirzaei¹, Hasan Mumivand^{2*}, Abdollah Ehtesham Nia², Mohammad Reza Raji²

1- M.Sc. student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
dr.hamidaghmirzaii.1369@gmail.com

2- Corresponding author and Assistant Professor, Department of Horticultural science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
mumivand.h@lu.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Horticultural science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
ab.ehteshammia@gmail.com

4- Assistant Professor, Department of Horticultural science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
raji.m@lu.ac.ir

Received Date: 2022/01/11

Accepted Date: 2022/05/22

Abstract

Introduction: Basil (*Ocimum basilicum*) is an annual plant of Lamiaceae family and native to tropical regions. The plant is the most commonly used fresh in recipes. Many diverse activities such as antifungal, antibacterial, anticancer, antioxidant, antidiabetic, anti-inflammatory, antiarthritis and anti-stress have also been observed in *O. basilicum* (Shahrajabian et al., 2020). Nutrient deficiencies in soil culture crops and impossibility of appropriate managements are the important reasons for low crop productivity in farm. Micronutrients (e.g. iron, boron, manganese, zinc and copper) are required in very small amounts by the plant, but play an important role in plant growth and development (Nayak et al., 2020). In hydroponic system, the yield and quality of horticultural plants can be significantly improved compared to conventional soil culture (Putra and Yuliando, 2015). Development of new agricultural systems for horticultural crop cultivation is necessary. The present study was conducted to compare the growth, biomass and morpho-physiological characteristics of Iranian purple basil in farm and greenhouse cultivation (soil and hydroponics cultivation). In addition, the effect of foliar application of five micronutrients on the plant was investigated.

Material and methods: In this research, three cultivation systems (conventional soil culture in farm, soil pot culture in greenhouse and hydroponics cultivation) was compared. The experiment was done in the research farm and greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources of Lorestan University in 2019. In all cultivation systems, a randomized complete block design with three replications was performed. Foliar application of micronutrients was applied in six levels (control, foliar application of iron, zinc, copper, manganese and boron). Iron sulfate, zinc sulfate, copper sulfate, manganese sulfate, and boric acid were used as micronutrient sources. In studied cultivation systems, micronutrients were sprayed three times (early vegetative stage, late vegetative stage and early flowering stage).

Results and discussion: Results showed that plants grown in the field had higher crown diameter, number of nodes, number of leaves, stem dry weight, number of lateral branches and carotenoid content. However, cultivation in hydroponic system led to growing plants with higher plant height, internode length, plant fresh weight, plant dry weight, leaf area, chlorophyll content, stomatal conductivity and photosynthesis rate. Generally, basil plants had shown the highest growth and yield in hydroponic system, followed by greenhouse soil culture. In comparison between foliar application of nutrients, the results showed that the application of zinc resulted in obtaining the highest leaf dry weight, but there was no significant difference with the treatment by application of copper, iron and boron. However, foliar application of nutrients led to different results in each cultivation system. In field cultivation, maximum of plant height, internode length, crown diameter, number of lateral branches, leaf area and stem dry weight were observed in iron spraying. In greenhouse soil cultivation, the highest plant height and internode length were obtained using boron and iron application. In hydroponic system, the highest plant height and internode length was obtained by application of boron. In field cultivation and soil cultivation in greenhouse, the highest photosynthesis rate and stomatal conductivity was observed in iron spraying treatment. In hydroponic culture, however, the photosynthesis rate and stomatal conductivity was higher in copper and iron foliar application in compare to other nutrients.

Conclusions: In the present study, basil plants grew up in the fields not only showed lower growth and yield, but also had rough leaves that lower their edible quality as vegetable. While, leaf to stem ratio and freshness of leaf tissue was the highest in the hydroponic system. The response of plants to the micronutrients application was different in each cultivation system. Application of zinc in all three cultivation systems resulted in the highest leaf dry weight. In the field cultivation, the best results were obtained by foliar application of iron. In soil greenhouse cultivation, the use of iron and boron had more positive effects on plants.

Keywords: Boron, Hydroponics, Iron, Manganese, Zinc

اثر محلول پاشی برخی عناصر ریزمغذی بر رشد، زی توده و خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی ریحان (*Ocimum basilicum*) در سه سیستم مختلف کشت

حمید آقامیرزایی^۱، حسن مومیوند^{۲*}، عبدالله احتشامی^۳، محمدرضا راجی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
dr.hamidaghmirzaii.1369@gmail.com

۲- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
mumivand.h@lu.ac.ir

۳- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
ab.ehteshamia@gmail.com

۴- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
raji.m@lu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۱

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر رشد، زی توده و خصوصیات مورفو-فیزیولوژی ریحان (*Ocimum basilicum*) در سه سیستم مختلف کشت بود. این مطالعه در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی انجام شد. سیستم های مختلف کشت (کشت در مزرعه، کشت در گلخانه خاکی و هیدروپونیک) به عنوان فاکتور اول و محلول پاشی برگی عناصر کم مصرف در شش سطح (شاهد یا بدون محلول پاشی و محلول پاشی آهن، روی، مس، منگنز و بور) به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شدند. گیاهان مزرعه دارای قطر طوقه، تعداد گره، تعداد برگ، وزن خشک ساقه، تعداد شاخه جانبی و میزان کاروتنوئید بالاتری بودند. با این حال، در سیستم هیدروپونیک گیاهان از ارتفاع بوته، طول میانگره، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، سطح برگ، میزان کلروفیل، هدایت روزنه ای و فتوسنتز بیش تری برخوردار بودند. کاربرد روی منجر به حصول بیشترین وزن خشک برگ گردید. در کشت مزرعه، بیشترین ارتفاع بوته، طول میانگره، قطر طوقه، تعداد شاخه جانبی، سطح برگ و وزن خشک ساقه در محلول پاشی آهن مشاهده شد. در کشت خاکی گلخانه، بیشترین ارتفاع بوته و طول میانگره با کاربرد بور و آهن به دست آمد. در کشت هیدروپونیک نیز بالاترین ارتفاع و طول میانگره با کاربرد بور به دست آمد. بیشترین میزان فتوسنتز و هدایت روزنه ای در کشت مزرعه ای و کشت خاکی گلخانه با محلول پاشی آهن، و در کشت هیدروپونیک با محلول پاشی مس و آهن مشاهده شد. در مجموع، گیاهان ریحان در مزرعه نه تنها عملکرد کمتری داشتند بلکه حالت خشبی بوته ها کیفیت خوراکی آن ها را به عنوان سبزی کاهش داد.

کلمات کلیدی: آهن، بور، روی، منگنز، هیدروپونیک

مقدمه

ریحان (*Ocimum basilicum*) گیاهی یکساله از خانواده نعناع (Lamiaceae) و از مهم‌ترین گیاهان دارویی و سبزیجات برگی است. پیکر هوایی آن حاوی اسانس، پلی فنول، فلاونوئید و فنولیک اسید است. از کاربردهای دارویی آن می‌توان به فعالیت ضدسرطانی، فعالیت ضد میکروبی، اثرات ضد التهابی، فعالیت تنظیم‌کننده سیستم ایمنی، ضد استرس، ضد دیابت، ضد آرتروز و فعالیت آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد (Shahrajabian et al., 2020). همچنین استفاده از آن به عنوان دمنوش، ادویه و مصرف تازه‌خوری به عنوان سبزی مرسوم است (Moghadam et al., 2013). ریحان تقریباً در تمام مناطق گرم و معتدل دنیا کشت و مصرف می‌شود. اگر چه این گیاه عمدتاً در بهار و تابستان و به صورت خاکی در مزرعه کشت و کار می‌شود، ولی تقاضای بالا برای مصرف آن سبب شده تا تولید آن به صورت خارج از فصل نیز مورد توجه قرار گیرد (Olympios, 1995).

