

Evaluation of nutrient concentration of lettuce cultivars by different methods of nutrient solution replacement in a floating hydroponic system

H. R. Roosta^{*1} and S. Bakhtiarizadeh²

1- Corresponding author and Professor of Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran.

roosta_h@yahoo.com

2- Former M.sc. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-E-Asr University Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.

a3man2471@yahoo.com

Received Date: 2020/04/17

Accepted Date: 2021/05/12

Abstract

Introduction: Recycle and reuse nutrient solutions of closed hydroponic systems can reduce environmental problems and economic costs. It not only prevents groundwater pollution but also decreases water consumption during the growing season. Most producers discard the nutrient solution every week and use the new solution and do not have a proper strategy for replacing the used nutrient solution. Some vegetable producers analyze nutrient concentration, pH and electrical conductivity (EC) of nutrient solutions with sensors. But the use of sensors has decreased due to high costs and disruptions in operation. Adjusting the EC of nutrient solution is one of the nutrient management methods under hydroponic conditions. In this method, mineral nutrient absorbed by the plant from nutrient solution is replaced by adding mineral nutrients and the EC of the solution must be kept constant. We tested and compared the new method of nutrient replacement according to plant demand with two previous methods.

Material and methods: This experiment aimed to compare the effect of three nutrient replacement methods (complete replacement, EC based replacement, plant demand-based replacement) on a floating hydroponic system on three lettuce cultivars (Chinese lettuce, red lettuce, and Kazeroon lettuce) in a factorial experiment based on completely randomized design, in 3 replicates. Under complete nutrient solution replacement treatment, nutrient solution was replaced every 4 days. Under partial replacement according to EC, nutrient solution EC was adjusted at 2.3 ds m⁻¹ by adding predetermined amounts of potassium sulfate, calcium nitrate, magnesium sulfate, potassium dihydrogen phosphate every 48 hours. Microelements were applied to the nutrient solution every 10 days, while under treatment of partial replacement according to plant requirements, the concentration of potassium nitrate was used as a standard solution but the concentrations of calcium nitrate, magnesium sulfate, potassium dihydrogen phosphate concentration in nutrient solution were decreased to half strength. The concentrations of K were measured by a flame photometer (Jenway, model PFP7, UK). Analyses of Ca, Fe, Zn, Mn, and Cu were carried out with an atomic absorption spectrophotometer (GBC Avanta, Australia) and phosphorus concentration was determined using a spectrophotometer. Total nitrogen concentration was measured according to the Kjeldahl method and expressed as a percent of DW.

Results and discussion: The results showed that nutrient solution consumption was more than 60% lower in plant nutrition according to plant demand and EC of the nutrient solution compared to the complete replacement method. The concentration of nitrogen, potassium, and calcium in Chinese lettuce decreased under the EC control method. Leaf magnesium concentration increased in all cultivars nourished according to EC control and plant nutrient demand compared to the complete nutrient replacement method. The highest concentrations of micronutrients such as iron, zinc, and manganese were observed in the complete nutrient replacement method in all three lettuce cultivars. The results also showed that the amount of Fe and Mn in the leaf of red lettuce cultivar and zinc concentration in the leaf of Chinese lettuce and Kazeroon decreased significantly under nutrient replacement according to the EC control and plant nutrient demand.

Conclusions:

Keywords: Plant nutrition, Floating system, Lettuce, Soilless culture

بررسی غلظت عناصر غذایی ارقام کاهو با روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی در سیستم آبکشت شناور

حمیدرضا روستا^{۱*}، سمانه بختیاری‌زاده^۲

۱- استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
roosta_h@yahoo.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران.
a3man2471@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۹

چکیده

این آزمایش با هدف مقایسه اثر سه روش جایگزینی محلول غذایی (جایگزینی کامل، جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی (EC)، جایگزینی بر اساس نیاز گیاه) در سیستم هیدروپونیک شناور بر سه رقم کاهو (کاهو چینی، کاهو بادبان قرمز و کاهو کازرون)، به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا شد. نتایج نشان داد مصرف محلول غذایی در روش‌های تغذیه بر اساس نیاز گیاه و EC محلول غذایی در مقایسه با روش جایگزینی کامل بیش از ۶۰ درصد کاهش یافت. غلظت نیتروژن، پتاسیم و کلسیم در رقم کاهو چینی در شرایط جایگزینی بر اساس EC محلول غذایی کاهش یافت. بیشترین غلظت عناصر کم مصرف مانند آهن، روی و منگنز و کمترین غلظت منیزیم هر سه رقم کاهو در شرایط تغذیه بر اساس تعویض کامل محلول غذایی مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد که مقدار آهن و منگنز برگ کاهو رقم بادبان قرمز و غلظت روی در برگ ارقام کاهوی چینی و کازرون در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی و نیاز گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش غلظت عناصر غذایی در برگ‌های کاهو در شرایط تغذیه بر اساس EC باعث شد که وزن خشک بخش هوایی و ریشه در این تیمار به کمترین مقدار برسد. با توجه به نتایج این آزمایش، علی‌رغم کاهش مصرف آب و کود در روش‌های جایگزینی محلول بر اساس EC و نیاز گیاه، رشد و غلظت عناصر غذایی گیاهان رشد کرده در این سیستم‌ها نسبت به گیاهان سیستم تعویض کامل محلول غذایی کاهش یافت که ضرورت بهبود این سیستم‌ها را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: تغذیه گیاه، سبزی، کشت بدون خاک، هدایت الکتریکی

مقدمه

پرورش گیاهان به روش آبکشت در گلخانه یکی از راهکارهای مهم برای رسیدن به حداکثر محصول در حداقل زمان و با کیفیت عالی است (Ghaemi et al., 2009). اصطلاح آبکشت اولین بار توسط گریک پیشنهاد شد که او موفق گردیده بود در کالیفرنیا تولید گیاهان را در معیار تجاری بدون استفاده از خاک، از رشد اولیه تا مرحله باردهی انجام دهد (Son et al., 2016). در سال‌های اخیر تولید محصولات گلخانه‌ای در سیستم‌های آبکشت توسعه یافته است و نیاز به بازچرخش و استفاده دوباره از محلول غذایی در این سیستم‌ها برای کاهش هزینه‌های محیطی و اقتصادی در حال افزایش است. با این وجود، اطلاعات کمی در مورد روش‌های مدیریت محلول غذایی در سیستم‌های بسته آبکشت وجود دارد. برخی با توجه به تجربه‌ای که دارند کمبودها و سمیت عناصر را تشخیص داده و محلول غذایی را اصلاح می‌کنند که این روش به علت خطای در تشخیص مشکلات زیادی را ایجاد می‌کند (Stevens et al., 2002). تولیدکنندگان دیگر از روش تجزیه محلول استفاده کرده و با اندازه‌گیری مستقیم عناصر غذایی و تأمین میزان عنصر کاهش یافته محلول غذایی را اصلاح می‌کنند (Bugbee and Salisbury, 1989). البته این روش مشکلاتی مثل هزینه تجزیه محلول غذایی یا گیاه، ایجاد خطا در اندازه‌گیری به دلیل انتقال، فرایند آماده‌سازی نمونه و زمان را دارا می‌باشد (Mahler, 2000; Hartz and Hochmuth, 1996).

جذب متفاوت عناصر غذایی توسط گیاه نیز در این روش محلول‌دهی را با مشکل مواجه می‌کند. عناصر از نظر جذب به سه گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول عناصری هستند که جذب فعال داشته و در عرض چند ساعت جذب می‌شوند. گروه دوم سرعت جذب متوسط داشته و کمی سریع‌تر از آب جذب می‌شوند. گروه سوم عناصری هستند که به صورت غیرفعال جذب می‌شوند و اغلب در محلول

غذایی تجمع می‌یابند. یکی از مشکلات کنترل غلظت یون-های عناصر گروه اول (نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم) به تنهایی جلوگیری از تجمع آنها در گیاه در محدوده سمی می‌باشد. کنترل در غلظت پایین هم بسیار مشکل است. علاوه بر این خطای دستگاه‌های اندازه‌گیری بسیار بالاست (۱۰ برابر خطای دستگاه ICP-ES برای پتاسیم، فسفر و منیزیم به علت غلظت پایین آنها). البته استفاده از حسگرهای خاص هر یون و اندازه‌گیری آنلاین بهتر از روش تجزیه آزمایشگاهی است ولی گرانی و بعضاً عدم دسترسی به این نوع حسگرها استفاده از آنها را به صورت تجاری محدود کرده است (Voogt, 2002; Bar-Yosef, 2008).

روش دیگر جایگزینی محلول غذایی اندازه‌گیری EC محلول غذایی و جایگزینی عناصر جذب شده بر اساس آن است. اگرچه، به علت سرعت جذب متفاوت عناصر توسط گیاه، اندازه‌گیری EC محلول غذایی بیشتر تخمین کلسیم، منیزیم و سولفات باقی مانده در محلول غذایی بوده و عناصر کم مصرف کمتر از ۱/۰ درصد در تغییر EC شرکت می‌کنند و این مورد استفاده از EC را برای تأمین عناصر جذب شده مشکل می‌کند، همچنین اثرات متضاد و بعضاً متفاوت یون‌ها بر EC بر این مشکل می‌افزاید (Vanýsek, 2006; Shackelford, 1999). برای مثال H^+ بیشتر از OH^- باعث افزایش EC می‌شود و پتاسیم بیشتر از سدیم بر EC محلول غذایی مؤثر است.

