



تأثیر میزان هدایت الکتریکی محلول غذایی بر خصوصیات کمی و کیفی سه اکوتیپ شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) در کشت هیدروپونیک

سید احمد ملکزاد^۱، لیلا تبریزی^{۲*}، مجتبی دلشاد^۳، الهام عزیزی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ استادیار، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ دانشیار، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴ دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) گیاه دارویی ارزشمندی است که عصاره به‌دست آمده از ریشه و ریزوم آن به‌طور وسیعی در صنایع دارویی و غذایی قابل استفاده می‌باشد. با توجه به ضرورت اهلی‌سازی و معرفی این گیاه به سیستم‌های کشت به‌عنوان رهیافت جایگزین برداشت ناپایدار آن از عرصه‌های طبیعی، تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر هدایت الکتریکی محلول غذایی بر ویژگی‌های رشد و عملکرد سه اکوتیپ شیرین بیان در کشت هیدروپونیک انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی گیاهان زینتی گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش چهار سطح هدایت الکتریکی محلول غذایی (۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر) و سه اکوتیپ شیرین بیان (لاله‌زار و بافت استان کرمان و اقلید استان فارس) بودند. در این تحقیق، تعدادی از صفات مورفوفیزیولوژیک نظیر ارتفاع و قطر بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد ساقه جانبی در بوته، طول میان‌گره، سطح برگ، طول و قطر ریشه، وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی و صفات بیوشیمیایی نظیر شاخص کلروفیل، میزان فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بین اکوتیپ‌ها از نظر تمامی صفات مورد بررسی به جز میزان فنل کل و شاخص کلروفیل تفاوت معنی داری مشاهده شد. همچنین، سطوح مختلف هدایت الکتریکی نیز صفات مورد بررسی به استثنای وزن خشک اندام‌های زیرزمینی و فنل کل را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. اثر متقابل هر دو تیمار نیز بر صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی مورد بررسی معنی‌دار بود. در هر یک از سه اکوتیپ مورد بررسی، با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی، ارتفاع و قطر بوته، طول میان‌گره، سطح برگ و قطر ریشه روند کاهشی نشان داد. بیش‌ترین وزن خشک اندام‌های هوایی در اکوتیپ بافت کرمان با سطوح هدایت الکتریکی ۱/۵ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر (به‌ترتیب با مقادیر ۴/۵۱ و ۴/۹۱ گرم در بوته) و اکوتیپ اقلید فارس با هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر (با مقدار ۴/۹۱ گرم در بوته) مشاهده شد. همچنین، اکوتیپ بافت کرمان در هدایت الکتریکی ۳ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین وزن خشک اندام زیرزمینی (۱۶/۰۲ گرم در بوته) را نشان داد. از نظر صفات بیوشیمیایی، بیش‌ترین میزان شاخص کلروفیل در اکوتیپ لاله‌زار و سطح هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. بیش‌ترین میزان فنل کل و درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز مربوط به اکوتیپ لاله‌زار در سطح هدایت الکتریکی ۳ دسی‌زیمنس بر متر بود.

*مسئول مکاتبه: L.tabrizi@ut.ac.ir

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج تحقیق، اکوتیپ بافت کرمان و سپس اقلید فارس در محدوده هدایت الکتریکی ۱/۵ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمارهای دیگر، از رشد و عملکرد مطلوب‌تری برخوردار بودند. اکوتیپ لاله‌زار در صفات کیفی در سطح هدایت الکتریکی ۳ دسی‌زیمنس بر متر نمود بهتری داشت.

واژه‌های کلیدی: شاخص کلروفیل، شیرین بیان، صفات مورفولوژیک، فعالیت آن‌تی اکسیدانی، محلول غذایی.

مقدمه

گیاه شیرین‌بیان با نام علمی *Glycyrrhiza glabra* L. متعلق به تیره بقولات (Fabaceae)، گیاه علفی، دولپه‌ای، خودرو، پایا و چند ساله است. ریشه این گیاه دارویی ارزشمند اندام اقتصادی آن می‌باشد و دارای ترکیبات مختلف دارویی نظیر گلیسیریتینیک‌اسید و گلبریدین است (۲۹). از مجموع سطح زیر کشت گیاهان دارویی مختلف در ایران، سهم شیرین‌بیان از آن بسیار ناچیز بوده، در حالی‌که بالاترین حجم صادرات گیاهان دارویی مربوط به این گیاه است (۸). در حال حاضر ریشه و ریزوم این گیاه به عنوان اندام قابل استفاده عمدتاً از عرصه‌های طبیعی برداشت می‌شود. اخیراً به دلیل برداشت بی‌رویه، خشکسالی‌ها، چرای بیش از حد دام و شوری آب و خاک، مسئله انقراض و فرسایش ژنتیکی آن مطرح شده است (۱۹). از اینرو، اهلی‌سازی و توسعه کشت آن جهت تأمین نمودن نیازهای روز افزون صنایع مختلف مورد تأکید قرار گرفته است.

تولید گیاهان دارویی و خصوصاً گیاهان ریشه‌ای در روش‌های کشت بدون خاک، از جمله، کشت هیدروپونیک دارای فواید متعددی نظیر بهبود کیفیت مواد موثره، رشد سریع و افزایش زیست‌توده محصول تولیدی، افزایش تراکم گیاه نسبت به کشت خاکی، احتمال کاهش آلودگی به آلاینده‌های محیطی، امکان کنترل شرایط محیطی و تنظیم هدفمند محلول غذایی برای تولید متابولیت‌های ثانویه خاص و همچنین اطمینان از پایداری تولید مواد خام گیاهی است (۵)،