افزایش جمعیت جهان، تخریب مداوم محیط زیست و تغییرات آب و هوایی از چالش‌های قابل توجه در زمینه تامین مواد غذایی بشر است (Nooshkam et al., 2017). کشت متداول خاکی و کشاورزی در فضای باز (مزرعه و باغ) دارای مشکلات متعددی از جمله بیماری‌های خاکی، کمبود مواد آلی خاک، عدم قابلیت کشت برخی از محصولات خاص، عدم کنترل دقیق عناصر غذایی در مراحل مختلف رشدی گیاه در بستر خاکی مزرعه، عدم کنترل علف‌های هرز، کاهش راندمان مصرف آب و عدم کنترل شرایط محیطی است (Farran and Mingo-Castel, 2006; Nistor et al., 2009). از روش‌های نوین و جایگزینی که جهت افزایش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از محیط‌های محافظت‌شده مانند گلخانه است که شرایط دمایی و اقلیمی در آن قابل کنترل است (Gashgari et al., 2018; Verdoliva, 2021). کشت گلخانه‌ای به دلیل قابلیت تولید محصول

در تمام سال، استفاده بهینه از آب و کود به ازای هر واحد تولید محصول، بهره‌برداری اقتصادی از زمین‌های کوچک و کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی، نسبت به کشت در هوای آزاد برتری دارد (Paradisone et al., 2004). "کشت بدون خاک" از جمله سیستم‌های جدیدی است که به منظور بهبود محیط رشد گیاه و اطمینان از تامین آب و مواد مغذی در گلخانه استفاده می‌شود (Putra and Yuliando, 2015). کمبود آب، بیماری‌های خاکزی و عدم امکان کنترل دقیق تغذیه گیاه در سیستم‌های خاکی باعث شده که در دهه‌های اخیر تولید محصولات به روش‌های مختلف کشت بدون خاک در عرصه جهانی افزایش یابد (Ramezani et al., 2001). کاهش آفات و بیماری‌های خاکزی (Sharma et al., 2018)، عدم وابستگی به کیفیت خاک، کاهش مصرف آب و کنترل دقیق آب و مواد غذایی از مزایای سیستم‌های هیدروپونیک نسبت به کشت خاکی هستند که باعث افزایش تولید در واحد سطح می‌شوند (Valans et al., 2011).

در پژوهشی روی خیار (*Cucumis sativus*) در دو سیستم کشت خاکی و هیدروپونیک مشخص شد که گیاهان در سیستم هیدروپونیک سرعت رشد بالاتری داشتند (Gashgari et al., 2018). در مطالعه Tabatabaei (2008) روی اثر سیستم کشت (هیدروپونیک و کشت خاکی) در گیاه سنبل طیب (*Valeriana officinalis*)، بالاترین وزن تر برگ و ریشه در سیستم هیدروپونیک به دست آمد. در این مطالعه میزان فتوسنتز، بازده اسانس و مقاومت روزنه‌ای نیز در کشت هیدروپونیک از خاکی بالاتر بود. مقایسه کاشت توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*) در خاک و سیستم هیدروپونیک نشان داد که عملکرد و ماندگاری میوه در سیستم هیدروپونیک بالاتر بود (Tretz and Omaye, 2015).

کمبود عناصر غذایی تقریباً در تمام مزارع جهان متداول است و میزان آن در مناطق مختلف و از گیاهی به گیاه دیگر

¹ Soil less culture

ریزمغذی‌ها باعث افزایش تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Tavanti et al., 2021). محلول‌پاشی توت‌فرنگی رقم کاماروسا با اسیدبوریک اثر قابل توجهی بر عملکرد، وزن میوه، میزان کلروفیل و سطح برگ گیاه داشت (Rafiei and Pak Kish, 2014). کاربرد مس عملکرد ماده خشک، ارتفاع گیاه و عملکرد اسانس شوید (Anethum graveolens) را افزایش داد (Zheljazkov et al., 2006). طبق گزارش Nasiri و همکاران (2010) محلول‌پاشی برگی آهن و روی در گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla*) باعث افزایش عملکرد گل و میزان اسانس در مقایسه با تیمار شاهد شد. در مطالعه‌ای دیگر بیشترین ارتفاع گیاه، بیشترین تعداد شاخه فرعی، وزن تر و وزن خشک و عملکرد اسانس ریحان با محلول‌پاشی آهن و روی به دست آمد (Said-Al Ahl and Mahmoud, 2010).

عناصر ریزمغذی علاوه بر این که نقش اساسی در رشد و عملکرد گیاهان دارویی و سبزیجات دارند، در بالا بردن کیفیت و ارزش غذایی این محصولات نیز موثر هستند. با توجه به اهمیت گیاه ریحان و تقاضای بالایی که برای آن در تمام طول سال وجود دارد، نیاز به توسعه سیستم‌های جدید کشاورزی برای کشت آن وجود دارد. بررسی منابع علمی نیز نشان می‌دهد که تاکنون مقایسه‌ای بین سیستم‌های کشت گلخانه‌ای و کشت مزرعه‌ای ریحان انجام نگرفته است. بنابراین، پژوهش حاضر به منظور مقایسه رشد، زی‌توده گیاهی و خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی ریحان بنفش ایرانی در کشت مزرعه‌ای و گلخانه‌ای (خاکی و هیدروپونیک) صورت گرفت. علاوه بر این تاثیر محلول-پاشی برگی عناصر ریز مغذی نیز بر این گیاه بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در هر یک از سیستم‌های مورد مطالعه در مزرعه و گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. سیستم‌های کشت

متفاوت است (Altoreksi and Helal, 2004). عواملی مانند pH، فعالیت بیولوژیکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوای رس در تعیین در دسترس بودن عناصر غذایی در خاک تاثیرگذار هستند (Fageria et al., 2002). عناصر ریزمغذی مانند آهن، بور، منگنز، روی و مس در مقادیر کم مورد نیاز گیاه بوده ولی نقش برجسته‌ای در رشد و نمو گیاه دارند. متابولیسم گیاه، تنظیم مواد مغذی، سنتز کلروفیل، تولید کربوهیدرات، رشد میوه و دانه و غیره، از جمله عملکردهایی هستند که توسط عناصر کم‌مصرف انجام می‌شوند (Nayak et al., 2020). این عناصر هنگامی که در سطح کافی وجود داشته باشند، خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و متابولیسی گیاه بهبود می‌یابد در حالی که کمبود آن‌ها باعث رشد غیر طبیعی گیاهان می‌شود (et al., 2015). کمبود عناصر کم‌مصرف به دلیل ماهیت خاک، pH بالا، مواد آلی کم، تنش شوری، خشکسالی مداوم، بالا بودن یون بی‌کربنات در آب آبیاری و عدم تعادل عناصر غذایی، در بسیاری از مناطق رایج است (Jatav 2020). در ترکیب مواد غذایی با خاک مشکلاتی مانند تثبیت عناصر، شستشو و انتقال عناصر به آب‌های زیرزمینی، نرخ پایین استفاده از عناصر، اسیدی شدن و شور شدن خاک به وجود می‌آید (Niu et al., 2020). محلول-پاشی عناصر غذایی به‌ویژه عناصر ریزمغذی یکی از روش‌های متداول تامین نیازهای گیاهان عالی است که کارایی آن در وضعیت نامناسب خاک به لحاظ دسترسی عناصر غذایی، بیشتر از مصرف خاکی است (Mumivand et al., 2021b). محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها به‌طور معنی‌داری در افزایش عملکرد گیاهان تاثیر می‌گذارد (Kannan, 2010). با این حال در محلول‌پاشی شکل سولفات و کلات عناصر نسبت به سایر فرم‌ها تاثیر بیشتری در افزایش عملکرد دارند (Girma et al., 2007).

مطالعات پیشین نشان داده است که کاربرد ریزمغذی‌ها اثرات منفی تنش‌های غیرزیستی را کاهش داده و باعث افزایش ظرفیت فتوسنتز گیاهان شده است. همچنین کاربرد

خاکی ۴ لیتری کشت شده و به صورت منظم آبیاری شد. بستر کشت مورد استفاده در کشت خاکی شامل نسبت مساوی خاک، ماسه و کود حیوانی (۱:۱:۱) بود. در سیستم هیدروپونیک گیاهان ریحان در مرحله‌ی چهار برگگی به گلدان‌هایی با سایز ۱۴ منتقل شده (حاوی پرلیت و کوکوپیت) و محلول غذایی به میزان ۴۵۰ میلی‌لیتر در روز به هر گلدان داده شد. در مراحل اولیه‌ی رشد تغذیه گیاهان با محلول غذایی نیم هوگلدن و پس از آن با محلول هوگلدن کامل انجام شد. محلول پاشی عناصر کم مصرف به طور مشترک در تمام سیستم‌های کشت و در ۳ مرحله (مرحله ۶-۸ برگ حقیقی، مرحله قبل از شروع گلدهی و شروع مرحله گلدهی) به میزان یک در هزار در هنگام عصر انجام گرفت. در طول آزمایش میانگین دمای روزانه گلخانه ۲۸-۲۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰-۷۰ درصد و شدت نور ۶۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود. قبل از اجرای آزمایش برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و گلخانه اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