غلظت یک سوم هوگلند هم برای جایگزینی محلول غذایی قابل استفاده است ولی ضرورتاً بهترین محلول جایگزین نیست. دو مورد در محلول جایگزین باید مد نظر قرار بگیرد: ۱- غلظت هر عنصر به تنهایی ۲- نسبت بین عناصر غذایی. بعضی معتقد به استفاده از غلظت‌های لوکس عناصر هستند که تفکر درستی نیست چون به عنوان مثال استفاده از غلظت لوکس پتاسیم باعث جذب بیش از حد آن توسط گیاه شده و کمبود کلسیم و منیزیم در گیاه ایجاد می‌شود. با توجه به جذب غیرفعال کلسیم و مقدار کم آن

کاهش می‌یابد و در نتیجه آن رشد گیاه کاهش می‌یابد (Marschner, 2012). در آزمایشی تأثیر چهار محلول غذایی (هوگلند و آرنون، ناپ، انگلستان و محلول دانشگاه تبریز) روی دو رقم کاهوی سیاهو (Sياهو) و کانکوستاندور (Conquistador) بررسی شد. نتایج نشان داد که محلول‌های غذایی مختلف تأثیر معنی‌داری بر غلظت عناصر داشتند. به طوری که بیشترین درصد ماده خشک و محتوای نیتروژن و پتاسیم برگ به ترتیب در محلول ناپ، دانشگاه تبریز و هوگلند مشاهده شد (Safaii et al., 2013). تغییر pH محلول غذایی با تغییر در مقدار و نوع کود مصرفی در محلول غذایی سبب تغییرات جذب توسط گیاه می‌گردد در نتیجه بر رشد گیاه نیز تأثیرگذار است. به طوری که استفاده از نیتروژن با منبع نیتراتی سبب افزایش pH محلول غذایی می‌گردد (Hershey, 1992). همچنین گزارش شده است که با تغییرات هدایت الکتریکی و pH محلول غذایی از طریق تغییر غلظت عناصر غذایی خصوصیات رشدی و عملکردی گیاه رز در شرایط آبکشت تغییر پیدا خواهد کرد و با افزایش pH جذب عناصر پتاسیم و کلسیم با اختلال مواجه گردید که گیاهان کمبود پتاسیم از خود نشان دادند (Kim et al., 2005). در یک آزمایش اثر فیزیولوژیکی محلول غذایی و تغییرات EC و pH بر چهار گیاه گوجه‌فرنگی، فلفل، کلم بروکلی و ریحان مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش میزان جذب عناصر غذایی و واکنش آن‌ها به تغییرات EC محلول غذایی و pH در گیاهان مختلف متفاوت بود. به طوری که بیشترین میزان جذب عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی و فلفل و کمترین جذب در گیاهان کلم بروکلی و ریحان مشاهده شد (Wortman, 2015). بنابراین هدف از انجام این آزمایش مقایسه غلظت عناصر غذایی گیاه کاهو در سه روش جایگزینی محلول غذایی مصرف شده بود.

در میوه در محلول جایگزین غلظت این عنصر باید کاهش یابد چون تجمع ۱۰ برابری این عنصر در سیستم‌های بسته آبکشت گزارش شده است. مرحله رشد گیاه نیز باید مد نظر باشد. در فلفل مرحله نونهالی و رشد رویشی محلول جایگزین خاص مرحله رویشی نیاز داشته در صورتی که در مرحله زایشی نیاز به محلول خاص مرحله زایشی است. غلظت عناصر در رطوبت پایین محیط (به علت تعرق بالای گیاه و جذب آب بیشتر) و اواخر چرخه رشد (نیاز کمتر ساقه و میوه به عناصر در مقایسه با برگ) پایین‌تر در نظر گرفته می‌شود. قسمتی از نیتروژن (حدود ۵۰ درصد) با افزودن اسید نیتریک برای کنترل pH محلول غذایی تامین می‌شود و می‌تواند کمتر از غلظت آن در محلول هوگلند در نظر گرفته شود (Bugbee and Salisbury, 1985). کاربرد پتاسیم تقریباً ثابت بوده و در محلول جایگزین غلیظ‌تر از محلول شروع‌کننده می‌باشد. کاربرد کلسیم، منیزیم و گوگرد در انتهای چرخه رشد کاهش می‌یابد زیرا در میوه کمتر مورد نیاز هستند. در صورت استفاده از کلات آهن (Fe-EDDHA) غلظت پایین برای محلول جایگزین باید در نظر گرفته شود. نسبت رشد گیاه به تعرق گیاه (۲۰۰ تا ۴۰۰ لیتر آب به ازای یک کیلوگرم زیست توده) در محاسبه غلظت محلول جایگزین مهم است و ترکیب آن با اندازه-گیری روزانه هدایت الکتریکی محلول می‌تواند نتیجه دقیق‌تری داشته باشد (Bugbee, 2004). آزمایش‌ها نشان داده است که اگرچه گیاه عناصر متحرک را در اندام‌های خود ذخیره کرده و در صورت نیاز به مرور در اختیار بافت-ها قرار می‌دهد، ولی جایگزینی مداوم محلول جذب شده بهتر از کاربرد غلظت بالای محلول شروع کننده بدون جایگزینی است (Bugbee, 2004).

امروزه ارتباط بین غلظت عناصر غذایی با کیفیت محصول به خوبی مشخص شده و در این زمینه تحقیقات زیادی نیز انجام شده است (Khoshgoftarmanesh, 2010). میزان جذب کلسیم و پتاسیم به دلیل تجمع زیاد بعضی از عناصر غذایی مانند کلر و سدیم در محلول‌های غذایی

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان مجهز به سیستم گرمایش و سرمایش هوا ساز و لامپ LED سفید (۲۰۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) به منظور بررسی اثر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر غلظت عناصر غذایی در سه رقم کاهو در سیستم کشت شناور به صورت فاکتوریل با دو فاکتور روش جایگزینی محلول غذایی (جایگزینی کامل، جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی و جایگزینی بر اساس نیاز گیاه) و رقم (کازرون، بادبان قرمز و کاهوی چینی بیکلو FI) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در پاییز سال ۱۳۹۶ انجام شد.

بدور سه رقم کاهوی کازرون (نوعی کاهوی پیچ)، بادبان قرمز (کاهو برگ) و کاهوی چینی (نوعی کاهوی پیچ) درون گلدان‌های یونولیتی حاوی بستر پرلایت با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۵ (ارتفاع × طول × عرض) کشت شدند. بذرها پس از سه روز شروع به جوانه زنی کردند. در هفته اول بذرها هر روز در دو نوبت صبح و عصر با ۲۰۰ میلی لیتر (به ازای هر گلدان) آب مقطر آبیاری شدند. با شروع هفته دوم ۲۰۰ میلی لیتر محلول غذایی نیم غلظت هوگلند و آرنون (Hoagland and Arnon, 1950) جایگزین آب شد. ۲۸ روز پس از جوانه زنی بذور، وقتی گیاهچه‌های جوان چهار برگ حقیقی داشتند، نشاءها به گلدان‌های پلاستیکی مشبک ۲۵ میلی لیتری حاوی پرلایت انتقال داده شده و این گلدان‌های کوچک در منافذ یونولیت شناور بر روی محلول غذایی قرار داده شدند. بلافاصله پس از انتقال نشاء، جهت جلوگیری از خشک شدن محیط ریشه تا گسترده شدن ریشه‌ها، گلدان‌ها به صورت دستی از بالا محلول دهی شد. طی مدت رشد گیاهان کاهو دمای گلخانه با پوشش شیشه-ای روی ۲۳ درجه سلسیوس در روز و ۱۸ درجه سلسیوس در شب، دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی ۵۵±۵ درصد و شدت نور ۲۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه تنظیم شده بود. بعد از انتقال

گیاهان به سیستم شناور از محلول غذایی مخصوص کاهو استفاده شد (جدول ۱). سیستم شناور شامل ۲۷ ظرف پلاستیکی مربعی شکل به ابعاد ۳۰×۳۰×۲۵ سانتی متر با رنگ آبی تیره بود که بر روی هر ظرف، یونولیت با ابعاد ۳۰×۳۰×۵ سانتی متر شناور بود و ۴ گیاه در هر ظرف کشت شد. تمامی ظروف کشت از طریق شیلنگ‌های رابط به پمپ هوا (HAILA, Model: ACO-388 D) متصل بودند و به صورت ۲۴ ساعت هوادهی محلول غذایی صورت می‌گرفت.

روش‌های مختلف تامین محلول غذایی

محلول غذایی به سه روش جایگزینی کامل، جایگزینی بر اساس EC و جایگزینی بر اساس نیاز گیاه تأمین شد که هدایت الکتریکی اولیه یا EC اولیه برای تمامی تیمارها با توجه به منابع کودی مورد استفاده روی ۲/۳ دسی‌زیمنس بر متر تنظیم گردید.

الف) در تیمار جایگزینی کامل محلول غذایی هر چهار روز یک‌بار زمانی که هدایت الکتریکی محلول از ۲/۳ به دامنه ۲/۷۵ الی ۳/۰۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسید، محلول غذایی تعویض می‌گردید. حسن این روش آسان بودن استفاده و عدم تجمع عناصر کند جذب شونده است، و عیب آن هدر رفت آب و کود و آلودگی زیست‌محیطی است.