۱۰، ۱۸، ۲۲). برخی تحقیقات حاکی از آن است که کشت گلخانه‌ای شیرین‌بیان در سیستم هیدروپونیک، نتایج مطلوبی را از نظر کمی و کیفی نشان داده است (۳، ۱۵، ۳۳) و همچنین، برای تولید نشا با قابلیت بقای ۹۰ درصد در مقایسه با شرایط مزرعه‌ای مورد توجه است (۳۵). در ارتباط با کشت هیدروپونیک گیاهان دارویی، در تحقیقی مشاهده شد که گیاه زنجبیل (*Zingiber officinale* Rosc.) در سیستم هیدروپونیک، از عملکرد ریزوم و ریشه بیش‌تر و باکیفیت بالاتر نسبت به کشت در سیستم خاکی برخوردار بود (۳۱). در آزمایش دیگری روی دو گونه گیاه دارویی سرخارگل (*Echinaceae angustifolia* DC. and *E. purpurea* L.) در سیستم کشت هیدروپونیک با سه نوع بستر (پیت‌ماس، سنگ‌ریزه‌ها و مخلوط هر دو) و دو نوع کود نیتروژن (نیتراتی و آمونیاکی) با نسبت‌های مختلف، بیش‌ترین میزان سطح برگ، طول، قطر و حجم ریشه در نسبت ۷:۱ و بستر نوع مخلوط در هر دو گونه مشاهده شد، ولی بیش‌ترین طول ریشه در نسبت ۳:۱ نیترات و آمونیم در هر دو گونه حاصل شد (۳۹). یافته‌های تحقیقی روی گیاه پنیرباد (*Withania somnifera* L.) حاکی از بهبود عملکرد و مواد موثره آن در شرایط کشت هیدروپونیک بود، ضمن اینکه این سیستم کشت را مناسب برای تولید تجاری پنیرباد معرفی کردند (۱۰). پژوهشی که در راستای بررسی تفاوت محیط‌های کشت بر غلظت ماده موثره گلیسیریزین در گیاه شیرین‌بیان صورت گرفت نشان داد که عصاره به‌دست آمده از گیاه کشت شده در روش هیدروپونیک با

گزارش شد که صفات مورفولوژیک گیاه در مناطق مختلف، تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. همچنین، ماده خشک و عصاره محلول در آب ریشه‌ها نیز در بین مناطق مورد مطالعه، متغیر بود (۴). در تحقیق دیگر با بررسی کیفیت ریشه‌های شیرین‌بیان جمع‌آوری شده از رویشگاه‌های مختلف ایران نشان داده شد که میزان اسید گلیسیریزیک و نیز عصاره محلول در آب در نمونه‌های جمع‌آوری شده از کرمانشاه، سرحد فارس و کرمان در بالاترین مقدار و در نمونه‌های متعلق به گنجانمه و اکباتان همدان در پایین‌ترین مقدار قرار داشت (۱۶).

با توجه به موارد ذکر شده، از آنجا که دست‌یابی به محلول غذایی بهینه در کشت هیدروپونیک شیرین‌بیان مستلزم تنظیم مناسب نوع و سطوح عناصر غذایی و همچنین، تغییرات اسیدیته و هدایت الکتریکی محلول غذایی می‌باشد که متعاقباً تولید زیست‌توده و متابولیت‌های ثانویه را تحت تاثیر قرار خواهد داد. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف بررسی سه اکوتیپ گیاه شیرین‌بیان در شرایط کشت کنترل شده با سطوح مختلف هدایت الکتریکی محلول غذایی به منظور شناسایی متحمل‌ترین اکوتیپ از میان این سه اکوتیپ و مناسب‌ترین سطح هدایت الکتریکی محلول غذایی از نظر تاثیر بر خصوصیات رشد و عملکرد سه اکوتیپ شیرین‌بیان در شرایط کشت هیدروپونیک انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۹۷-۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی گیاهان زینتی گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (واقع در طول جغرافیایی ۵۰ درجه، ۵۵ دقیقه و ۵۱ ثانیه شرقی عرض جغرافیا ۳۵ درجه، ۴۶ دقیقه و ۲۴ ثانیه شمالی و ارتفاع ۱۲۵۲/۵ متر از سطح دریا)

پایین‌ترین سطح تغذیه با شیرین‌بیان وحشی از نظر غلظت گلیسیریزین تفاوت معنی‌داری نداشت؛ در نتیجه عنوان شد که این گیاه می‌تواند در گلخانه با سطح کمی از عناصر غذایی تولید گردد (۳۳).

هدایت الکتریکی محلول غذایی به‌عنوان یکی از عوامل مهم در کشت‌های بدون خاک، بر رشد گیاه موثر است (۱۰، ۲۳). معمولاً در توصیه‌های فرمول غذایی در کشت هیدروپونیک سطوح هدایت الکتریکی محلول غذایی نقش مهمی دارد و بیان‌گر غلظت کل یون‌ها در محلول غذایی است (۳۲). هدایت الکتریکی محلول غذایی، زمینه تعادل بین آب و عناصر غذایی را برای گیاه که یکی از مشکلات در کشت‌های بدون خاک است تأمین می‌نماید. به هر میزان که سطح هدایت الکتریکی محلول غذایی پایین باشد، سرعت جریان عناصر به کندی صورت می‌گیرد و به هر اندازه که محلول غذایی از سطح بالاتر هدایت الکتریکی برخوردار باشد، این جریان، سرعت بیش‌تری می‌یابد. بنابراین، در محلول غذایی با سطح خیلی پایین هدایت الکتریکی، گیاه با کمبود عناصر غذایی و در محلول غذایی با سطوح هدایت الکتریکی بالا، با تنش شوری مواجهه شده که منتج به برهم خوردن تعادل یونی و پتانسیل اسمزی در گیاه می‌گردد. همچنین، واکنش‌های بیوشیمیایی و فرایندهای فیزیولوژیکی را تحت تاثیر قرار داده و پارامترهای رویشی و زیست‌توده گیاهی کاهش می‌یابد (۲، ۱۴). در این راستا، مطالعات متعددی در خصوص نقش هدایت الکتریکی محلول غذایی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاهان در شرایط کشت‌های کنترل شده انجام شده است (۱۴، ۲۱، ۲۸، ۳۲).