مورد مطالعه شامل کشت در مزرعه، کشت در گلدان خاکی در گلخانه و کشت هیدروپونیک در گلخانه بود. در هر یک از سیستم‌های کشت، محلول پاشی برگگی عناصر کم مصرف در شش سطح (شاهد یا بدون محلول پاشی و محلول پاشی آهن، روی، مس، منگنز و بور) اعمال شد. منبع عناصر کم مصرف مورد استفاده شامل سولفات آهن، سولفات روی، سولفات مس، سولفات منگنز و اسید بوریک (تهیه شده از شرکت پارس اکسید، شیراز، ایران) بود. در کشت مزرعه‌ای در هر بلوک آزمایشی تعداد شش کرت به ابعاد ۲×۲ آماده شده و چهار ردیف گیاه با فاصله نیم‌متر بین ردیف و ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف کشت شد. فاصله بین دو کرت یک متر و فاصله بین دو بلوک نیز دو متر در نظر گرفته شد. بعد از کاشت کلیه مراقبت‌های زراعی مانند آبیاری و وجین علف‌های هرز به صورت مرتب انجام گرفت. برای کشت گلخانه‌ای خاکی و هیدروپونیک نیز در هر واحد آزمایشی تعداد شش عدد گلدان کشت شد. در کشت خاکی گلخانه بذرهای ریحان (تهیه شده از شرکت پاکان بذر) در گلدان

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و گلخانه

Table 1- Some physical and chemical properties of farm and greenhouse soil

| Soil | P (ppm) | K _{ava} (ppm) | N (%) | Fe (ppm) | Na (ppm) | Mg (ppm) | Organic carbon (%) | Organic matter (%) | EC (dS/m) | pH | texture |
|-----------|---------|------------------------|-------|----------|----------|----------|--------------------|--------------------|-----------|------|------------------|
| Farm | 12.4 | 331 | 0.15 | 5.18 | 78.2 | 583.8 | 1.04 | 1.748 | 2.51 | 7.13 | Sandy loamy clay |
| Greenhous | 14.76 | 362 | 0.24 | 5.44 | 66.8 | 603.6 | 1.4 | 2.8 | 2.02 | 6.9 | Sandy loamy clay |

سوم هر گیاه جدا شد (ده برگ از هر تیمار) و میانگین آن‌ها توسط دستگاه سطح برگ سنج (دلتا تی اسکن) اندازه‌گیری شد. وزن تر گیاه، وزن خشک ساقه و وزن خشک برگ نیز اندازه‌گیری شد. برای این کار اندام هوایی گیاهان برداشت و وزن تر آن‌ها با ترازوی دیجیتال محاسبه گردید. گیاهان روزنه‌ای در برگ‌های بالغ بالایی توسط دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی پروتابل ساخت کشور آمریکا (CI-340, Handheld Photosynthesis system) اندازه‌گیری شد. اساس کار این دستگاه بر اساس میزان دی‌اکسیدکربن

در پایان آزمایش و در هر سیستم کشت، تعداد چهار بوته در هر تکرار به صورت تصادفی انتخاب و نمونه‌گیری از آن‌ها صورت گرفت. صفات ارتفاع بوته، تعداد گره، طول میانگره، تعداد شاخه جانبی، قطر طوقه و تعداد برگ اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری سطح برگ یک برگ از گره برداشت شده به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها نیز محاسبه گردید. فاکتورهای مرتبط با تبادلات گازی شامل تعرق، فتوسنتز و دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای و هدایت

مصرفی است.

رابطه ۴)

$$\text{Carotenoids (mg/gr)} = (100 \times A470 - 3.27 \times \text{Chl. A}) - 104 (\text{Chl. B}) / 227$$

برای اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید ۰/۱ گرم از بافت تر برگ گیاه در داخل هاون چینی با ده میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد و پس از سانتریفیوژ (۴۰۰۰ دور در ۱۵ دقیقه) محلول رویی با کاغذ صافی (CHM اسپانیا مدل F1001) یا کاغذ فیلتر سلولزی که از الیاف سلولز ساخته شده و سطح جلوگیری از عبور ذرات تا ۲/۵ میکرومتر را داشت برای فیلتراسیون گرانشی ساده صاف شد، سپس بر اساس روش (1987) *et al.*, Lichthentaler میزان کلروفیل و کاروتنوئید اندازه‌گیری شد. طبق این روش با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مقدار جذب نوری محلول‌ها در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۶۷۰ نانومتر قرائت و مقدار کلروفیل a و b و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ بر اساس رابطه‌های ۱ تا ۴ محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح آزمایشی (تجزیه مرکب) با استفاده از نرم‌افزار Minitab صورت گرفت و مقایسه میانگین تیمارها نیز با آزمون دانکن در سطح ۱ درصد و ۵ درصد انجام شد. برای ترسیم جداول و نمودارها نیز از نرم‌افزارهای Word و Excel استفاده گردید.

نتایج

صفات مورفولوژی و زی‌توده

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثر سیستم کشت بر تمام صفات مورفولوژی و زی‌توده مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، تعداد گره، طول میانگره، تعداد شاخه جانبی، قطر طوقه، سطح برگ، تعداد برگ، وزن تر گیاه، وزن خشک ساقه و وزن خشک برگ معنی‌دار شد. تمام صفات مورفولوژی و زی‌توده مورد مطالعه نیز به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی قرار گرفتند. اثر متقابل سیستم کشت و محلول‌پاشی نیز بر صفات ارتفاع بوته، طول میانگره، تعداد شاخه جانبی، قطر طوقه، سطح برگ و وزن خشک ساقه معنی‌دار شد.

رابطه ۱)

$$\text{Chlorophyll a (mg/gr)} = (19.3 \times A663 - 0.86 \times A645) V / 100W$$

رابطه ۲)

$$\text{Chlorophyll b (mg/gr)} = (19.3 \times A645 - 3.6 \times A663) V / 100W$$

رابطه ۳)

$$\text{Chl T (mg/gr)} = \text{Chl.a} + \text{Chl.b}$$

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژی و زی‌توده ریحان

Table 2- Analysis of variance of morphological and biomass traits of basil

| Souec of variation | Df | Plant height | Number of nodes | Internod length | Number of sub-branches | Crown diameter | Leaf area | Number of leaves | Plant fresh weight | Stem dry weight | leaf dry weight |
|--------------------|----|--------------|--------------------|-----------------|------------------------|----------------|-----------|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|
| A | 2 | 1723.6** | 53.40** | 8.8** | 183.16** | 24.53** | 161.3** | 55626** | 10009** | 105.8** | 96.63** |
| Main error | 6 | 3.57 | 1.18 | 0.12 | 3.5 | 0.13 | 0.59 | 22212 | 500.3 | 3.84 | 2.84 |
| B | 5 | 102.0** | 8.77** | 1.44** | 31.67** | 0.61* | 8.73** | 11165 ^{ns} | 704.3 ^{ns} | 42.99** | 42.15** |
| A*B | 10 | 21.63** | 1.54 ^{ns} | 0.43** | 9.87** | 0.63** | 1.00* | 6251.4 ^{ns} | 421.4 ^{ns} | 6.63** | 5.23 ^{ns} |
| Second error | 30 | 3.13 | 0.91 | 0.11 | 1.34 | 0.16 | 0.45 | 13271 | 423.3 | 2.94 | 2.71 |

***, **, *، ns: به ترتیب نشان دهنده‌ی معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تاثیر معنی‌دار هستند. A: سیستم کشت، B: محلول‌پاشی

***, **, *، ns: show significant differences at 1% and 5% levels and no significant difference, respectively; A: cultivation system, B: foliar application

بود. بالاترین تعداد برگ نیز در کشت مزرعه (۴۳۰/۲۸) و کمترین آن در سیستم کشت هیدروپونیک (۱۰۳/۸۹) مشاهده شد. بیشترین وزن تر بوته و وزن خشک برگ در

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر سیستم کشت (جدول ۳)، بالاترین تعداد گره مربوط به کشت مزرعه (۱۲/۵) و کمترین تعداد گره مربوط به کشت هیدروپونیک (۹/۰۵)

کشت هیدروپونیک (به ترتیب با ۹۷/۷۵ گرم و ۱۲/۲۳ گرم) و کمترین وزن تر بوته و وزن خشک برگ در کشت مزرعه (به ترتیب با ۵۰/۶۶ گرم و ۷/۶۹ گرم) به دست آمد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سیستم کشت بر صفات مورفولوژی و زی توده ریحان