ب) در روش جایگزینی بر اساس EC با اضافه کردن میزان لازم (نسبت‌های ثابت عناصر طبق فرمول غذایی اولیه) از عناصر پرمصرف (نترات پتاسیم، نترات کلسیم، سولفات منیزیم و پتاسیم‌دی‌هیدروژن فسفات) و عناصر کم مصرف (آهن، مس، روی و منگنز) با توجه به میزان محلولی که مصرف شده، آب و استوک عناصر غذایی ذکر شده تهیه و به محلول باقی مانده درون ظروف اضافه می‌شد تا دامنه هدایت الکتریکی محلول به ۲/۳ dS/m برسد. عیب این روش این است که چون بر اساس منابع علمی جذب

بر اساس حجم آب اضافه شده به مخزن محلول غذایی اضافه شد. برای مثال اگر در طول دو روز یک لیتر محلول توسط گیاه کاهو جذب می‌شد، ابتدا یک لیتر آب مقطر برای جبران آن به ظرف گیاه اضافه می‌شد و مقدار لازم از محلول غلیظ کودهای مختلف برای این یک لیتر بر اساس فرمول اصلی مشخص می‌شد و بجای استفاده کامل، محلول‌های غلیظ با نسبت مشخص شده در بالا به کار می‌رفت. دلیل این کار جلوگیری از تجمع عناصری مثل منیزیوم، کلسیم، فسفر و حتی عناصر کم مصرف در محلول و سمیت آنها برای گیاه بود، زیرا بر اساس منابع سرعت جذب آنها پایین‌تر از پتاسیم و نیترات است. منابع کودی پرمصرف استفاده شده در این تحقیق که در جدول ۱ ذکر شده است از شرکت پارس اکسید شیراز تهیه گردید و عناصر کم مصرف مانند بوریک اسید، سولفات منگنز، سولفات روی، سولفات مس و مولیبدات آمونیوم از کودهای شرکت مرک آلمان استفاده شد.

عناصری مثل منیزیوم، کلسیم، فسفر و عناصر کم مصرف کندتر از عناصر نیتروژن و پتاسیم است، کاربرد غلظت محلول جایگزین برای همه عناصر بر اساس فرمول اولیه محلول و بدون کاهش غلظت عناصر کند جذب شونده باعث تجمع این عناصر در محلول و در نتیجه عدم تعادل عناصر و حتی سمیت می‌شود. اگرچه این روش به دلیل آسان بودن اتوماسیون و با استفاده از سنسور EC متر و پمپ‌های تزریق در گلخانه‌های امروزی استفاده می‌شود. (ج) در تیمار جایگزینی بر اساس نیاز گیاه (روش ابداعی توسط محقق) که از روند جذب عناصر توسط گیاه کاهو بر اساس منابع علمی حاصل شد، نیترات پتاسیم با غلظت استفاده شده در محلول اصلی و به‌طور کامل مورد استفاده قرار گرفت ولی میزان مصرف نیترات کلسیم، سولفات منیزیوم و پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات به نسبت سه چهارم (۷۵ درصد) مصرف شد و عناصر کم مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) به نصف کاهش یافت و هر دو روز یکبار

جدول ۱- محلول غذایی استفاده شده در آزمایش.

Table 1-Nutrient solution used in the experiment.

نوع کود Fertilizer	غلظت محلول پایه (گرم در لیتر) Stock (g/L)	میزان مصرف براساس تعویض کامل محلول غذایی (میلی‌لیتر بر لیتر) Used for total replacement (mL/L)	میزان مصرف براساس نیاز گیاه (میلی‌لیتر بر لیتر) Used for replacement based on the plant demand (mL/L)
نیترات کلسیم $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	458	2	1.5
نیترات پتاسیم KNO_3	523	1	1
دی‌هیدروژن مونوفسفات KH_2PO_4	208	1	0.75
سولفات منیزیوم MgSO_4	250	1	0.75
بوریک اسید H_3BO_3	2.54		
سولفات منگنز MnSO_4	1.20		
سولفات روی ZnSO_4	1.30	1	0.5
سولفات مس CuSO_4	0.256		
مولیبدات آمونیوم $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	1.23		
سکوسترین آهن (۶ درصد) Fe-EDDHA	10	1	0.5

رقم بادبان قرمز گیاهان از بستر خارج شده و به ۲ بخش اندام هوایی و ریشه تقسیم شدند و پس از شستشوی ریشه، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس خشک

پس از گذشت ۵۰ روز از کشت بذور و انتقال نشا کاهو به ظروف حاوی محلول غذایی و پس از کامل شدن سر در کاهو کازرونی و کاهوی چینی و بالغ شدن تمامی برگ‌های

شده و با استفاده از ترازو هرکدام جداگانه توزین گردید.

اندازه‌گیری عناصر معدنی

عناصر غذایی که در این آزمایش اندازه‌گیری شدند شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس در برگ گیاهان کاهو بود. برای تهیه عصاره ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه خشک‌شده و آسیاب شده برگ‌های گیاهان کاهو را وزن کرده و سپس در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت قرار گرفت تا نمونه‌ها تبدیل به خاکستر شدند و سپس ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال به هر نمونه اضافه گردید و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس این عصاره به‌طور مستقیم جهت اندازه‌گیری پتاسیم استفاده شد. اندازه‌گیری فسفر به روش آمونیوم مولیبدات و آمونیوم وانادات (زرد) انجام گرفت و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd) در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Chapman and Pratt, 1961). غلظت عناصر، آهن، مس، منگنز و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی (GBC-Avanta-PM, Australia) و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (PFP7, Germany) اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن از دستگاه کجلدال استفاده شد (Bremner and Mulvaney, 1982).

به‌منظور اندازه‌گیری کلسیم که به روش تیتراسیون انجام شد، پنج میلی‌لیتر از عصاره تهیه‌شده به‌وسیله آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس ۵ قطره سود (هیدروکسید سدیم) ۴ نرمال به آن اضافه شد و حدود ۰/۵ گرم مخلوط پودر موروکسید (معرف آمونیوم پورپورات) و سولفات پتاسیم (مخلوط ۰/۵ گرم گرد موروکسید با ۱۰۰ گرم سولفات پتاسیم) به آن افزوده شد و به‌خوبی هم زده شد تا رنگ قرمز-نارنجی به خود گرفت سپس با EDTA (۱/۸۶) گرم EDTA-Na به همراه ۰/۵ گرم $OMgCl_2H_2$ در یک لیتر آب حل شد) عمل تیتراسیون

صورت گرفت تا تغییر رنگ عصاره از قرمز نارنجی به ارغوانی تغییر کرد. سپس میزان کلسیم از طریق فرمول زیر محاسبه گردید.

(رابطه ۱)

$$Ca^{2+} \left(\frac{meq}{l} \right) = \frac{(ml\ EDTA \times N\ EDTA)}{(ml\ Extract)} \times 100$$

mL EDTA = میلی‌لیتر EDTA تیترا شده، N EDTA =

نرمالیه EDTA، ml Extract = حجم عصاره گیاهی (میلی‌لیتر).

برای اندازه‌گیری منیزیم که با روش کمپلکسومتری اندازه‌گیری شد، پنج میلی‌لیتر از عصاره با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس ۱۰ قطره بافر آمونیوم کلرید و چهار قطره اریوکروم بلک‌تی به آن افزوده شد. سپس با EDTA تیترا شد تا حدی که از رنگ قرمز به رنگ آبی یا سبز تبدیل گردید. سپس غلظت منیزیم با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Klute et al., 1986).

(رابطه ۲)

$$Mg^{2+} \left(\frac{meq}{l} \right) = \frac{(ml\ EDTA \times N\ EDTA)}{(ml\ Extract)} \times 1000$$

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS.9.1 تجزیه شد و همچنین به منظور انجام محاسبات آماری و رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل (نسخه ۲۰۱۳) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD (حداقل تفاوت معنی‌دار) در سطح احتمال پنج درصد تجزیه آماری شدند.

نتایج و بحث

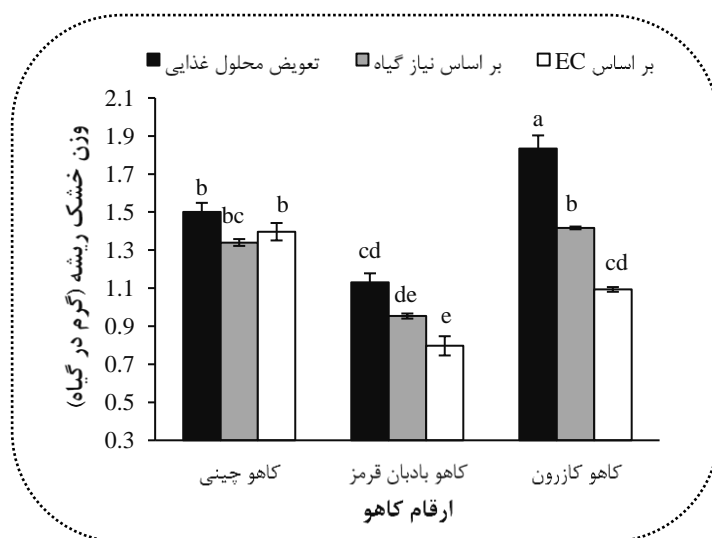
نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه گیاه در گیاهان تغذیه‌شده به روش تعویض کامل محلول غذایی مشاهده گردید و کمترین وزن خشک ریشه در گیاهانی که بر اساس EC تغذیه شده بودند،

مشاهده شد (شکل 1). وزن خشک ریشه در روش جایگزینی محلول غذایی بر اساس نیاز گیاه بیشتر از وزن خشک ریشه در روش تغذیه بر اساس EC محلول غذایی بود. نتایج همچنین نشان داد که رقم کازرون از بیشترین وزن خشک ریشه در هر سه روش جایگزینی محلول غذایی برخوردار بود و کمترین وزن خشک ریشه در رقم کاهو بادبان قرمز مشاهده شد.