برخی از تحقیقات انجام شده، حاکی از نقش نوع اکوتیپ بر خصوصیات رشدی گیاه دارویی شیرین‌بیان است. در مطالعه‌ای با بررسی تنوع مورفولوژیک و میزان عصاره خشک ریشه در ۱۲ اکوتیپ شیرین‌بیان،

ریشه با خطکش درجه‌دار، سطح برگ با دستگاه سطح برگ‌سنج، شاخص کلروفیل با دستگاه (SPAD)، قطر ریشه و ساقه با کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌گرم و تعداد ساقه‌های جانبی در بوته، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی ریشه شامل میزان فنل کل (۳۴) و درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۱) با استفاده از دستگاه مایکرو پلیت ریدر مدل EON شرکت Biotek امریکایی به ترتیب با طول موج‌های ۵۱۵ و ۷۲۵ نانومتر قرائت و ثبت گردید. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و ترسیم نمودارها در نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۹ صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفوفیزیولوژیکی شیرین‌بیان تحت تاثیر سطوح مختلف هدایت الکتریکی محلول غذایی و نوع اکوتیپ، در جدول ۱ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود نوع اکوتیپ، کل صفات مورد بررسی را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد ($P < 0/01$). سطوح مختلف هدایت الکتریکی نیز بر کل صفات مورفوفیزیولوژیکی به استثنای وزن خشک اندام زیرزمینی تاثیر معنی‌داری داشت ($P < 0/01$). همچنین، تاثیر متقابل سطوح اکوتیپ و هدایت الکتریکی بر صفات قطر و ارتفاع بوته، طول میان‌گره، سطح برگ، طول و قطر ریشه، وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی در سطح احتمال یک درصد و بر قطر ساقه و تعداد ساقه جانبی در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود.

انجام شد. برای این منظور، ریزوم‌های سه اکوتیپ شیرین‌بیان (لاله‌زار و بافت استان کرمان و اقلید استان فارس) که از ایستگاه تحقیقات گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز دانشگاه تهران تهیه گردیده بودند، کشت گردید. در ابتدا به منظور رشد سریع و سالم‌تر گیاهچه‌ها، ریزوم‌ها را در کیسه نشاهای پلاستیکی نشاکاری و بعد از سپری شدن ۳۲ روز، گیاهچه‌هایی که ظاهر مشابه و یک‌دست داشتند انتخاب و به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در چهار سطح هدایت الکتریکی محلول غذایی (۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ دسی زیمنس برمتر) در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع و قطر ۲۶ سانتی‌متر در بستر کوکوپیت و پرلیت (۱:۱) کشت گردید و گلدان‌ها با فاصله ۴۰ × ۵۰ سانتی‌متری از هم قرار داده شد. استوک‌های محلول غذایی بر پایه هوگلند و آرنون ۲ (شامل نمک‌های حاوی عناصر پرمصرف (سولفات دی‌هیدروآمونیم، نترات پتاسیم، نترات کلسیم، سولفات منیزیم)، عناصر کم‌مصرف (اسید بوریک، کلرید منگنز، سولفات روی، سولفات مس، اسید مولیبدات و کلات آهن) از آب مقطر و محلول نهایی از آب معمولی گلخانه، تهیه و اعمال گردید (۳۶). سطوح مختلف هدایت الکتریکی با تغییر غلظت نمک‌های مورد استفاده در استوک تنظیم گردید. محلول نهایی با استفاده از پمپ‌های صافی آکواریوم ۱۶ میلی‌متری و قطره‌چکان‌های نوع ملخی به گلدان‌ها هدایت گردیده و توسط یک عدد دستگاه زمان‌سنج صنعتی و یک عدد زمان‌سنج ساعتی به‌صورت خودکار، کنترل شد. گیاهان کاشته شده در مدت شش ماه تحت تیمارهای محلول غذایی قرار داشتند.

پس از گذشت شش ماه از رشد گیاهان، در زمان برداشت، صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه شامل ارتفاع و قطر بوته، قطر ساقه اصلی، طول میان‌گره و طول

قطر بوته، روند کاهشی نشان داد. بیشترین قطر بوته در اکوتیپ بافت با هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که اختلاف آماری معنی‌داری با اکوتیپ بافت در هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و اقلید در هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر نداشت.

بر اساس نتایج موجود، بیشترین ارتفاع بوته در اکوتیپ بافت با سطح هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که با سایر تیمارهای مورد ارزیابی اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین مقدار این صفت نیز به اکوتیپ لاله‌زار و سطح هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت (جدول ۲). با افزایش هدایت الکتریکی در هر سه اکوتیپ،

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سطوح هدایت الکتریکی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک سه اکوتیپ گیاه شیرین‌بیان (*G. glabra* L.).

Table 1- Variance analysis of some morphophysiological traits of three licorice (*G. glabra* L.) ecotypes under different levels of electrical conductivity of nutrient solution.

منابع تغییر S.O.V	df	میانگین مربعات Mean of squares									
		ارتفاع بوته Plant height	قطر بوته Plant diameter	قطر ساقه Stem diameter	تعداد ساقه جانبی در بوته Number of lateral stems per plant	طول میانگره Internode length	سطح برگ Leaf area	طول ریشه Root length	قطر ریشه Root diameter	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک اندام زیر زمینی Root dry weight
بلوک Block	2	0.95 ^{ns}	3.68 ^{ns}	0.0032 ^{ns}	1.09 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	18.16 ^{ns}	11.47 [*]	0.15 ^{ns}	0.01 ^{ns}	1.22 ^{ns}
اکوتیپ Ecotype	2	22.88 ^{**}	64.20 ^{**}	0.28 ^{**}	5.75 ^{**}	0.46 ^{**}	671.23 ^{**}	431.75 ^{**}	2.39 ^{**}	7.20 ^{**}	28.34 ^{**}
هدایت الکتریکی Electrical conductivity	3	127.5 ^{**}	138.43 ^{**}	0.26 ^{**}	15.48 ^{**}	0.15 ^{**}	732.12 ^{**}	163.16 ^{**}	1.61 ^{**}	3.50 ^{**}	1.98 ^{ns}
اکوتیپ × هدایت الکتریکی Ecotype*Electrical conductivity	6	48.86 ^{**}	31.54 ^{**}	0.045 [*]	1.96 [*]	0.14 ^{**}	517.25 ^{**}	137.54 ^{**}	1.49 ^{**}	3.76 ^{**}	24.88 ^{**}
خطای آزمایشی Error	22	1.01	2.78	0.014	0.58	0.002	36.19	3.09	0.18	0.07	0.82
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		3.06	6.77	4.02	12.15	1.9	6.29	3.91	5.11	9.1	8.1