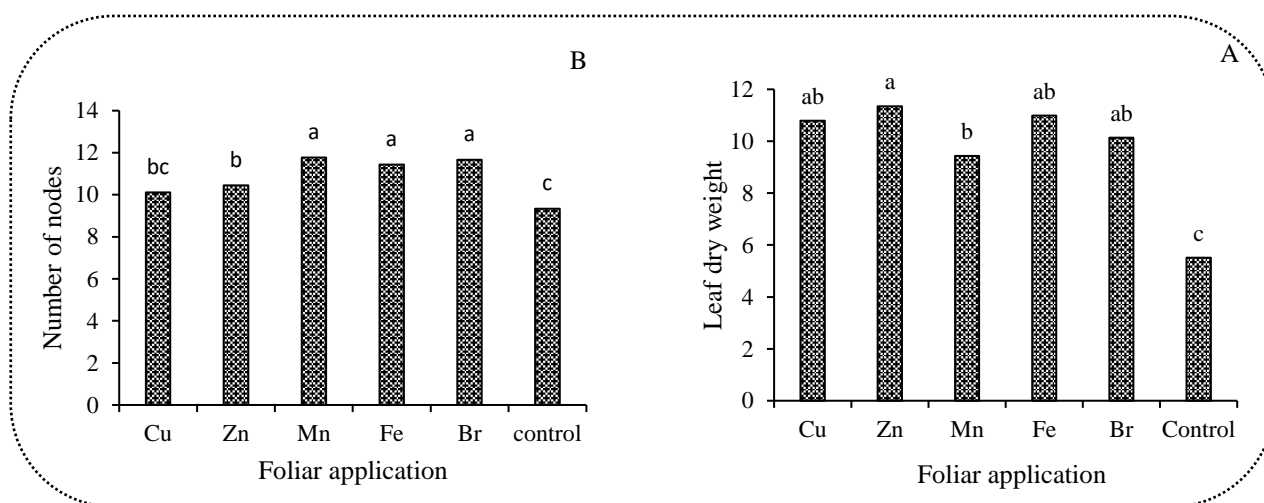
| Cultivation system | Number of nodes | Number of leaves | Plant fresh weight (gr) | Leaf dry weight (gr) |
|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|
| Farm | 12.5 ^a | 430.28 ^a | 50.66 ^c | 7.69 ^c |
| Soil greenhouse | 10.83 ^b | 153.89 ^b | 72.03 ^b | 9.18 ^b |
| Hydroponic | 9.05 ^c | 103.89 ^b | 97.75 ^a | 12.23 ^a |

*میانگین‌های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

*Means with similar letters in each column, based on duncan test at 0.05% probability level, are not significantly different.

بالاترین وزن خشک برگ نیز مربوط به محلول‌پاشی روی نشان داد که بالاترین تعداد گره در محلول‌پاشی منگنز، بور و آهن (به ترتیب با ۱۱/۷۷، ۱۱/۶۶ و ۱۱/۴۴) و کمترین تعداد گره در تیمار عدم محلول‌پاشی مشاهده شد که با تیمار محلول‌پاشی مس اختلاف معنی‌داری نداشت.

بالاترین وزن خشک برگ نیز مربوط به محلول‌پاشی روی نشان داد که بالاترین تعداد گره در محلول‌پاشی منگنز، بور و آهن (به ترتیب با ۱۱/۷۷، ۱۱/۶۶ و ۱۱/۴۴) و کمترین تعداد گره در تیمار عدم محلول‌پاشی مشاهده شد که با تیمار محلول‌پاشی مس اختلاف معنی‌داری نداشت.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر وزن خشک برگ (A) و تعداد گره (B) ریحان

Fig 1- Mean comparison of the effect of foliar application on leaf dry weight (A) and the number of nodes (B) of basil

تیمار شاهد و در مزرعه (۳۱/۰۷ سانتی‌متر) مشاهده شد. به طور کلی ارتفاع بوته در گیاهان کشت شده در سیستم هیدروپونیک بالاتر از سایر سیستم‌ها بود و در کشت مزرعه‌ای کمترین ارتفاع بوته مشاهده گردید. در کشت بیشترین طول میانگره در سیستم هیدروپونیک با محلول‌پاشی بور (۶/۰۳ سانتی‌متر) و کمترین طول میانگره در مزرعه با تیمار مس (۳/۵۳ سانتی‌متر) دیده شد، که

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سیستم کشت و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (جدول ۴) نشان داد که بالاترین ارتفاع بوته در تیمار محلول‌پاشی بور در سیستم هیدروپونیک (۶۰/۹۲ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع بوته در مزرعه‌ای بیشترین ارتفاع بوته در تیمار کاربرد آهن مشاهده شد، در حالی‌که در کشت خاکی و هیدروپونیک گلخانه گیاهان تیمار شده با بور بالاترین ارتفاع بوته را نشان دادند.

و تیمار منگنز (۱۵/۳۳ سانتی‌متر مربع) به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار بور در سیستم هیدروپونیک نداشت. کمترین سطح برگ در کشت مزرعه با تیمار شاهد (۵/۸۷ سانتی‌متر مربع) مشاهده گردید. بالاترین وزن خشک ساقه (۱۴/۵۶ گرم) مربوط به کشت مزرعه با محلول‌پاشی آهن بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی مس، روی، بور و منگنز در مزرعه و محلول‌پاشی مس، آهن و روی در کشت گلخانه‌خاکی نداشت. کمترین وزن خشک ساقه نیز در سیستم کشت گلخانه‌خاکی با تیمار شاهد (۴/۲۵ گرم) به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد در سیستم کشت هیدروپونیک نداشت.

اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد در مزرعه نداشت. برخلاف این، بیشترین تعداد شاخه جانبی مربوط به مزرعه با محلول‌پاشی آهن (۲۱/۶۶) و کمترین تعداد شاخه جانبی مربوط به سیستم هیدروپونیک با تیمار شاهد (۹/۳۳) بود، که اختلاف معنی‌داری با محلول‌پاشی مس و روی در سیستم هیدروپونیک و شاهد در مزرعه نداشت. بالاترین قطر طوقه در مزرعه با محلول‌پاشی آهن (۸/۳۰ میلی‌متر) مشاهده شد. کمترین قطر طوقه نیز در سیستم کشت هیدروپونیک مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی در سیستم هیدروپونیک وجود نداشت. بالاترین سطح برگ در کشت هیدروپونیک

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سیستم کشت و محلول‌پاشی بر صفات مورفولوژی و زی‌توده ریحان

Table 4- Comparison of the mean interaction effect of cultivation system and foliar application on morphological and biomass traits of basil

| Cultivation system | foliar application | Plant height (cm) | Internode length (cm) | Number of sub-branches | Crown diameter (mm) | Leaf area (cm ²) | Stem dry weight (gr) |
|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|------------------------------|----------------------|
| Farm | Cu | 37.84 ⁱ | 3.53 ^g | 18.32 ^b | 8.0 ^{ab} | 9.34 ^g | 14.54 ^a |
| | Zn | 37.44 ⁱ | 4.71 ^{de} | 17.66 ^b | 7.93 ^{ab} | 9.39 ^g | 13.62 ^a |
| | Mn | 40.08 ^{hi} | 4.51 ^{ef} | 18.0 ^b | 8.10 ^{ab} | 8.93 ^g | 13.86 ^a |
| | Fe | 41.87 ^{gh} | 4.93 ^{cde} | 21.66 ^a | 8.30 ^a | 9.56 ^g | 14.56 ^a |
| | Br | 39.50 ^{hi} | 4.07 ^{fg} | 18.32 ^b | 7.46 ^b | 8.90 ^g | 14.37 ^a |
| | Control | 31.07 ^g | 3.67 ^g | 10.0 ^{gh} | 6.73 ^c | 5.87 ^h | 8.86 ^{cd} |
| Soil greenhouse | Cu | 44.46 ^{fg} | 5.62 ^{ab} | 15.0 ^c | 6.60 ^c | 12.08 ^{def} | 12.10 ^{ab} |
| | Zn | 44.50 ^{fg} | 5.30 ^{bcd} | 15.33 ^c | 6.73 ^c | 13.31 ^c | 14.06 ^a |
| | Mn | 47.0 ^{ef} | 5.49 ^{abc} | 15.66 ^c | 5.73 ^d | 13.84 ^{bc} | 7.87 ^{cd} |
| | Fe | 50.33 ^d | 5.71 ^{ab} | 14.66 ^{cd} | 5.46 ^d | 12.85 ^{cde} | 12.05 ^{ab} |
| | Br | 54.66 | 5.66 ^{ab} | 15.33 ^c | 5.60 ^d | 11.89 ^{ef} | 9.78 ^{cd} |
| | Control | 45.0 ^{fg} | 4.33 ^{ef} | 13.0 ^{de} | 5.86 ^d | 11.31 ^f | 4.25 ^e |
| Hydroponic | Cu | 60.45 ^{ab} | 5.61 ^{ab} | 10.33 ^{fgh} | 5.36 ^d | 14.53 ^{ab} | 8.76 ^{cd} |
| | Zn | 58.05 ^{ab} | 5.72 ^{ab} | 10.66 ^{fgh} | 5.63 ^d | 14.72 ^{ab} | 9.81 ^{bc} |
| | Mn | 58.81 ^{ab} | 5.32 ^{bcd} | 12.33 ^{ef} | 5.53 ^d | 15.33 ^a | 8.53 ^{cd} |
| | Fe | 57.63 ^b | 5.66 ^{ab} | 11.66 ^{efg} | 5.43 ^d | 14.51 ^{ab} | 9.37 ^{bcd} |
| | Br | 60.92 ^a | 6.03 ^a | 11.66 ^{efg} | 5.66 ^d | 15.13 ^a | 8.47 ^{cd} |
| | Control | 48.38 ^{de} | 4.80 ^{de} | 9.33 ^h | 5.63 ^d | 13.10 ^{cd} | 6.48 ^{de} |