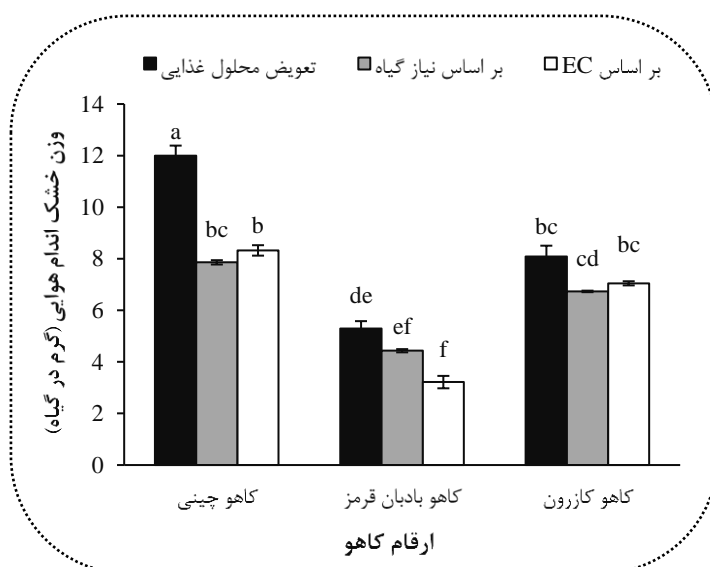
همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است وزن خشک اندام هوایی رقم کاهو چینی در شرایط تغذیه بر اساس EC و نیاز گیاه در مقایسه با روش تعویض محلول غذایی به ترتیب حدود ۲۶/۳ و ۱۷/۷ درصد کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد که وزن خشک اندام هوایی رقم کاهوی کازرون در شرایط تغذیه بر اساس EC و نیاز گیاه به ترتیب حدود ۴۵/۳ و ۲۹/۲ درصد در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با روش تعویض محلول غذایی کاهش یافت در حالی که وزن خشک اندام هوایی رقم کاهوی بادبان قرمز در شرایط تغذیه بر اساس EC حدود ۲۴/۵ درصد نسبت به روش تعویض محلول غذایی کاهش یافت ولی وزن خشک اندام هوایی این رقم در شرایط تغذیه بر اساس نیاز گیاه تفاوتی با شرایط تعویض محلول غذایی نداشت (شکل 2).

بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی تأثیر قابل توجهی بر صفات رویشی گیاه کاهو (وزن خشک اندام هوایی و ریشه) داشت، به طوری که تمام ارقام کاهو مورد بررسی در این آزمایش که به روش تعویض کامل محلول غذایی تغذیه شده بودند از بیشترین شاخص‌های رشد برخوردار بودند و شاخص‌های رشد در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی به طور قابل توجهی کاهش یافت و در این بین تغذیه گیاهان بر اساس نیاز گیاه از شاخص‌های رشدی بهتری در مقایسه با روش تغذیه بر اساس EC محلول غذایی برخوردار بودند. کاهش شاخص‌های رشدی در شرایط تغذیه بر اساس EC را می‌توان به تغییر در مقدار

عناصر غذایی محیط اطراف ریشه نسبت داد که می‌تواند بر میزان جذب عناصر غذایی و رسوب عناصر غذایی در محلول غذایی تأثیر بگذارد. در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی و نیاز گیاه غلظت عناصر غذایی با اضافه کردن برخی عناصر برای حفظ EC محلول غذایی سبب تغییر در تعادل عناصر غذایی می‌گردد (Burns, 1992)، در صورتی که در شرایط تعویض کامل محلول غذایی به دلیل تعادل مناسب عناصر غذایی در اطراف ریشه فعالیت ریشه بیشتر می‌باشد (Zhang *et al.*, 2006). تغییر در تعادل و توازن کاتیونی و آنیونی در بافت گیاه به دلیل تغییر در غلظت عناصر غذایی و EC محلول غذایی سبب کاهش رشد گیاه می‌گردد (Mohammadian *et al.*, 2016). در یک بررسی روی گیاه فلفل در ارتباط با روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی نشان داده شد که شاخص‌های رشدی گیاه فلفل نظیر ارتفاع، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی در گیاهان تغذیه شده بر اساس تعویض کامل محلول غذایی هر چهار روز یکبار از بیشترین مقدار صفات رویشی برخوردار بودند. گیاهانی که بر اساس EC تغذیه شده بودند از کمترین مقدار صفات رویشی برخوردار بودند (Mohammadian *et al.*, 2016) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. بر اساس نتایج تحقیقات حاضر کاهش در شاخص‌های رشد ارقام کاهو در شرایط تغذیه بر اساس نیاز گیاه و یا بر اساس EC را می‌توان به کاهش غلظت عناصر غذایی نظیر پتاسیم و نیتروژن نسبت داد که به طور معنی‌داری سبب کاهش شاخص‌های رشدی می‌گردد. علی‌رغم اینکه غلظت برخی از عناصر در محلول غذایی در شرایط تغذیه بر اساس EC و نیاز گیاهی نسبت به روش تعویض کامل محلول غذایی بیشتر است احتمالاً عدم تعادل عناصر غذایی باعث کاهش رشد شده است. در یک بررسی در ارتباط با تغییرات غلظت عناصر معدنی مشخص شد که تغییر عناصر غذایی سبب کاهش شاخص‌های رشدی گیاه کاهو گردید و کاهش در شاخص‌های رشدی گیاه کاهو را به کاهش غلظت عناصر



شکل ۱- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر وزن خشک ریشه سه رقم کاهو در سیستم کشت شناور
 Fig 1- The effect of nutrient solution replacement method on the root dry weight of three lettuce cultivars in floating culture system.



شکل ۲- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر وزن خشک اندام هوایی سه رقم کاهو در سیستم کشت شناور
 Fig 2- The effect of nutrient solution replacement method on the shoot dry weight in three lettuce cultivars in floating culture system.

غذایی مشاهده شد. غلظت نیتروژن برگ رقم کاهو چینی، کاهو بادبان قرمز و کاهو کازرون در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی به ترتیب حدود ۴۲/۵، ۳۴/۳ و ۱۹/۷ درصد نسبت به روش تغذیه بر اساس تعویض محلول غذایی کاهش یافت. تفاوت معنی‌داری بین ارقام کاهو چینی، کاهو بادبان قرمز و کاهو کازرون تغذیه شده بر اساس

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، غلظت نیتروژن برگ در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثرات ساده روش‌های جایگزینی محلول غذایی و رقم و اثر متقابل بین روش‌های جایگزینی محلول غذایی و رقم قرار گرفت. بیشترین و کمترین غلظت نیتروژن برگ به ترتیب در گیاهان تغذیه شده به روش تعویض کامل و بر اساس EC محلول

بیشترین و کمترین غلظت کلسیم برگ به ترتیب در گیاهانی که بر اساس تعویض محلول غذایی در رقم کاهو چینی و بر اساس EC محلول غذایی در رقم کاهو کازرون، تغذیه شده بودند، مشاهده گردید (شکل ۴). غلظت کلسیم رقم کاهو چینی در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی و نیاز گیاه در مقایسه با روش تعویض کامل محلول غذایی کاهش یافت در حالی که غلظت کلسیم کاهو بادبان قرمز در شرایط تغذیه بر اساس نیاز گیاه بیشترین مقدار بود. نتایج همچنین نشان داد که غلظت کلسیم برگ در رقم کازرون در شرایط تعویض کامل محلول غذایی و نیاز گیاه تفاوتی نداشت ولی در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی کاهش یافت.

نیاز گیاه مشاهده نشد و غلظت نیتروژن در تمام ارقام در روش تغذیه بر اساس نیاز گیاه بیشتر از روش تغذیه بر اساس EC محلول غذایی بود (شکل ۱).

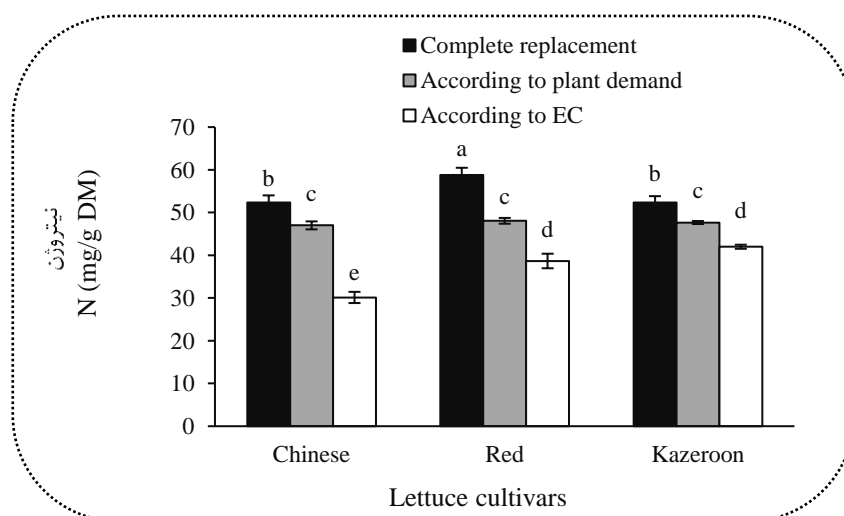
نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که غلظت پتاسیم برگ در شرایط تغذیه با محلول غذایی بر اساس EC و نیاز گیاه در مقایسه با روش تعویض محلول غذایی به ترتیب حدود ۸/۵ و ۷/۳ درصد کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد که بین گیاهان تغذیه شده بر اساس EC و نیاز گیاه از نظر غلظت پتاسیم برگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲). رقم کاهو چینی از بیشترین غلظت پتاسیم برگ برخوردار بود و تفاوت معنی‌داری در غلظت پتاسیم برگ در بین ارقام کاهو بادبان قرمز و کاهو کازرون وجود نداشت (شکل ۳).