**، * و ns به ترتیب بیان‌گر معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند.

**، *، ns are Significant at the probability level of 5% and 1%, and not significant, respectively.

افزایش معنی‌داری نشان داد. شاید دلیل این امر، ماهیت اهلی نبودن گیاهان مورد بررسی و متعاقباً نوسان در واکنش آنها به تیمارهای اعمال شده است. بدیهی است که اکوتیپ‌های گیاهان در شرایط طبیعی جهت بقای بهتر، واکنش‌های متفاوتی را نسبت به شرایط محیطی نشان می‌دهند. در هر سه اکوتیپ

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش هدایت الکتریکی در دو اکوتیپ لاله‌زار و اقلید، قطر ساقه روند کاهشی معنی‌داری نشان داد. در اکوتیپ بافت نیز با افزایش هدایت الکتریکی از ۱/۵ تا ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر قطر ساقه کاهش یافت ولی در هدایت الکتریکی ۳ دسی‌زیمنس بر متر مجدداً

اقلید با هدایت الکتریکی ۲/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر و اکوتیپ بافت با هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۲).

نتایج حاکی از آن است که وزن خشک اندام‌های زیرزمینی و هوایی در سه اکوتیپ لاله‌زار، بافت و اقلید در واکنش به سطوح مختلف هدایت الکتریکی، از روند مشخصی تبعیت نکرد. بیش‌ترین وزن خشک اندام زیرزمینی در اکوتیپ بافت با هدایت الکتریکی ۳ دسی‌زیمنس بر متر و اکوتیپ لاله‌زار با هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد. بیش‌ترین وزن خشک اندام‌های هوایی نیز به اکوتیپ بافت در هدایت الکتریکی ۱/۵ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر و اکوتیپ اقلید در هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت (جدول ۲).

به‌طور کلی، در سیستم‌های کشت کنترل شده، مدیریت هر یک از عوامل طبیعی مانند دما، نور، آب، بستر، مواد یا عناصر غذایی، اسیدیته و هدایت الکتریکی محلول غذایی می‌تواند بر خواص کمی و کیفی محصول اثرگذار باشد. هدایت الکتریکی محلول غذایی پتانسیل اسمزی را تعیین می‌کند که نقش مهمی را در میزان جذب، سرعت جذب و حرکت عناصر در سطح بستر دارد. با تنظیم غلظت عناصر یا نمک‌های ترکیبی در محلول غذایی می‌توان سطح هدایت الکتریکی را در محلول غذایی تغییر داد تا سطح مناسب هدایت الکتریکی را برای گیاه موردنظر به‌دست آورد (۱۷). یکی از راهکارهای مدیریتی کشت‌های کنترل شده مدیریت هدایت الکتریکی محلول غذایی مورد استفاده است (۲۴). مدیریت محلول غذایی بر اساس اقلیم و شرایط گلخانه می‌تواند باعث بهبود نحوه استفاده از محلول غذایی شده در نتیجه محلول با غلظت مناسب در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (۲).

لاله‌زار، بافت و اقلید، با افزایش هدایت الکتریکی از ۱/۵ تا ۲ دسی‌زیمنس بر متر، تعداد ساقه جانبی در بوته افزایش یافت، به‌طوری که این صفت در هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر، در سه اکوتیپ مورد بررسی به ترتیب ۱/۲، ۱/۸ و ۱/۸ برابر هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود.

طبق نتایج حاصل از این تحقیق، بیش‌ترین طول میان‌گره نیز به اکوتیپ بافت با هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت که اختلاف آماری معنی‌داری با اکوتیپ بافت با هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و اکوتیپ لاله‌زار با هدایت الکتریکی ۳ دسی‌زیمنس بر متر نداشت. کم‌ترین مقدار این صفت نیز در اکوتیپ لاله‌زار با هدایت الکتریکی ۲ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. همچنین، در دو اکوتیپ لاله‌زار و بافت، با افزایش هدایت الکتریکی، سطح برگ، روند کاهشی معنی‌داری نشان داد و بیش‌ترین مقدار این صفت در پایین‌ترین سطح هدایت الکتریکی (۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر) حاصل شد. با افزایش هدایت الکتریکی، تغییرات سطح برگ در اکوتیپ اقلید از روند مشخصی تبعیت نکرد.

براساس نتایج موجود (جدول ۲) اثر متقابل نوع اکوتیپ و سطوح مختلف هدایت الکتریکی بر طول ریشه از نظر آماری معنی‌دار بود. بیش‌ترین مقدار این صفت، مربوط به اکوتیپ اقلید با هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود و کم‌ترین مقدار آن به اکوتیپ لاله‌زار با هدایت‌های الکتریکی ۱/۵، ۲/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت.

در اکوتیپ‌های مورد بررسی، واکنش قطر ریشه به تغییر سطوح هدایت الکتریکی از نظر آماری معنی‌دار بود، به‌طوری که بیش‌ترین مقدار این صفت در اکوتیپ بافت با هدایت الکتریکی ۲ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کم‌ترین مقدار آن در اکوتیپ

جدول ۲- تأثیر هدایت الکتریکی محلول غذایی بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک سه اکوتیپ شیرین بیان (*G. glabra* L.).
Table 2- The effect of electrical conductivity of nutrient solution on some morphophysiological traits of three licorice (*G. glabra* L.) ecotypes .