*میانگین‌های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

*Means with similar letters in each column, based on duncan test at 0.05% probability level, are not significantly different.

صفات فیزیولوژی

فتوستز، تعرق، هدایت‌روزنه‌ای، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید معنی‌دار بود. اثر متقابل سیستم کشت و محلول‌پاشی نیز بر دی‌اکسیدکربن زیرروزنه‌ای، فتوستز، تعرق، هدایت‌روزنه‌ای، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید معنی‌دار شد.

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک (جدول ۵) نشان داد که اثر سیستم کشت بر دی‌اکسیدکربن زیرروزنه‌ای، تعرق و هدایت‌روزنه‌ای معنی‌دار شد. همچنین اثر ساده محلول‌پاشی بر دی‌اکسیدکربن زیرروزنه‌ای،

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی ریحان

Table 5- Analysis of variance of basil physiological traits

| Souec of variation | Df | Intracellular CO ₂ | Photosynthesis rate | transpiration | Stomata conductivity | Chlorophyll a | Chlorophyll b | Total chlorophyll | Carotenoid |
|--------------------|----|-------------------------------|---------------------|---------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| A | 2 | 57731** | 3.50 ^{ns} | 38.36** | 0.100** | 0.72 ^{ns} | 17.30 ^{ns} | 1.08 ^{ns} | 14.92 ^{ns} |
| Main error | 6 | 512.6 | 8.25 | 1.09 | 0.0031 | 0.76 | 22.34 | 3.54 | 9.55 |
| B | 5 | 31227** | 158.39** | 4.64** | 0.062** | 1.00* | 26.93* | 2.40* | 14.61** |
| A*B | 10 | 18815** | 31.40* | 2.20** | 0.025** | 0.91** | 27.45* | 2.12* | 14.71** |
| Second error | 30 | 1093.01 | 10.93 | 0.69 | 0.003 | 0.28 | 9.73 | 0.83 | 5.30 |

**, *, ns: به ترتیب نشان دهنده‌ی معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند. A: سیستم کشت، B: محلول‌پاشی

**, *, ns: show significant differences at 1% and 5% levels and no significant difference, respectively; A: cultivation system, B: foliar application

سیستم کشت هیدروپونیک با محلول‌پاشی مس (۰/۶ میلی-مول بر مترمربع بر ثانیه) به دست آمد و کمترین هدایت روزنه‌ای نیز در کشت مزرعه با تیمار عدم محلول‌پاشی (۰/۱۲ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) بود که با تیمار محلول‌پاشی بور در مزرعه اختلاف معنی‌دار نداشت. در مجموع می‌توان گفت که فارغ از تیمار محلول‌پاشی، میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای گیاهان در مزرعه کمتر از کشت گلخانه‌ای بود. بالاترین میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در گیاهان کشت شده در سیستم هیدروپونیک مشاهده گردید.

نتایج بررسی میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی نشان داد که بیش‌ترین میزان کلروفیل a در سیستم کشت هیدروپونیک و محلول‌پاشی منگنز (۱۱/۹۴ میلی گرم بر گرم بافت تازه برگ) و کم‌ترین میزان این رنگدانه در شرایط مزرعه و تیمار عدم محلول‌پاشی (۵/۰۹ میلی گرم بر گرم بافت تازه برگ) به‌دست آمد. محلول‌پاشی روی در سیستم کشت خاکی گلخانه بیش‌ترین میزان کلروفیل b (۵/۱۱ میلی گرم بر گرم بافت تازه برگ) را به خود اختصاص داد. کم‌ترین مقدار کلروفیل b (۲/۰۲ میلی گرم بر گرم بافت تازه برگ) متعلق به تیمار عم محلول‌پاشی در شرایط کشت مزرعه بود. بالاترین میزان کلروفیل کل در سیستم کشت هیدروپونیک با محلول‌پاشی منگنز (۱۷/۰۹ میلی گرم بر گرم بافت تازه برگ) مشاهده شد. کم‌ترین مقدار کلروفیل کل در تیمارهای (به ترتیب با ۷/۶۳ و ۷/۷۶ میلی گرم بر گرم بافت تازه

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سیستم کشت و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر صفات فیزیولوژی (جدول ۶) نشان داد که بالاترین دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای در کشت مزرعه و تیمار عدم محلول‌پاشی (۶۱۵/۵۰ میکرومول بر مول) مشاهده شد. کمترین دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای نیز مربوط به سیستم کشت هیدروپونیک با محلول‌پاشی مس (۳۰۶ میکرومول بر مول) بود. بالاترین میزان فتوسنتز در کشت هیدروپونیک و با محلول‌پاشی مس (۲۳ میکرو-مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه) به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز در سیستم کشت هیدروپونیک، محلول‌پاشی مس، آهن و بور در سیستم کشت خاکی گلخانه و محلول‌پاشی آهن در مزرعه نداشت. کمترین میزان فتوسنتز نیز در کشت مزرعه با تیمار شاهد (۶ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با محلول‌پاشی شاهد گلخانه خاکی نداشت. بالاترین تعرق مربوط به سیستم کشت خاکی گلخانه با محلول‌پاشی بور (۷/۹ میلی-مول بر مترمربع بر ثانیه) بود که اختلاف معنی‌داری با محلول‌پاشی مس، روی و منگنز در سیستم کشت گلخانه خاکی، و محلول‌پاشی مس، روی، منگنز، آهن و بور در سیستم کشت هیدروپونیک نداشت. کمترین تعرق نیز در مزرعه با محلول‌پاشی روی و شاهد (۲/۹ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده شد. بالاترین هدایت روزنه‌ای در عدم محلول‌پاشی در کشت مزرعه و کشت هیدروپونیک

ریحان در کشت هیدروپونیک و پس از آن در کشت خاکی گلخانه‌ای به دلیل تولید میانگه‌های طویل‌تر، ارتفاع بیشتری داشتند. در حالی که گیاهان مزرعه با وجود داشتن تعداد گره بیشتر، به دلیل میانگه‌های کوتاه از ارتفاع کمتری برخوردار بودند. بر خلاف این، گیاهان مزرعه با قطر طوقه و تعداد شاخه جانبی بیشتری که داشتند نسبت به کشت خاکی در گلخانه و به خصوص کشت هیدروپونیک

گیاهانی با رشد فشرده، متراکم و قطوری بودند. علاوه بر این گیاهان مزرعه تعداد برگ بیشتر همراه با سطح برگ کوچکتری تولید کردند و در کشت هیدروپونیک به دلیل رشد طولی بیشتر گیاهان و سطح برگ بزرگتر آن‌ها، در نهایت وزن تر بوته و وزن خشک برگ بالاتری به دست آمد. بر خلاف این رشد خشبی ریحان در مزرعه بیشتر از کشت خاکی گلخانه و به‌ویژه کشت هیدروپونیک بود که منجر به تولید وزن خشک ساقه بیشتر در مزرعه گردید.