جدول ۲- اثر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر غلظت عناصر پر مصرف برگ سه رقم کاهو در سیستم کشت شناور

Table 2- The effect of nutrient solution replacement methods (NSRM) on the concentration of macronutrients in three lettuce cultivars in floating culture system

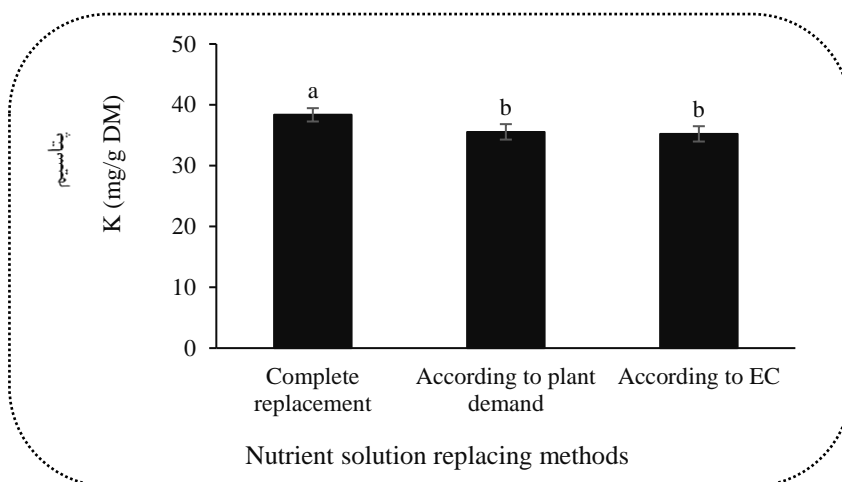
Sources of variation	Maen squares				
	df	N	K	Ca	Mg
NSRM(N)	2	7.04**	0.27**	0.07**	0.03*
Variety (V)	2	0.71**	0.64**	0.12**	2.33**
N×V	4	0.42**	0.08 ^{ns}	0.02**	0.01 ^{ns}
Error	18	0.052	0.05	0.004	0.01
C.V.(%)		4.94	6.10	4.01	5.27

ns, ** and * means no significant differences, significant at the 1 and 5 % probadility level, respectively.



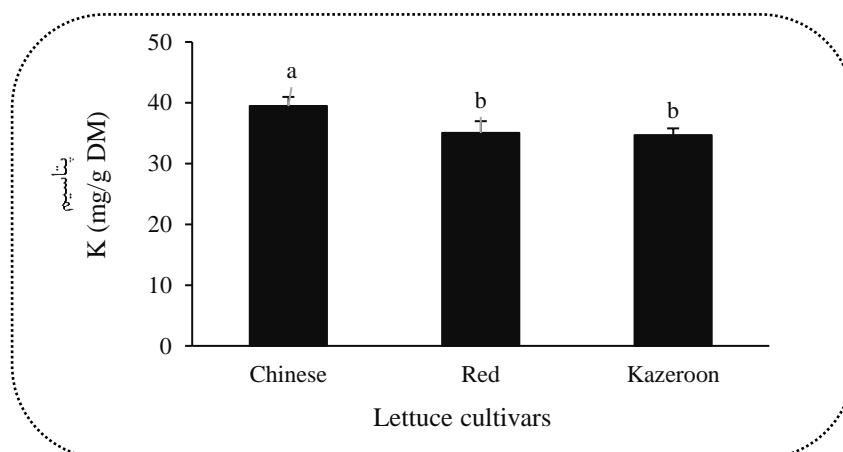
شکل ۱- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر غلظت نیتروژن برگ سه رقم کاهو

Fig 1- The effect of nutrient solution replacement method on the leaf nitrogen concentration of three lettuce cultivars



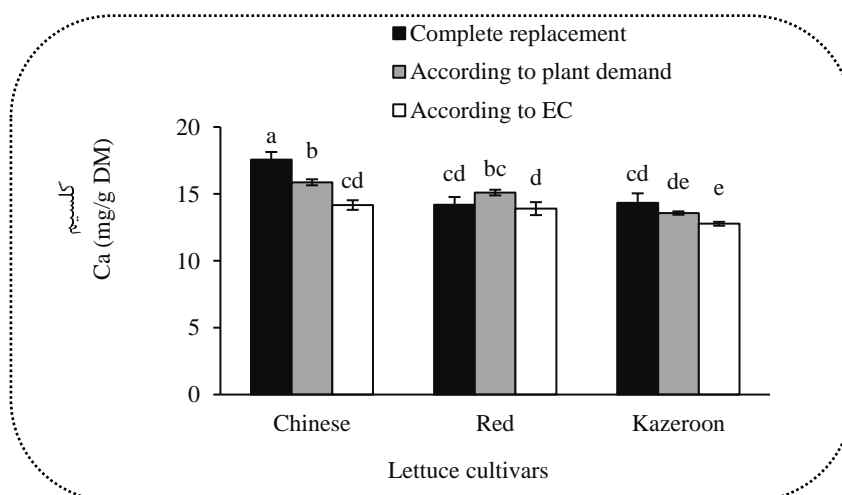
شکل ۲- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر غلظت پتاسیم برگ کاهو

Fig 2- The effect of nutrient solution replacement method on the concentration of potassium in lettuce leaf



شکل ۳- غلظت پتاسیم برگ در سه رقم کاهو در سیستم کشت شناور

Fig 3- The concentration of potassium of three lettuce cultivars in floating culture system

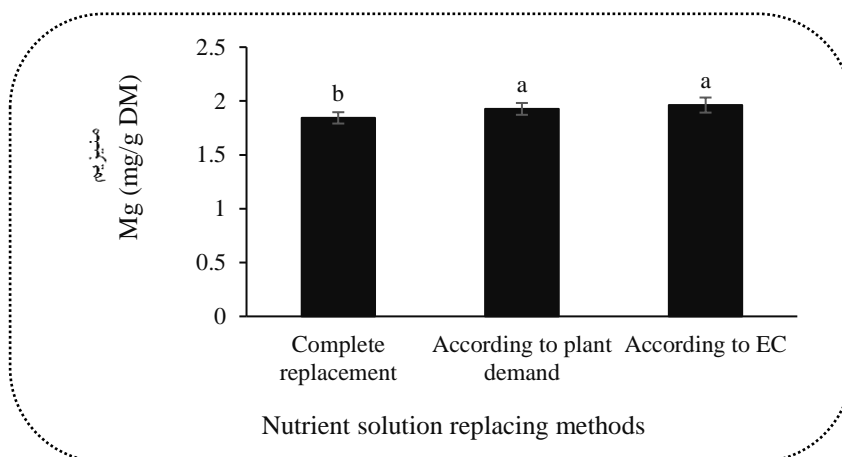


شکل ۴- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر غلظت کلسیم برگ سه رقم کاهو

Fig 4- The effect of nutrient solution replacement method on the concentration of calcium in three lettuce cultivars

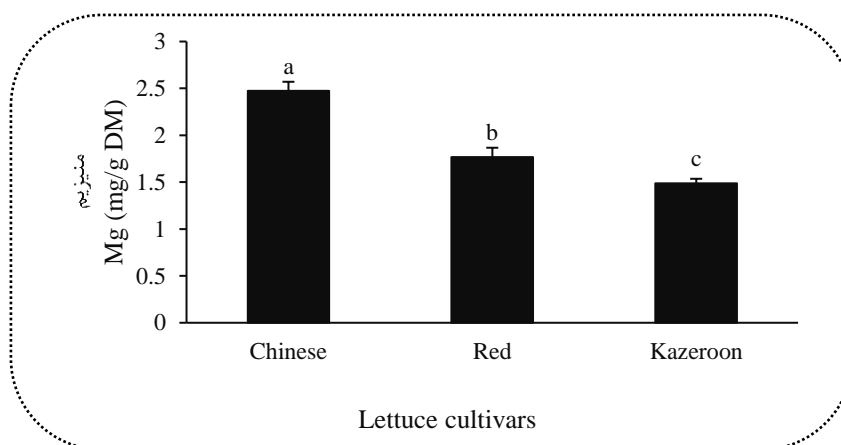
نداشت (شکل ۵). غلظت منیزیم برگ رقم کاهو چینی از ارقام کاهوی بادبان قرمز و کاهو کازرون به ترتیب حدود ۲۹ و ۴۰ درصد بیشتر بود (شکل ۶).