اکوتیپ Ecotype	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (ds.m ⁻¹)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	قطر بوته (سانتی‌متر) Plant diameter (cm)	قطر ساقه (میلی‌متر) Stem diameter (mm)	تعداد ساقه جانبی در بوته lateral stems per plant	طول میانگره (سانتی‌متر) Internode length (cm)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf area (cm ²)	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)	قطر ریشه (میلی‌متر) Root diameter (mm)	وزن خشک اندام زیر زمینی (گرم در بوته) Root dry weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) Shoot dry weight (g.plant ⁻¹)
لاهلزار Lalehzar	1.50	36.99 ^b	25.58 ^{bcd}	2.91 ^{bcd}	6.33 ^{bcd}	2.20 ^e	110.60 ^a	38.26 ^{fg}	8.31 ^{bcd}	8.59 ^d	1.99 ^c
	2.00	31.88 ^d	27.08 ^{bc}	2.83 ^{def}	7.83 ^{ab}	1.99 ^f	90.53 ^{bc}	40.43 ^{ef}	8.92 ^{ab}	14.44 ^{ab}	2.87 ^b
	2.50	24.00 ^f	22.91 ^{cde}	2.71 ^{ef}	5.5 ^{cd}	2.06 ^f	78.60 ^c	36.08 ^g	8.33 ^{bcd}	12.50 ^{bc}	1.92 ^c
بافت Baft	3.00	33.16 ^{cd}	13.67 ^f	2.58 ^f	5.83 ^{cd}	2.75 ^a	86.39 ^c	37.51 ^{fg}	8.82 ^{bc}	10.48 ^{cd}	1.67 ^c
	1.50	41.0 ^a	28.91 ^{ab}	3.20 ^{ab}	4.66 ^d	2.79 ^a	117.42 ^a	47.83 ^c	7.49 ^{de}	14.58 ^{ab}	4.51 ^a
	2.00	35.61 ^{bc}	31.40 ^a	3.06 ^{abc}	8.33 ^a	2.45 ^{bcd}	103.60 ^{ab}	54.96 ^b	9.89 ^a	10.24 ^d	4.91 ^a
اقلید Eqolid	2.50	26.83 ^c	22.25 ^{de}	2.86 ^{cdef}	4.50 ^d	2.77 ^a	110.66 ^a	45.33 ^{cd}	9.30 ^{ab}	9.61 ^d	2.90 ^b
	3.00	33.59 ^{cd}	25.20 ^{bcd}	3.20 ^{ab}	4.66 ^d	2.57 ^b	84.80 ^c	43.33 ^{de}	8.76 ^{bc}	16.02 ^a	2.31 ^{bc}
	1.50	35.59 ^{bc}	24.66 ^{bcd}	3.14 ^{abc}	4.66 ^d	2.52 ^{bc}	87.80 ^c	65.16 ^a	8.55 ^{bcd}	9.66 ^d	2.90 ^b
	2.00	32.24 ^d	27.15 ^{bc}	3.31 ^a	8.33 ^a	2.40 ^d	79.34 ^c	43.46 ^{de}	8.43 ^{bcd}	8.61 ^d	2.08 ^c
	2.50	35.65 ^{bc}	27.64 ^{ab}	2.81 ^{def}	7.16 ^{abc}	2.56 ^b	111.69 ^a	42.81 ^{de}	7.77 ^{cde}	10.58 ^{cd}	4.91 ^a
	3.00	28.66 ^c	19.25 ^e	2.90 ^{cde}	5.00 ^d	2.45 ^{cd}	84.40 ^c	44.45 ^{cde}	7.22 ^e	9.41 ^d	1.96 ^c

در هر ستون، تیمارهای دارای حروف مشترک، اختلاف آماری معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$).

In each column, treatments with the same letters are not different statistically ($P < 0.05$).

الکتریکی محلول غذایی، حاصل اثر منفی افزایش املاح موجود در محلول غذایی شامل مجموعه‌ای از عناصر پرمصرف (سولفات دی هیدروآمونیم، نترات پتاسیم، نترات کلسیم، سولفات منیزیم)، عناصر کم‌مصرف (اسید بوریک، کلرید منگنز، سولفات روی، سولفات مس، اسید مولیبدات و کلات آهن) و مسمومیت ناشی از آن در سطوح بالای هدایت الکتریکی است. همچنین، با توجه به رابطه آنتاگونیستی که بین برخی عناصر غذایی از جمله پتاسیم، کلسیم و منیزیم وجود دارد این احتمال می‌تواند وجود داشته باشد که در سطوح بالاتر هدایت الکتریکی، وجود رقابت بین عناصر غذایی منجر به اختلال در جذب برخی از عناصر در گیاه گردیده و متعاقباً اثر منفی بر رشد گیاه داشته است. در این ارتباط، نقش رقابتی پتاسیم و اختلال در جذب کلسیم و منیزیم در سطوح بالای هدایت الکتریکی در کشت

طبق یافته‌های تحقیق حاضر، در هر یک از سه اکوتیپ مورد بررسی، با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی، ارتفاع و قطر بوته، طول میان‌گره، سطح برگ و قطر ریشه، روند کاهشی نشان داد. بیش‌ترین وزن خشک اندام‌های هوایی در اکوتیپ بافت کرمان با سطوح هدایت الکتریکی ۱/۵ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر و اکوتیپ اقلید فارس با هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. همچنین، اکوتیپ بافت کرمان در هدایت الکتریکی ۳ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین وزن خشک اندام زیرزمینی را نشان داد. با توجه به اینکه هدایت الکتریکی یک عامل مهم در محلول غذایی است که رشد و کیفیت گیاه را از طریق تغییر در جذب عناصر غذایی تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۸) بنابراین، از نتایج این تحقیق می‌توان چنین استنباط کرد که واکنش منفی صفات مورفوفیزیولوژیک به افزایش سطح هدایت

هیدروپونیک شوید (*Anethum graveolens* L.)، گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) و جعفری (*Petroselinum crispum* L.) گزارش شده است (۱۱). برخی محققین اظهار داشتند که هدایت الکتریکی بالا باعث تنش‌های اسمزی و سمیت یونی در گیاه شده و به تبع آن، منجر به کوچک شدن سطح برگ، از بین رفتن ریشه‌های مویین، افزایش تبخیر و تعرق، کاهش فتوسنتز و غیرفعال شدن برخی از هورمون‌ها می‌گردد که نتیجه این امر، کاهش رشد و عملکرد گیاه خواهد بود (۲، ۱۴).