برگ) مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین بررسی میزان کاروتنوئید نشان داد که مقدار این رنگدانه در تیمار آهن در کشت مزرعه در بالاترین سطح قرار داشت (۳/۹۱ میلی گرم بر گرم بافت تازه برگ) و در تیمار عدم محلول‌پاشی در سیستم کشت هیدروپونیک، کم‌ترین مقدار کاروتنوئید (۲/۱۰ میلی گرم بر گرم بافت تازه برگ) مشاهده شد.

بحث

نتایج مقایسه بین سیستم‌های کشت نشان می‌دهد که بالاترین قطر طوقه، تعداد گره، تعداد برگ، وزن خشک ساقه و تعداد شاخه جانبی در کشت مزرعه‌ای و سپس در کشت خاکی گلخانه مشاهده شد. با این حال گیاهان ریحان کشت شده در سیستم هیدروپونیک از ارتفاع بوته، طول میانگه، وزن تر بوته، وزن خشک بوته و سطح برگ بالاتری برخوردار بودند. بنابراین می‌توان گفت که گیاهان

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل سیستم کشت و محلول‌پاشی بر صفات فیزیولوژی ریحان

Table 6- Comparison of the mean interaction effect of cultivation system and foliar application on physiological traits of basil

| Cultivation system | Foliar application | Intracellular CO ₂ (μmol/mol) | Photosynthesis rate (μmol CO ₂ /m ² /s) | Transpiration (mmol/m ² /s) | Stomata conductivity (mmol/m ² /s) | Chlorophyll a (mg/g fresh weight) | Chlorophyll b (mg/g fresh weight) | Total chlorophyll (mg/g fresh weight) | Carotenoid (mg/g fresh weight) |
|--------------------|--------------------|--|---|--|---|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Farm | Cu | 520.33cde | 12.20de | 4.90def | 0.22gh | 10.18abcd | 3.24abcd | 13.42 ^{abc} | 3.5 ^{7abc} |
| | Zn | 560abcd | 14.70cde | 2.90g | 0.30efg | 7.71bcde | 2.95abcd | 10.67 ^{abc} | 3 ^{abcde} |
| | Mn | 553bcd | 12.05de | 4fg | 0.24fg | 9.26abcde | 3.34abcd | 12.60 ^{abc} | 3.28 ^{abcde} |
| | Fe | 479.33ef | 15.50abcd | 3.70fg | 0.31efg | 10.79abcd | 3.68abcd | 14.75 ^{ab} | 3.91 ^a |
| | Br | 570.33abc | 9.06ef | 5cdef | 0.21gh | 9.99abcd | 3.96abcd | 13.68 ^{abc} | 3.51 ^{abcd} |
| | Control | 615.50a | 6f | 2.90g | 0.12gh | 5.09e | 2.02d | 7.63 ^c | 2.31 ^{de} |
| Soil greenhouse | Cu | 465efg | 18.95abc | 6.70ab | 0.38 | 6.75cde | 2.80bcd | 9.55 ^{bc} | 2.72 ^{abcde} |
| | Zn | 560.75abcd | 15.70bcd | 7.40ab | 0.33def | 11.47abc | 5.11a | 16.58 ^{ab} | 3.65 ^{abc} |
| | Mn | 588ab | 14.13cde | 6.50abcd | 0.33def | 7.59bcde | 2.63cd | 10.23 ^{abc} | 2.66 ^{cde} |
| | Fe | 356.33jk | 19.53abc | 4.75ef | 0.42bcd | 7.99abcde | 3.92abcd | 11.90 ^{abc} | 2.74 ^{abcde} |
| | Br | 558.5abcd | 17abcd | 7.90a | 0.33def | 11.14abc | 2.96ab | 16.10 ^{ab} | 3.21 ^{abcd} |
| | Control | 605ab | 11.7def | 4.40fg | 0.30efg | 7.73abcd | 3.38abcd | 11.12 ^{abc} | 2.69 ^{bcde} |
| Hydroponic | Cu | 306k | 23a | 6.35 cadbe | 0.6a | 9.91 abcd | 3.15abc | 13.05 ^{abc} | 3.23 ^{abcde} |
| | Zn | 418.5ghi | 19.45abc | 6.75ab | 0.49b | 10.52abcd | 4.05abc | 14.58 ^{abc} | 3.45 ^{abcd} |
| | Mn | 383hij | 21.75ab | 7.25ab | 0.49b | 12.66a | 4.43abc | 17.09 ^a | 3.69 ^{abc} |
| | Fe | 367.5ij | 22.85a | 6.60abc | 0.5b | 11.55abc | 4.02abcd | 15.57 ^{ab} | 3.84 ^{abc} |
| | Br | 428fgh | 17.75abcd | 6.35abcde | 0.47bc | 11.94ab | 4.14abcd | 16.08 ^{ab} | 3.88 ^{ab} |
| | Control | 503.67de | 14.25cde | 6.05bcd | 0.44c | 5.73de | 2.54cd | 7.76 ^c | 2.10 ^e |

*میانگین‌های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

*Means with similar letters in each column, based on duncan test at 0.05% probability level, are not significantly different.

منگنز مشاهده گردید. با این حال، محلول‌پاشی عناصر غذایی در هر یک از سیستم‌های کشت نتایج متفاوتی داشت. برای مثال در کشت مزرعه، بیشترین ارتفاع بوته، طول میانگره، قطر طوقه، تعداد شاخه جانبی، سطح برگ و وزن خشک ساقه در محلول‌پاشی آهن مشاهده شد. در کشت خاکی گلخانه، بیشترین ارتفاع بوته و طول میانگره با کاربرد بور و آهن به‌دست آمد. بیشترین قطر طوقه و وزن خشک ساقه با مصرف روی مشاهده شد. اما بالاترین تعداد شاخه جانبی و سطح برگ مربوط به کاربرد منگنز بود. در کشت هیدروپونیک نیز بالاترین ارتفاع و طول میانگره با کاربرد بور به‌دست آمد. در حالی‌که بالاترین تعداد شاخه جانبی مربوط به تیمار کاربرد منگنز بود. در مجموع در کشت مزرعه و کشت هیدروپونیک کاربرد همه عناصر کم مصرف منجر به افزایش وزن خشک ساقه و سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد، با این حال اختلاف معنی‌دای بین تیمار عناصر مشاهده نگردید. به نظر می‌رسد که تفاوت در میزان عناصر غذایی موجود در خاک مزرعه، خاک گلخانه و محلول غذایی در سیستم هیدروپونیک، عامل پاسخ متفاوت گیاهان به محلول‌پاشی عناصر در بسترهای کشت مختلف باشد.

ریز مغذی‌ها نقش برجسته‌ای در رشد و متابولیسم گیاهان دارند. در نتیجه، کمبود آن‌ها ممکن است باعث ایجاد چندین اختلال فیزیولوژیکی در گیاهان و در نتیجه کاهش کمیت و کیفیت محصول شود (and komar, 2016). عنصر مس در ساخت کلروفیل و فعالیت‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر سنتز کربوهیدرات‌ها و در نتیجه در افزایش عملکرد گیاه نقش فراوانی دارد. عنصر روی نیز جزیی از ساختار چندین آنزیم می‌باشد و به عنوان کوفاکتور برای برخی از آنزیم‌ها مورد نیاز است. با وجود نیاز کم گیاهان به عنصر روی، فقدان این عنصر سبب می‌شود گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و سایر اعمال متابولیکی مرتبط با روی مواجه شوند. محلول‌پاشی همزمان آهن و روی

مقایسه عملکرد، وزن میوه، تعداد میوه در بوته، فنل کل، فلاونوئیدها و خاصیت آنتی‌اکسیدانی سبزیجات برگی مختلف (ریحان، چغندر، جعفری و کلم‌قرمز) در سیستم هواکشت با کشت در مزرعه نشان داد که در سیستم هواکشت گیاهان عملکرد بالاتری داشتند. (Chandra et al., 2014) مقایسه ویژگی‌های ریشی و فیزیولوژیکی به‌لیمو در دو سیستم کشت (خاک و هیدروپونیک) نشان داد که گیاهان رشد یافته در سیستم هیدروپونیک دارای وزن تر ساقه، وزن خشک ساقه، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، وزن تر کل، وزن خشک کل، تعداد برگ، طول شاخساره و وزن تر شاخساره بیشتر در مقایسه با کشت خاکی بودند (Aliniaiefard et al., 2015). در مطالعه‌ای دیگر عملکرد و تولید اسانس سنبل‌الطیب در سیستم‌های هواکشت، هیدروپونیک شناور و هیدروپونیک با بستر (مخلوط پرلیت و ورمیکولیت) با کشت خاکی مقایسه گردید. نتایج نشان داد تولید زیست توده، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و بازده اسانس در دو سیستم هیدروپونیک بیشتر از سیستم‌های هواکشت و خاکی بود (2008 Tabatabae,). در تحقیقی دیگر گیاهان دارویی اسطوخودوس، آویشن باغی و گل راعی در سیستم‌های هیدروپونیک و هواکشت با سیستم کشت خاکی درون گلخانه مقایسه شدند. شاخص‌های رشد فیزیولوژیکی در سیستم‌های هیدروپونیک و هواکشت بیشتر از کشت خاکی بود (Giurgiu et al., 2017). در تطابق با نتایج مطالعات پیشین، در مطالعه حاضر نیز گیاهان ریحان در سیستم هیدروپونیک از سطح برگ، ارتفاع بوته، وزن تر بوته و وزن خشک برگ (زی‌توده) بالاتری در مقایسه با کشت خاکی در گلخانه و کشت مزرعه‌ای برخوردار بودند.