نتایج نشان داد که غلظت منیزیم برگ در شرایط تغذیه بر اساس تعویض محلول غذایی از کمترین مقدار برخوردار است و بین تیمارهای تغذیه بر اساس EC و بر اساس نیاز گیاه تفاوت معنی داری از نظر غلظت منیزیم برگ وجود



شکل ۵- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر غلظت منیزیم برگ کاهو در سیستم کشت شناور

Fig 5- The effect of nutrient solution replacement method on the concentration of magnesium in lettuce leaf



شکل ۶- غلظت منیزیم برگ در سه رقم کاهو

Fig 6- The concentration of magnesium in the leaf of three lettuce cultivars

جدول ۳. اثر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر غلظت عناصر کم مصرف برگ سه رقم کاهو در سیستم کشت شناور

Table 3. The effect of nutrient solution replacement methods (NSRM) on the concentration of micronutrients in three lettuce cultivars in floating culture system

Sources of variation	df	Mean squares				
		Fe	Mn	Zn	Cu	B
NSRM (N)	2	1777**	154**	84.3**	1.62 ^{ns}	0.15 ^{ns}
Variety (V)	2	922**	20.3**	70.37**	0.30 ^{ns}	0.02 ^{ns}
N×V	4	54.7**	16.4*	15.04**	3.15 ^{ns}	3.15 ^{ns}
Error	18	1.82	10.2	3.11	0.77	0.77
C.V.(%)		11.78	6.31	5.06	5.50	10.71

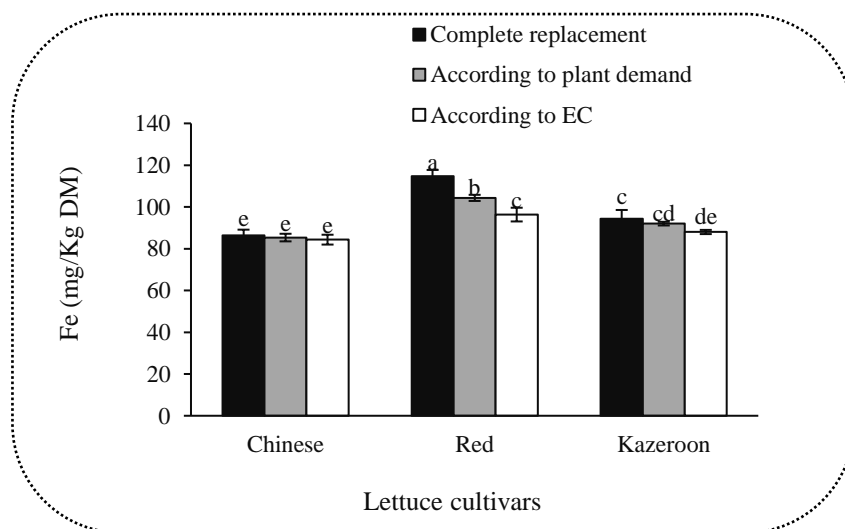
ns, ** and * means no significant differences, significant at the 1 and 5 % probadility level, respectively.

تغذیه با محلول غذایی بر اساس EC محلول غذایی به ترتیب حدود ۲۳ و ۲۰/۵ درصد نسبت به روش تغذیه بر اساس تعویض کامل محلول غذایی کاهش یافت ولی در رقم کاهوی بادبان قرمز این تفاوت معنی دار نبود. نتایج همچنین حاکی از آن بود که بیشترین غلظت عنصر روی مربوط به رقم کاهو چینی تغذیه شده بر اساس تعویض کامل محلول غذایی و کمترین غلظت روی مربوط به رقم کاهوی کازرون تغذیه شده بر اساس EC محلول غذایی بود (شکل ۸).

همان طور که در شکل ۹ نشان داده شده است غلظت منگنز برگ سه رقم کاهو در شرایط تغذیه بر اساس نیاز گیاه در مقایسه با روش تعویض کامل محلول غذایی کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد که غلظت منگنز برگ رقم کاهو چینی علاوه بر گیاهان تغذیه شده بر اساس نیاز گیاه در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی نیز نسبت به روش تعویض محلول غذایی کامل کاهش یافت ولی تفاوت معنی داری از لحاظ غلظت منگنز برگ کاهو بادبان قرمز و کاهو کازرون بین گیاهان تغذیه شده بر اساس تعویض محلول غذایی و EC مشاهده نشد (شکل ۹).

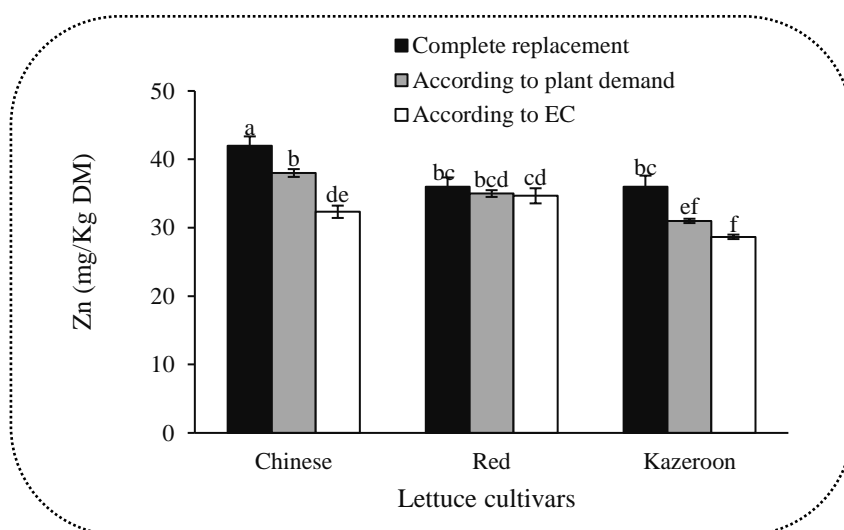
همان گونه که جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) مربوط به غلظت آهن برگ نشان می‌دهد اثر ساده روش‌های جایگزینی محلول غذایی، رقم و اثر متقابل بین روش‌های جایگزین محلول غذایی و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت آهن برگ در رقم کاهو بادبان قرمز که به روش تعویض محلول غذایی تغذیه شده بود مشاهده گردید و غلظت آهن برگ رقم کاهو بادبان قرمز که بر اساس EC محلول غذایی و نیاز گیاه تغذیه شده بودند به ترتیب حدود ۱۶ و ۹ درصد نسبت به گیاهانی که به روش تعویض کامل محلول غذایی تغذیه شده بودند کاهش یافت. نتایج همچنین حاکی از آن بود که در هر سه روش تغذیه کمترین غلظت آهن برگ مربوط به رقم کاهوی چینی بود، اگرچه روش‌های جایگزینی محلول غذایی در این رقم تأثیری بر غلظت آهن برگ نداشتند. همچنین تفاوت معنی داری بین روش تغذیه بر اساس نیاز گیاه و تعویض کامل محلول غذایی در رقم کاهوی کازرون از نظر غلظت آهن برگ وجود نداشت (شکل ۷).

همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، غلظت عنصر روی برگ رقم کاهو چینی و کاهو کازرون در شرایط



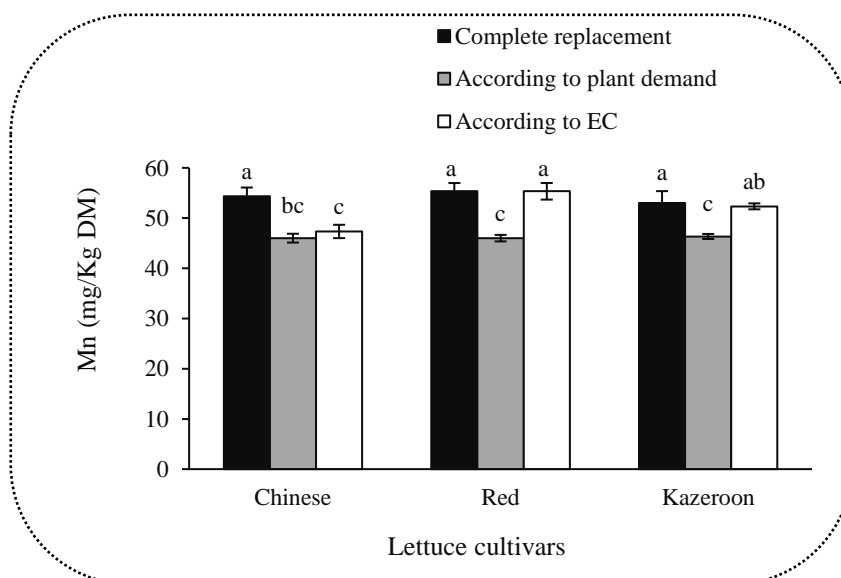
شکل ۷- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر غلظت آهن در برگ سه رقم کاهو

Fig 7- The effect of nutrient solution replacement method on the leaf iron concentration of three lettuce cultivars



شکل ۸- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر غلظت روی برگ در سه رقم کاهو

Fig 8- The effect of nutrient solution replacement method on leaf zinc concentration of three lettuce cultivars



شکل ۹- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر غلظت منگنز برگ در سه رقم کاهو در سیستم کشت شناور

Fig 9- The effect of nutrient solution replacement method on the concentration of manganese of three lettuce cultivars in floating culture system

رطوبت) محاسبه شود. در نظر گرفتن همه فاکتورهای فوق در محاسبه فرمول غذایی بسیار پیچیده و مستلزم دانش فنی و الگوریتم پیچیده‌ای است (Roosta, 2016). از آنجایی که نیاز گیاهان به مواد غذایی در مراحل مختلف متفاوت می‌باشد بنابراین لازم است تا غلظت عناصر غذایی در طی دوره رشد تغییر کند هر چند پاسخ ارقام به این تغییرات متفاوت است (Kaya et al., 2001).