اغلب تحقیقات مورد بررسی نیز حاکی از روند کاهش اغلب صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاهان در شرایط تنش اسمزی ناشی از افزایش غلظت عناصر غذایی موجود در محلول غذایی، در سطوح بالای هدایت الکتریکی در کشت‌های کنترل شده است. به‌عنوان مثال، در کشت هیدروپونیک شیرین‌بیان، استفاده از محلول غذایی هوگلند با غلظت یک چهارم نسبت به غلظت‌های بالاتر، بیش‌ترین رشد را برای گیاه به‌همراه داشت (۳۳). همچنین، در کشت هیدروپونیک گیاه دارویی *Crepidiastrum denticulatum* (Houtt.) عنوان شد که تغییر سطوح هدایت الکتریکی که متاثر از تغییر غلظت عناصر در محلول غذایی می‌باشد، بر خصوصیات رشدی گیاه تاثیرگذار بوده و با افزایش هدایت الکتریکی از محدوده ۲-۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر منجر به صدمات فیزیولوژیک در این گیاه می‌گردد (۳۰). همچنین، تاثیر سطوح هدایت الکتریکی محلول غذایی هوگلند با سطوح هدایت الکتریکی ۰، ۰/۸، ۲/۳ و ۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر در روش هیدروپونیک بر گیاه لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) حاکی از اثر کاهش سطح هدایت الکتریکی ۲/۳ دسی‌زیمنس بر متر روی صفات ریشه ای (طول، قطر و حجم ریشه) بود (۶). در تحقیق دیگر، تغذیه گیاه برگ

قاشقی (*Spathiphyllum wallisii* Regel) در سطوح مختلف هدایت الکتریکی نشان داد که واکنش اندام‌های رویشی گیاه به سطح هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با سطوح هدایت الکتریکی ۲، ۲/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر مطلوب‌تر بود. این محققین علت کاهش وزن خشک اندام‌های رویشی در هدایت الکتریکی بالا را کاهش شاخص کلروفیل، مقدار فتوسنتز و ظرفیت فتوسنتزی گیاه عنوان نمودند (۱۳). همچنین، نتایج تحقیقی بر روی گیاه دارویی *Agastache rugosa* Kuntze حاکی از آن بود که رشد گیاه با افزایش میزان هدایت الکتریکی محلول غذایی در کشت هیدروپونیک کاهش یافت که دلیل احتمالی این امر را کاهش توسعه و بزرگ شدن سلول به‌دلیل کاهش جذب آب و فشار تورژسانس عنوان کردند (۲۰).

در پژوهش حاضر، اکوتیپ بافت در مقایسه با دو اکوتیپ دیگر (لاله‌زار و اقلید) از نظر صفات مورفوفیزیولوژیک بهتر عمل کرد و چنین به نظر می‌رسد که اکوتیپ بافت گیاه شیرین‌بیان از پتانسیل مقاومتی مطلوب‌تری در سطوح بالاتر هدایت الکتریکی محلول غذایی برخوردار بود. به نظر می‌رسد اختلاف در خصوصیات رشدی و نیازهای فیزیولوژیک اکوتیپ‌های مورد مطالعه که بخشی از آن مرتبط با خصوصیات ژنتیکی هر اکوتیپ می‌باشد، در پاسخ متفاوت آن‌ها به تغییرات سطوح هدایت الکتریکی محلول غذایی تاثیرگذار بوده است. در تحقیقی بر روی اکوتیپ بافت گیاه شیرین‌بیان، این گیاه را یک گیاه مقاوم در برابر شرایط بد محیطی، نوسانات اقلیمی، شوری خاک و چرای دام عنوان نمودند (۲۶). در تحقیق دیگری نیز مشخص شد که بقای گیاهان اکوتیپ بافت شیرین‌بیان در فاصله‌های نزدیک به جاده‌ها کاهش یافت که دلیل این امر، کاربرد نمک در این مناطق جهت پایین آوردن نقطه انجماد

تجزیه داده‌های مربوط به صفات بیوشیمیایی سه اکوتیپ گیاه شیرین بیان نشان داد که نوع اکوتیپ بر شاخص کلروفیل، تاثیر معنی داری داشت ($P < 0.01$)، ولی میزان فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل را تحت تاثیر قرار نداد. همچنین، واکنش شاخص کلروفیل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل به سطوح مختلف هدایت الکتریکی از نظر آماری معنی دار بود ($P < 0.01$)، ولی میزان فنل کل تحت تاثیر این تیمار قرار نگرفت. تاثیر نوع اکوتیپ و هدایت الکتریکی نیز بر میزان شاخص کلروفیل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل ($P < 0.01$) و میزان فنل کل ($P < 0.05$) معنی دار بود (جدول ۳).

در فصول زمستان ذکر شد (۲۷). به طور کلی، مقادیر هدایت الکتریکی مورد نظر برای فرمولاسیون محلول‌های غذایی، منعکس کننده نیاز گیاه برای حصول رشد بهتر و مطلوب می‌باشد و بر این اساس از سطوح پایین هدایت الکتریکی در محلول غذایی برای گیاهان کم توقع از نظر نیاز غذایی و از سطوح بالای هدایت الکتریکی برای گیاهان با نیاز غذایی بالا در محلول غذایی استفاده می‌شود. هر چند که باید در نظر داشت مقادیر بسیار کم و یا بسیار زیاد هدایت الکتریکی محلول غذایی به ترتیب منجر به کمبود عناصر غذایی و تضعیف گیاه و یا افزایش تنش شوری و کاهش رشد گیاه می‌گردند (۱۱).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی سه اکوتیپ شیرین بیان (*G. glabra* L.) تحت تاثیر هدایت الکتریکی محلول غذایی.