در مقایسه بین عناصر غذایی نیز نتایج نشان داد که کاربرد روی منجر به حصول بیشترین وزن خشک برگ گردید و پس از آن کاربرد مس، آهن و بور در درجه بعدی قرار داشتند. در حالی‌که اختلاف معنی‌داری بین این عناصر وجود نداشت. بیشترین تعداد گره نیز با کاربرد بور، آهن و

با نتایج پژوهش حاضر است. به طور کلی در این مطالعه میزان فتوستت و هدایت روزنه‌ای برگ در سیستم کشت هیدروپونیک بیش تر از کشت خاکی گلخانه و به ویژه کشت مزرعه بود. به نظر می‌رسد که رطوبت نسبی بالا در گلخانه و جذب بهینه آب توسط ریشه در سیستم هیدروپونیک عامل مهمی در افزایش هدایت روزنه‌ای گیاهان باشد. هدایت روزنه‌ای مناسب و سطح بهینه عناصر غذایی در سیستم هیدروپونیک، منجر به افزایش میزان فتوستت و در نتیجه رشد و عملکرد بالاتر گیاه در سیستم هیدروپونیک می‌گردد. در کشت مزرعه‌ای و کشت خاکی گلخانه ریحان بیشترین میزان فتوستت و هدایت روزنه‌ای در محلول پاشی آهن مشاهده گردید. بنابراین دلیل عملکرد بالاتر گیاهان تیمار شده با آهن در کشت مزرعه و گلخانه خاکی، ناشی از فتوستت بالاتر آن‌ها است. علاوه بر این در کشت هیدروپونیک نیز میزان فتوستت و هدایت روزنه‌ای در محلول پاشی مس و آهن بیشتر از سایر عناصر غذایی بود. عنصر آهن در فتوستت و ساخت پروتئین‌ها نقش بسزایی داشته و در فتوسیستم‌های نوری یک و دو و کمپلکس b₆f دخالت دارد (Moradi et al., 2016). عنصر مس نیز در ساخت کلروفیل و فعالیت‌های فتوستتزی و در نتیجه در افزایش عملکرد گیاه نقش زیادی دارد. عنصر مس نه تنها در فتوستت، بلکه در ترکیب پروتئین کلروپلاست نقش داشته و کمبود آن باعث کاهش فتوستت خالص می‌شود. در کشت مزرعه بالاترین میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید در محلول پاشی آهن مشاهده گردید. در کشت خاکی گلخانه، محلول پاشی روی باعث تولید بالاترین میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید گردید. در حالی که در کشت هیدروپونیک، بالاترین میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید در محلول پاشی منگنز و آهن به دست آمد. نقش منگنز در گیاه مانند آهن می‌باشد و در تشکیل کلروفیل و واکنش‌های انتقال الکترون دخالت می‌کند.

موجب افزایش رشد گیاه ریحان تحت تنش شوری نسبت به تیمار شاهد شد (Said-Al Ahl and Abeer, 2010). محلول پاشی توت‌فرنگی رقم کاماروسا با اسیدبوریک اثر قابل توجهی بر عملکرد، وزن میوه، میزان کلروفیل و سطح برگ گیاه داشت و محلول پاشی اسیدبوریک با غلظت 100 میلی‌گرم در لیتر بهترین رشد رویشی و زایشی گیاه را فراهم کرد (Rafiei and Pak Kish, 2014). کاربرد برگ‌گی 50 میلی‌گرم در لیتر عناصر روی، منگنز و کاربرد همزمان آن‌ها باعث افزایش صفات رویشی، درصد اسانس بذر، عملکرد اسانس پیکر رویشی و بذر در زیره سبز شد. میزان کومین-آلدئید نیز به عنوان جز غالب اسانس در اسانس بذر و اسانس پیکر رویشی افزایش یافت (El-Sawi and Mohamed, 2002).

در تحقیقی دیگر محلول پاشی سولفات روی در گیاه شمعدانی عطری باعث افزایش معنی‌دار رشد رویشی، محتوای کلروفیل و پروتئین برگ‌ها و درصد و عملکرد اسانس گردید. محلول پاشی برگ‌گی آهن و روی در گیاه بابونه باعث افزایش عملکرد گل و میزان اسانس در مقایسه با تیمار شاهد شد (Nasiri et al., 2010). در مطالعه‌ای دیگر بیشترین ارتفاع گیاه، بیشترین تعداد شاخه فرعی، وزن تر و وزن خشک و اسانس ریحان با محلول پاشی آهن و روی به دست آمد (Said-Al Ahl and Mahmoud, 2010). محلول پاشی برگ‌گی روی در کشت هیدروپونیک گوجه‌فرنگی نیز باعث افزایش تعداد میوه و عملکرد گیاه گردید (Roosta and Mohsenian, 2012).

بررسی میزان فتوستت و عوامل مرتبط با آن، منجر به ایجاد درک بهتر و عمیق‌تر مکانیسم‌های مرتبط با رشد و تولید محصول می‌شود و به عنوان معیاری برای انتخاب محیط‌های مناسب کشت حائز اهمیت است. یکی از عوامل مرتبط با فتوستت، میزان تعرق است که اثرات مهمی بر گیاه دارد و یکی از اجزای مهم موازنه انرژی برگ است (Mumivand 2021a). وجود ارتباط مستقیم بین تعرق و فتوستت توسط David (2002) گزارش شده است که مطابق

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اختلاف معنی‌داری بین سیستم‌های کشت در مورد اغلب صفات مورد مطالعه مشاهده شد. گیاهان کشت شده در مزرعه از قطر طوقه، تعداد گره، تعداد برگ، وزن خشک ساقه و تعداد شاخه جانبی بالاتر و میان‌گره‌های کوتاه‌تری برخوردار بودند و تیپ رشدی فشرده و متراکم با ارتفاعی کوتاه داشتند. با این حال گیاهان ریحان کشت شده در سیستم هیدروپونیک از ارتفاع بوته، طول میانگره، وزن تر بوته، وزن خشک بوته و سطح برگ بالاتری برخوردار بودند. به دلیل بالاتر بودن میزان کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز گیاهان پرورش یافته در سیستم هیدروپونیک، عملکرد بالاتر (وزن تر و وزن خشک برگ) این گیاهان طبیعی است. علاوه بر این میزان آب و تردی گیاهان در سیستم هیدروپونیک بیشتر بود، به نحوی که در مقایسه با گیاهان مزرعه از وزن خشک ساقه کمتر و وزن خشک برگ بالاتر برخوردار بودند. بنابراین می‌توان گفت که گیاهان ریحان تولید شده در مزرعه نه تنها عملکرد کمتری داشتند بلکه حالت خشبی بوته‌ها کیفیت خوراکی آن‌ها را به عنوان سبزی کاهش داد. در مورد محلول‌پاشی عناصر کم مصرف نیز، کاربرد آن‌ها در اغلب موارد منجر به افزایش رشد و عملکرد ریحان در مقایسه با تیمار شاهد شد. کاربرد روی در هر سه سیستم منجر به حصول بالاترین وزن خشک برگ شد. در کشت مزرعه‌ای نتایج بهتری با محلول‌پاشی آهن نسبت به سایر عناصر به‌دست آمد. در کشت گلخانه‌خاکی نیز کاربرد آهن و بور نسبت به سایر عناصر اثرات مثبت بیشتری داشت. در حالی که در سیستم هیدروپونیک تفاوت کمتری بین عناصر غذایی مختلف مشاهده گردید. در مجموع، پاسخ گیاهان به محلول‌پاشی عناصر در سیستم‌های کشت مختلف، متفاوت بود. به نظر می‌رسد که تفاوت در میزان عناصر غذایی موجود در خاک مزرعه، خاک گلخانه و محلول غذایی در سیستم هیدروپونیک، عامل پاسخ متفاوت گیاهان به محلول‌پاشی عناصر در بسترهای کشت مختلف است.