در سیستم‌های تولیدی به روش آبکشت، عناصر غذایی به صورت محلول در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. غلظت کل، غلظت هر یک از عناصر غذایی، نسبت عناصر غذایی و اسیدیته محیط از جمله مهمترین فاکتورهای تعیین کننده در محاسبه فرمول غذایی گیاهان است (Roosta, 2016). فرمول غذایی نیز باید متناسب با نوع گیاه، رقم گیاه، مرحله رشد گیاه، سیستم آبیاری و شرایط اقلیمی (نور، حرارت و

آب و مواد غذایی در گل رز گردید. کاهش در غلظت عناصر غذایی در شرایط تغذیه بر اساس EC را می‌توان به تغییر غلظت تک تک عناصر در محلول غذایی با اضافه کردن برخی از عناصر غذایی و به هم خوردن تعادل عناصر غذایی به دلیل جذب متفاوت عناصر توسط گیاه و تجمع عناصری مثل منیزیم در محلول غذایی نسبت داد که می‌تواند سبب رسوب برخی از عناصر و عدم جذب عناصر توسط ریشه گیاه گردد (Roosta, 2016). همچنین آنها نشان دادند که کاهش و افزایش pH محلول غذایی جذب عناصر نظیر پتاسیم، فسفر و نیتروژن را دچار اختلال کرد و در نهایت مقدار عناصر در بافت گیاه رز را کاهش داد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد که مقدار منیزیم برگ در شرایط تغذیه بر اساس EC و نیاز گیاه در مقایسه با روش تعویض کامل محلول غذایی افزایش یافت که این افزایش در مقدار منیزیم را می‌توان به تجمع منیزیم در محلول غذایی به دلیل نیاز کمتر گیاه نسبت داد. در این رابطه طی بررسی روی گیاه توت‌فرنگی مشخص شد که با افزایش غلظت منیزیم در محلول غذایی مقدار منیزیم برگ نیز افزایش یافت که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد (Regagba et al., 2014).

بر اساس نتایج تحقیق حاضر ارقام مختلف به شرایط مختلف محلول غذایی واکنش متفاوتی نشان دادند هر چند که بیشترین غلظت عناصر برگ محلول غذایی گیاه در شرایط تغذیه بر اساس تعویض محلول غذایی مشاهده گردید، به نظر می‌رسد که کاهوی رقم بادبان‌قرمز از لحاظ تغییرات غلظت عناصر در شرایط مختلف محلول‌دهی تغییرات کمتری از خود نشان داده و از تحمل بیشتری به EC محلول غذایی در مقایسه با دو رقم دیگر کاهوی مورد مطالعه در این آزمایش برخوردار بود که این امر می‌تواند بدلیل وجود ترکیبات فنلی بیشتر در بافت گیاه باشد که سبب حفظ پتانسیل اسمزی بافت گیاه و در نهایت جذب بیشتر عناصر غذایی گردد. وجود ترکیبات فنلی بالا علاوه

تغییر در غلظت عناصر غذایی منجر به عدم تعادل عناصر غذایی در محلول غذایی می‌گردد که این امر می‌تواند بر جذب عناصر غذایی تأثیر گذار باشد و در نهایت رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Smith et al., 1993). در آزمایش حاضر وزن خشک ریشه و اندام هوایی کاهو تحت تأثیر تیمارهای جایگزینی بر اساس EC و نیاز گیاه کاهش یافت، اگرچه این کاهش در رقم بادبان قرمز و تیمار جایگزینی بر اساس نیاز گیاه معنی‌دار نبود که نشانه عملکرد بهتر این تیمار در مقایسه با تیمار جایگزینی بر اساس EC است. در بررسی روی گیاه ذرت در شرایط آبکشت نشان داده شد که با تغییر غلظت محلول غذایی، غلظت عناصر غذایی بافت گیاه تغییر کرد و با افزایش غلظت عناصر میزان فعالیت ریشه کاهش و در نهایت جذب عناصر غذایی نیز کاهش یافت (Smith et al., 1993). در همین رابطه طی بررسی روی گیاه فلفل نشان داده شد که غلظت عناصر غذایی پتاسیم، منیزیم، کلسیم و فسفر تحت تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی قرار گرفت به طوری که بیشترین مقدار این عناصر در روش تعویض محلول غذایی و کمترین غلظت این عناصر در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی مشاهده شد (Mohammadian et al., 2016) که با نتایج تحقیق حاضر مبنی بر کاهش محلول غذایی در شرایط تغذیه بر اساس EC مطابقت دارد. کاهش غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم و کلسیم در شرایط آزمایش حاضر را می‌توان به کاهش فعالیت ریشه و کاهش جذب آب و مواد غذایی نسبت داد که در این شرایط جذب عناصر غذایی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Kaya et al., 2002). نقصان تعادل عناصر در محلول غذایی در اثر اضافه کردن مواد معدنی سبب کاهش شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی و کاهش غلظت عناصر گیاه گوجه‌فرنگی گردید (Rosadi et al., 2014). کیم و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که تغییر در غلظت عناصر غذایی سبب تغییر در EC محلول غذایی و pH گردید که این امر سبب کاهش پتانسیل اسمزی محلول غذایی و در نهایت کاهش جذب

آهن رقم بادبان قرمز می‌تواند به دلیل کاهش نیافتن جذب روی در شرایط EC و نیاز گیاه باشد. گزارش شده است که بین جذب آهن و روی در گیاه به دلیل وجود کانال‌های انتقال مشترک رقابت وجود داشته باشد و با جذب بیشتر مقدار روی جذب آهن کاهش می‌یابد (Hell and Stephan, 2003).

نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد که مقدار روی برگ کاهوی چینی و کاهو کازرون در شرایط تغذیه بر اساس EC و نیاز گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بر اساس نتایج تحقیق حاضر کاهش در مقدار روی را می‌توان به کاهش رشد ریشه و تغییرات EC محلول غذایی و تغییرات pH نسبت داد که می‌تواند بر جذب عناصر غذایی به‌ویژه روی و منگنز مؤثر باشد. در ارتباط با تغییرات غلظت عناصر غذایی در شرایط مختلف گزارشات متعددی صورت گرفته است به‌طوری‌که در یک تحقیق روی گیاه فلفل مقدار آهن، روی و منگنز برگ گیاه در شرایط تغذیه بر اساس EC و نیاز گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (محمدیان، ۱۳۹۵) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. محققان در یک بررسی در ارتباط با تغییر غلظت محلول غذایی (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد غلظت محلول هوگلند) روی گیاه رز در شرایط آبکشت نشان دادند که با افزایش غلظت عناصر معدنی در محلول غذایی هوگلند مقدار آهن برگ نیز افزایش پیدا کرد و در شرایط ۲۵ درصد غلظت محلول هوگلند گیاهان علائم کمبود آهن نشان دادند (Zheng et al., 2010).

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مقدار آهن و منگنز برگ در شرایط تغذیه بر اساس EC به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد. کاهش در مقدار آهن ممکن است به دلیل کاهش رشد و کاهش فعالیت ریشه باشد (Arya and roy, 2011). همچنین کاهش مقدار آهن برگ در گیاهانی که بر اساس EC تغذیه شده بودند ممکن است به دلیل بالا بودن pH محلول غذایی در شرایط تغذیه بر اساس EC نسبت به تعویض محلول غذایی باشد. نتایج مشابهی

بر اینکه نقش تنظیم‌کنندگی در بافت برگ دارد بلکه سبب می‌شود سلول گیاهی را در برابر آسیب‌های وارده از تنش محافظت کند که این امر نیز سبب می‌شود جذب عناصر در شرایط تنش زیاد تغییر نکند (Okmen et al., 2009). طی بررسی روی دو رقم کاهو در شرایط آبکشت مشاهده شد که با افزایش EC محلول غذایی جذب پتاسیم و کلسیم در هر دو رقم کاهش یافت ولی تغییرات این دو عنصر در رقمی که از مقدار ترکیبات فنلی بیشتری برخوردار بودند کمتر بود (Neocleous et al., 2014). از آنجایی که تغذیه گیاهان بر اساس نیاز گیاه بر اساس تحقیقات قبلی و روی برخی از ارقام کاهوی رایج بود. به نظر می‌رسد که واکنش ارقام مورد آزمایش متفاوت بوده و در این بین رقم کاهوی چینی حساسیت بیشتری را نشان داد. بنابراین با تغییرات مناسب و به موقع می‌توان روش جایگزینی بر اساس نیاز گیاه را با اصلاحات جزئی بخصوص کاهش غلظت منیزیم در سیستم‌های بسته پرورش کاهو توصیه نمود.

عناصر کم‌مصرف یکی از عوامل اساسی مؤثر بر رشد گیاه می‌باشند که می‌توانند عملکرد گیاه را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار دهند از این رو بررسی مقدار عناصر کم‌مصرف در شرایط مختلف می‌تواند مهم باشد (Roosta et al., 2018). اگرچه عناصر کم‌مصرف در مقادیر بسیار کم مورد نیاز گیاه می‌باشند، ولی این عناصر بیشتر در فعل و انفعالات آنزیمی داخل گیاه دخالت دارند و از اجزای اصلی آنزیم‌های فتوسنتزی مؤثر در انتقال انرژی در سلول‌های گیاهی و سنتز ترکیبات ضروری محسوب می‌شوند (Zhao and Wu, 2017). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بیشترین مقدار عناصر کم‌مصرف نظیر آهن، روی و منگنز در سه رقم کاهوی مورد مطالعه در این آزمایش در شرایط تغذیه بر اساس تعویض کامل محلول غذایی مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد که مقدار آهن برگ کاهو رقم بادبان قرمز در شرایط تغذیه بر اساس EC و نیاز گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ولی مقدار آهن سایر ارقام تغییراتی از لحاظ مقدار آهن از خود نشان ندادند. کاهش در مقدار جذب

Burns, I. G. 1992. Influence of plant nutrient concentration on growth rate: use of a nutrient interruption technique to determine critical concentrations of N, P and K in young plants. *Plant and Soil* 142: 221-233.