Table 3- Variance analysis of some biochemical traits of three licorice (*G. glabra* L.) ecotypes under different levels of electrical conductivity of nutrient solution.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares		
		شاخص کلروفیل متر SPAD value	میزان فنل کل Total phenol content	فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل Total antioxidant activity
بلوک Block	2	0.32 ^{ns}	7372.39 ^{**}	7.00 ^{**}
اکوتیپ Ecotype	2	9.20 ^{**}	248.95 ^{ns}	55.82 ^{ns}
هدایت الکتریکی Electrical conductivity	3	58.20 ^{**}	379.21 ^{ns}	30.29 ^{**}
اکوتیپ × هدایت الکتریکی Ecotype* Electrical conductivity	6	71.99 ^{**}	2638.08 [*]	23.87 ^{**}
خطای آزمایشی Error	22	8.21	856.06	1.02
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		4.48	6.07	1.96

^{**}, ^{*} و ^{ns} به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی داری می‌باشند.

^{**}, ^{*}, ns are Significant at the probability level of 5% and 1%, and not significant, respectively.

دسی زیمنس بر متر اختلاف معنی داری نداشت. کمترین مقدار شاخص کلروفیل نیز در اکوتیپ اقلید با سطوح هدایت الکتریکی ۱/۵ و ۳ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۴).

نتایج نشان داد که بیشترین میزان شاخص کلروفیل مربوط به اکوتیپ لاله زار و سطح هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی زیمنس بر متر بود که با اکوتیپ لاله زار در سطح هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی زیمنس بر متر و اکوتیپ بافت با سطح هدایت الکتریکی ۲

غذایی قرار گرفت. بیشترین مقدار این صفت در اکوتیپ لاله‌زار با سطح هدایت الکتریکی ۳ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که تفاوت آماری معنی‌داری با بافت در سطح هدایت الکتریکی ۱/۵، ۲ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و اقلید در سطح هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر نداشت. کم‌ترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز به اکوتیپ اقلید با سطح هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت که تفاوت آماری معنی‌داری با اقلید با هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و بافت با هدایت الکتریکی ۳ دسی‌زیمنس بر متر نداشت (جدول ۴).

همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان فنل کل در اکوتیپ لاله‌زار با سطح هدایت الکتریکی محلول غذایی ۳ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با اکوتیپ بافت در سطوح هدایت الکتریکی ۱/۵ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و اکوتیپ اقلید در سطح هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر نداشت. بقیه تیمارهای کاربردی دارای تاثیر مشابهی از نظر آماری بر صفت میزان فنل کل بودند. در این تحقیق، مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تاثیر اثر متقابل اکوتیپ و هدایت الکتریکی محلول

جدول ۴- تأثیر هدایت الکتریکی محلول غذایی بر برخی صفات بیوشیمیایی سه اکوتیپ شیرین‌بیان (*G. glabra* L.).
Table 4- The effect of electrical conductivity of nutrient solution on some biochemical traits of three licorice (*G. glabra* L.) ecotypes.

اکوتیپ Ecotype	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity ($ds.m^{-1}$)	شاخص کلروفیل متر SPAD value	میزان فنل کل (میلی‌گرم در گرم عصاره) Total phenol content ($mg.g^{-1}$ extract)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل (درصد) Total antioxidant activity (%)
لاله‌زار Lalehzar	1.50	55.25 ^{ab}	1.05 ^{ab}	58.75 ^{cd}
	2.00	53.10 ^{bcd}	1.01 ^{ab}	63.47 ^{bc}
	2.50	56.55 ^a	1.02 ^{ab}	62.47 ^{bcd}
	3.00	51.05 ^{def}	1.16 ^a	71.12 ^a
بافت Baft	1.50	49.31 ^{fg}	1.09 ^{ab}	65.22 ^{abc}
	2.00	54.35 ^{abc}	0.96 ^b	68.62 ^{ab}
	2.50	49.70 ^{ef}	1.11 ^{ab}	65.63 ^{abc}
	3.00	52.25 ^{cd}	1.01 ^{ab}	59.55 ^{cd}
اقلید Eqlid	1.50	47.16 ^{gh}	1.03 ^{ab}	62.31 ^{bcd}
	2.00	52.01 ^{cde}	1.13 ^{ab}	67.72 ^{ab}
	2.50	53.81 ^{bc}	1.07 ^{ab}	56.12 ^d
	3.00	45.81 ^h	1.01 ^{ab}	65.88 ^{abc}

در هر ستون، تیمارهای دارای حروف مشترک، اختلاف آماری معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$).

In each column, treatments with the same letters are not different statistically ($P < 0.05$).

را دارند. این خواص به علت داشتن گروه هیدروکسیل بوده که غلظت آن نیز در برابر تنش افزایش می‌یابد (۱۲). بر این اساس، انتظار می‌رود که افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدان و فنلی در شرایط تنش‌های محیطی یک راهکار دفاعی از طرف گیاه برای مقابله با رادیکال‌های آزاد باشد که این امر در تحقیق حاضر در اکوتیپ لاله‌زار بیش‌تر نمود پیدا کرد. یافته‌های تحقیقی که روی گونه‌ای کلم (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis*) صورت

مطالعات مختلف نشان داده است که متابولیت‌های ثانویه ترکیبات پیچیده شیمیایی گیاهی هستند که در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی تولید شده و غلظت آن‌ها تحت تاثیر سطح تنش موجود در محیط قرار می‌گیرد (۷، ۹، ۳۷). آنتی‌اکسیدان‌ها ترکیباتی هستند که در غلظت‌های خیلی کم قادر به پیش‌گیری یا به تاخیر انداختن اکسیداسیون ناشی از رادیکال‌های آزاد هستند. فنل‌ها نیز ترکیبات بسیار مهم گیاهی هستند که توانایی جمع کردن رادیکال‌های آزاد