منابع

- Alturkci, A., and M. Helal. 2004. Mobilization to Pb, Zn, Cu and Cd, in polluted soil. *Soil Science Journal*. 7: 1972-1980.
- Aliniaiefard, S., A. Rezaei-Nejad, M. Seifi-Kalhor, A. Shahlaei., and A. Aliniaiefard. 2010. Comparison of Soil and Perlite (with Nutrient Solution Supply) Growing Media for Cultivation of Lemon Verbena (*Lippia citriodora* var. 'Verbena'). *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*. 4: 30-33.
- Chandra, S., S. Khan, B. Avula, H. Lata, M. H. Yang, M. A. ElSohly, and, I. A. Khan. 2014. Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: A comparative study. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2014.
- David, W. 2002. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP *Annals of Botany* 89: 871-885.
- El-Sawi, S. A., and M. A. Mohamed. 2002. Cumin herb as a new source of essential oils and its response to foliar spray with some micro-elements. *Food Chemistry*. 77(1): 75-80.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., and R. B. Clark. 2002. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*. 77: 185-268.
- Farran, I., and A. M. Mingo-Castel. 2006. Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research*. 83(1): 47-53.
- Giurgiu, R. M., Morar, G., Dumitraş, A., Vlăsceanu, G., Dune, A., and F. G. Schroeder. 2017. A study of the cultivation of medicinal plants in hydroponic and aeroponic technologies in a protected environment. In *International Symposium on New Technologies and Management for Greenhouses-GreenSys2015* 1170 (pp. 671-678).
- Gashgari, R., Alharbi, K., Mughrbil, K., Jan, A., and A. Glolam. 2018. Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system. In *Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering* (pp. 1-7). Madrid, Spain: ICMIE

- Nayak, S., Nayak, D., and S. Parida. 2020. Micronutrient Foliar Spray on Growth Performance of Green Gram (*Vigna radiata* L.). *Asian Journal of Biological and Life Sciences*. 9(2): 235.
- Nistor, A., Chiru, N., Karacsonyi, D., Campeanu, G., and N. E. Atanasiu. 2009. Production of potato minitubers through hydroponic technique. *Lucrări Științifice-Universitatea de Științe Agronomice Și Medicină Veterinară București. Seria F, Biotehnologii, (Special Volume)*, 102-110.
- Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., and D. Yan. 2020. Effects of foliar fertilization: a Review of current status and future perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 1-15.
- Nooshkam, A., Mumivand, H., Hadian, J., Alemardan, A., and Morshedloo, M. R. 2017. Drug yield and essential oil and carvacrol contents of two species of *Satureja* (*S. khuzistanica* Jamzad and *S. rechingeri* Jamzad) cultivated in two different locations. *Journal of applied research on medicinal and aromatic plants*. 6: 126-130.
- Olympios, C.M. 1995. Overview of soil less culture: Advantages, constraints and perspectives for its use in Mediterranean countries. *Cahiers Options Mediterranean's*. 31: 307-324
- Paradisone, V., Landi, S., and S. Esposito. 2020. Roles of Silicon in alleviating Zinc stress in plants. *Metalloids in Plants: Advances and Future Prospects*. 355-366.
- Putra, P. A. and H. Yuliando. 2015. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 3: 283-288.
- Ramezani A., Tavallali, V., and F. Sadeghi Ghotbabadi. 2001. Greenhouse-Scientific and practical methods of greenhouse construction and plant care. Takhtejamshid publishing. 120 p. (In Farsi).
- Rafeii, S., and Z. Pakkish. 2014. Effect of Boric acid spray on growth and development of *Camarosa*'strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). 1060-1063.
- Roosta, H.R. and M. Mohsenian. 2012. Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. *Scientia Horticultura.*, 146:182-191.
- Girma, K., Martin, K.L., Freeman, K.W., Mosali, J., Teal, R.K., Raun, W.R., Moges, S.M. and D.B. Arnall. 2007. Determination of optimum rate and growth for foliar applied phosphorus in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 38: 1137-1154.
- Jatav, H.S., Sharma, L.D., Sadhukhan, R., Singh, S.K., Singh, S., Rajput, V.D., Parihar, M., Jatav, S.S., Jinger, D. and S. Kumar. 2020. An Overview of Micronutrients: Prospects and Implication in Crop Production. *Plant Micronutrients*. 1-30.
- Kannan, S. 2010. Foliar fertilization for sustainable crop production. In *Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming* (pp. 371-402). Springer, Dordrecht.
- Kumar, R., Sharma, S., Kaundal, M., Sharma, S., and M. Thakur. 2016. Response of damask rose (*Rosa damascena* Mill.) to foliar application of magnesium (Mg), copper (Cu) and zinc (Zn) sulphate under western Himalayas. *Industrial Crops and Products*. 83: 596-602.
- Lichthentaler, H.K., 1987. Chlorophyll and carotenoids-pigments of photosynthetic biomembranes, In: Colowick, SP., Kaplan, NO (ed): *Methods in Enzymology*, Vol, 148.
- Moghadam, M., Omidbeigi, R., Salimi, A., and M. R. Naghavi. 2013. An Assessment of Genetic Diversity among Iranian Populations of Basil (*Ocimum* spp.) Using Morphological Traits. *Journal of Horticultural Sciences*. 44(3): 227-243.
- Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M. R., and Shayganfar, A. 2021a. Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Industrial Crops and Products*. 164: 113381.
- Mumivand, H., Khanizadeh, P., Morshedloo, M.R., Sierka, E., Żuk-Gólaszewska, K., Horaczek, T., and H.M. Kalaji. 2021b. Improvement of Growth, Yield, Seed Production and Phytochemical Properties of *Satureja khuzistanica* Jamzad by Foliar Application of Boron and Zinc. *Plants*. 10(11): 2469.
- Nasiri, Y., Zehtab-Salmasi, S., Nasrullahzadeh, S., Najafi, N., and K. Ghassemi-Golezani. 2010. Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on flower yield and essential oil of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*. 4(17). 1733-1737.

- Tabatabaei, S.J. 2008. Effects of Cultivation Systems on the Growth, and Essential Oil Content and Composition of Valerian, *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*. 14(1-2): 54-67.
- Tripathi, D. K., Singh, S. Mishra, S., Chauhan, D. K., and N. K. Dubey. 2015. Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiologiae Plantarum*. 37(7): 1-14.
- Verdoliva, S. G., Gwyn-Jones, D., Detheridge, A., and P. Robson. 2021. Controlled comparisons between soil and hydroponic systems reveal increased water use efficiency and higher lycopene and β -carotene contents in hydroponically grown tomatoes. *Scientia Horticulturae*. 279: 109896.
- Valance J., Deniel, F., Le Floch, G., Guerin-dubrana, L., Blancard, D., and P. Rey. 2011. Pathogenic and beneficial microorganism in soilless cultures. *Agronomy for Sustainable Development*. 31(1): 191-203.
- Zheljazkov, V. D., Craker, L. E., and B. Xing. 2006. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. *Environmental and Experimental Botany*. 58(1-3): 9-16.
- Said-Al Ahl, H. A. H., and A.A. Mahmoud. 2010. Effect of zinc and/or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. *Ozean Journal of Applied Sciences*. 3(1): 97-111.
- Said-Al Ahl, H. A. H., and A. M. Abeer. 2010. Effect of zinc and / or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. *Appl. Sci. J.* 3(1): 97-111.
- Shahrajabian, M. H., Sun, W., and Q. Cheng. 2020. Chemical components and pharmacological benefits of Basil (*Ocimum Basilicum*): a review. *International Journal of Food Properties*. 23(1): 1961-1970.
- Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., and O. P. Chaurasia. 2018. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*. 17(4): 364-371.
- Tavanti, T. R., de Melo, A. A. R., Moreira, L. D. K., Sanchez dos, D. E. J., Santos Silva, R., da Silva, R. M., and A. R. Dos Reis. 2021. Micronutrient fertilization enhances ROS scavenging system for alleviation of abiotic stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*.
- Treftz, C. and S. T Omaye. 2015. Comparison between hydroponic and soil-grown strawberries: Sensory attributes and correlations with nutrient content. *Food and Nutrition Sciences*: 6(15): 1371.