DegInnocenti, E., C. Hafsi, L. Guidi and F. Navari-Izzo. 2009. The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *Journal of Plant Physiology*, 166: 1968-1981.

Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. Eds., American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 595-624.

Bugbee, B. 2004. Nutrient Management in Recirculating Hydroponic Culture. In: *Proceedings of the South Pacific Soilless Culture Conference*. M. Nichols, (Ed.). *Acta Horticulturae*, 648: 99-112.

Bugbee, B. and F. Salisbury. 1985. An evaluation of MES and Amberlite IRC-50 as pH buffers for Nutrient Solution Studies. *Journal of Plant Nutrition*, 8:567-583.

Bugbee, B. and F. Salisbury. 1989. Controlled Environment Crop Production: Hydroponic vs. Lunar Regolith. In: D. Ming and D. Henninger. (Eds) *Lunar Base Agriculture*. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Calori, A. H., T. L. Factor., J.C. Feltran., E. Y. Watanabe., C. C. D Moraes and L. F. V. Purquerio. 2017. Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions winter/spring. *Bragantia*, 76(1): 23-32.

Chapman, H. D. and F. P. Pratt. 1961. Ammonium vandate-molybdate method for determination of phosphorus. *Methods of analysis for soils, plants and water*, 1: 184-203.

Ghaemi, M., K. Bakhsh Kolarestaghi, and S. M. Nabavi. 2009. Comparison of several planting beds in quantitative properties of greenhouse cucumber Negin cultivar in hydroponic method. *New Agricultural Findings*, 4(2): 157-166. [In Farsi]

Hartz, T.K., G. J. Hochmuth. 1996. Fertility management of drip-irrigated vegetables. *HortTechnology*, 6: 168-172.

روی گیاه سیبزمینی که در شرایط هواکشت رشد کرده بودند گزارش شده است به طوری که با افزایش EC محلول غذایی مقدار عناصر معدنی برگ نظیر آهن و منگنز به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد، آن‌ها نیز کاهش رشد ریشه و کاهش پتانسیل اسمزی اطراف ریشه را عامل اصلی در کاهش جذب عناصر غذایی دانستند (Calori *et al.*, 2017).

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش حاضر ارقام مختلف کاهو پاسخ‌های متفاوتی از لحاظ میزان جذب عناصر غذایی به روش‌های جایگزینی محلول غذایی نشان دادند. غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن و منگنز برگ در تمام ارقام گیاهان تغذیه شده بر اساس تعویض کامل محلول غذایی از بیشترین مقدار برخوردار بود که نتیجه آن بالاترین وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاهان کاهو در تیمار اخیر بود. نتایج همچنین نشان داد که در بین ارقام مورد مطالعه تغییرات عناصر غذایی در ارقام بادبان قرمز نسبت به دو رقم کاهو چینی و کاهو کازرون کمتر بود و به نظر می‌رسد، به دلیل رشد محدودتر، نیاز این رقم به عناصر غذایی کمتر از ارقام دیگر می‌باشد.

منابع

Arya, S.K and B.K Roy. 2011. Manganese induced changes in growth, chlorophyll content and antioxidants activity in seedlings of broad bean (*Vicia faba L.*). *Journal of Environmental Biology*, 32(6); 707 pages

Arya, S.K. and B.K. Roy. 2011. Manganese induced changes in growth, chlorophyll content and antioxidants activity in seedlings of broad bean (*Vicia faba L.*). *Journal of Environmental Biology*, 32(6); 707 pages.

Bar-Yosef, B. 2008. Fertigation management and crops response to solution recycling in semi-closed greenhouses. In *Soilless Culture: Theory and Practise*; Raviv, M., Lieth, J.H., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 343-424.

- Neocleous, D., A. Koukounaras., A. S. Siomos. and M. Vasilakakis. 2014. Assessing the salinity effects on mineral composition and nutritional quality of green and red “baby” lettuce. *Journal of food quality*, 37(1): 1-8.
- Okmen, B., H. O. Sigva., S. Mutlu., S. Doganlar., A. Yemenicioglu. and A. Frary. 2009. Total antioxidant activity and total phenolic contents in different Turkish eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivars. *International Journal of Food Properties*, 12(3), 616-624.
- Regagba, Z., J. M. Choi., A. Latigui., K. Mederbal. and A. Latigui. 2014. Effect of Various Mg Concentrations in Nutrient Solution on Growth and Nutrient Uptake Response of Strawberry (*Fragaria × Ananassa* Duch.) “Seolhyang” Grown in Soilless Culture. *Biological Sciences*, 14(4): 226-236.
- Roosta, H. R. 2016. *Plant nutrition in Hydroponics*. Vali-e-Asr University Press, 577 pages. [In Farsi]
- Roosta, H. R., A. Estaji, and F. Niknam. 2018. Effect of iron, zinc and manganese shortage-induced change on photosynthetic pigments, some osmoregulators and chlorophyll fluorescence parameters in lettuce. *Photosynthetica*, 56(2): 606-615.
- Rosadi, R. B., M. Senge., D. Suhandy. and A. Tusi. 2014. The effect of EC levels of nutrient solution on the growth, yield, and quality of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) under the hydroponic system. *Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology*, 2(1): 7-12.
- Safaii, M., J. Panahand, S.J. Tabatabaii, and A. R. Motallabi Azar. 2013. Comparison of the effect of different nutrient solutions on the concentration of elements and some qualitative properties of lettuce in hydroponic system. *Agricultural Greenhouse Science and Technology*, 6(2): 1-8. [In Farsi]
- Smith, A. F. and G. O. Roberts. 1993. Bayesian computation via the Gibbs sampler and related Markov chain Monte Carlo methods. *Journal of the Royal Statistical Society*, 3-23.
- Son, J. E., H. J. Kim. and T. I. Ahn. 2016. *Hydroponic Systems*. In *Plant Factory*, 213–221.
- Stevens, G., P. Motavalli., P. Scharf., M Nathan. and D. Dunn. 2002. *Crop Nutrient Deficiencies and Toxicities*; University of Missouri: Columbia, MO, USA.
- Hell, R. and U. W. Stephan. 2003. Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants. *Planta*, 216: 541–551.
- Hershey, D. R. 1992. Plant nutrient solution pH changes. *Journal of Biological Education*, 26(2): 107-111.
- Hoagland, D.R. and Arnon, D.I. 1950. *The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil*. California Agricultural Experiment Station, Circular-347.
- Kaya, C., H. Kirnak ., D. Higgs. and K. Saltali. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth at fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Horticulturae*, 93:65-74.
- Kaya, C., H. Kirnak. and D. Higgs. 2001. Effects of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl). *Journal of Plant Nutrition*, 24: 1457-1471.
- Khoshgoftarmanesh, A. H. 2010. *Basics of nutrition*. Isfahan University of Technology Publications, 542 pages. [In Farsi]
- Kim, H. J., Y. S. Cho., O. K. Kwon., M. H. Cho., J. B. Hwang., S. D. Bae. and W. T. Jeon. 2005. Effect of pH and EC of hydroponic solution on the growth of greenhouse rose. *Asian Journal of Plant Sciences*, 4(4): 348-355.
- Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis*. Agronomy No. 9, part 1, ASA Inc. Soil Science Society of America, Madison, Wis. 182-192.
- Mahler, R. L. 2000. *Molybdenum in Idaho*; University of Idaho, College of Agriculture, Cooperative Extension Service, Agricultural Experiment Station: Moscow, ID, USA.
- Marschner, H. 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Elsevier Academic Press, 530 p.
- Mohammadian, F., H. R. Roosta, M. Raghmi, S. H. Mirdehghan, and M. Hamidpour. 2016. Effect of three methods of nutrient replacement and pruning on growth, yield and water consumption of hot pepper product in NFT system. *National Hydroponic Congress and Greenhouse Products*. Rafsanjan University, 4(1): 1-6. [In Farsi]

Zhang, J., W. Jia, J. Yang. and A. M. Ismail. 2006. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses. *Field Crops Research*, 97: 111–119.

Zhao, K. and Y. Wu. 2017. Effects of Zn deficiency and Iron on the growth and photosynthetic characteristics of four plant species. *Journal of Plant Nutrition*, 12(1): 114-121.

Zheng, Y., D. F. Cayanan. and M. Dixon. 2010. Optimum feeding nutrient solution concentration for greenhouse potted miniature rose production in a recirculating subirrigation system. *Horticulture Science*, 45(9): 1378-1383.

Vanýsek, P. 2006. Ionic conductivity and diffusion at infinite dilution. In *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 87th ed.; Lide, D.R., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, pp. 76–78.

Voogt, W. 2002. Potassium management of vegetables under intensive growth conditions. In *Potassium for Sustainable Crop Production*; Pasricha, N.S., Bansal, S.K., Eds.; International Potash Institute: Basel, Switzerland, pp. 347–362.

Wortman, S. E. 2015. Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 194: 34–42.