شرایط اکولوژیکی زیستگاه هر یک از آنها، می‌تواند متفاوت بوده و متعاقبا در گزینش اکوتیپ مطلوب‌تر برای کشت هیدروپونیک تاثیرگذار خواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

بر طبق یافته‌های پژوهش حاضر، گیاه شیرین‌بیان، در سطوح هدایت الکتریکی پایین از نمود بهتری برخوردار است. در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی، اکوتیپ بافت نسبت به اکوتیپ‌های لاله زار و اقلید از بیش‌ترین مقادیر صفات مورد مطالعه برخوردار بود. همچنین، سطح هدایت الکتریکی ۱/۵ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با سطوح هدایت الکتریکی ۲/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر مناسب‌تر عمل کرد. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، اکوتیپ بافت کرمان و پس از آن اقلید فارس در محدوده هدایت الکتریکی ۱/۵ تا ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمارهای دیگر، از نظر صفات مورفوفیزیولوژیک برتری نشان دادند. هرچند مطالعات بیش‌تری برای ارزیابی سطوح مناسب هدایت الکتریکی محلول غذایی در سیستم کشت هیدروپونیک شیرین‌بیان به‌منظور بهینه‌سازی فرمول محلول غذایی مطلوب و بهبود رشد، عملکرد و خصوصیات کیفی آن مورد نیاز می‌باشد.

گرفت حاکی از آن بود که افزایش سطوح هدایت الکتریکی باعث کاهش رشد گیاه و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنلی گردید که علت آن را افزایش سمیت و تنش شوری در غلظت‌های بالای هدایت الکتریکی محلول غذایی عنوان کردند (۱۴). در مطالعه دیگری عنوان شد که با افزایش سطوح شوری در گیاه دارویی پونه معطر (*Mentha pulegium* L.) در سیستم هیدروپونیک با استفاده از محلول غذایی هوگلند، فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت (۲۵). همچنین، گزارش شده است که در کشت هیدروپونیک گیاه دارویی *C. denticulatum* Houtt. افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی (۲-۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر) منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنل کل و شیکوریک اسید در این گیاه گردید (۳۰).

به‌طور کلی، اگر میزان هدایت الکتریکی محلول‌های غذایی به‌درستی تنظیم و مدیریت نشود سبب به‌هم خوردن سیستم محلول غذایی و کارایی بسیاری از عناصر موجود مورد نیاز گیاه، خواهد شد. لذا مدیریت هدایت الکتریکی محلول غذایی برای دستیابی به رشد و عملکرد بهینه گیاه در سیستم‌های کشت کنترل شده از جمله هیدروپونیک بایستی به‌دقت مورد توجه قرار گیرد. البته واکنش اکوتیپ‌های مختلف گیاهی در شرایط کنترل شده، با توجه به

References

1. Abe, N., Murata, T., and Hirota, A. 1998. Novel oxidized sorbicillin dimers with 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl-radical scavenging activity from a fungus. *Biosci, Biotechnol. Biochem.* 62: 11. 2120-2126.
2. Abou-Hadid, A.F., Abd-Elmoniem, E.M., El-Shinawy, M.Z., and Abou-Elsoud, M. 1995. Electrical conductivity effect on growth and mineral composition of lettuce plants in hydroponic system. *Acta Hort.* 434: 59-66.
3. Afreen, F., Zobayed, S.M., and Kozai, T. 2005. Spectral quality and UV-B stress stimulate glycyrrhizin concentration of *Glycyrrhiza uralensis* in hydroponic and pot system. *Plant Physiol. Biochem.* 4312: 1074-1081.
4. Ahmadi Hosseini, S. M., Souri, S. K., Farhadi, N., and Omidbeigi, R. 2016. Investigation of morphological diversity and dry root extract in different licorice ecotypes (*Glycyrrhiza glabra* L.) in 5 regions in 5 provinces of the country. *Range.* 8: 1. 1-12. (In Persian)

5. Akiyama, H., Nose, M., Ohtsuki, N., Hisaka, S., Takiguchi, H., Tada, A., Sugimoto, N., Fuchino, H., Inui, T., Kawano, N., Hayashi, S., Hishida, A., Kudo, T., Sugiyama, K., Abe, Y., Mutsuga, M., Kawahara, N., and Yoshimatsu, K. 2017. Evaluation of the safety efficacy of *Glycyrrhiza uralensis* root extracts produced using artificial hydroponic and artificial hydroponic field hybrid cultivation systems. *J. Nat. Med.* 71: 265-271.
6. Babaei Moghadam, O., Shahnazari, A., Ziatabar-Ahmadi, M., and Aghajani, G. 2014. Simulation of different deficit irrigation methods in hydroponic cultivation through saline tension application on physical characteristics of the cowpea bean roots. *J. Sci. Technol. Greenh Cult.* 5: 3. 11-19. (In Persian)
7. Baltruschat, H., Fodor, J., Harrach, B.D., Niemczyk, E., Barna, B., Gullner, G., and Zuccaro, A. 2008. Salt tolerance of barley induced by the root endophyte *Piriformospora indica* is associated with a strong increase in antioxidants. *New Phytol.* 180: 2. 501-510.
8. Barati, Z. 2019. Licorice ID card. Office of export coordination of agricultural products and alterant industries of flower, medicinal, edible, decorative and industrial plants, Ministry of industry, mines, trade. Deputy for export development of goods and services. 10 p.
9. Bhusan, D., Das, D.K., Hossain, M., Murata, Y., and Hoque, M.A. 2016. Improvement of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by increasing antioxidant defense systems using exogenous application of proline. *Aust. J. Crop Sci.* 10: 1. 50-56.
10. Bieberstein, Ph., Xu, Y., Leslie Gunatilaka, A.A., and Gruener, R. 2014. Biomass production and withaferin a synthesis by *Withania somnifera* grown in aeroponics and hydroponics. *HortSci.* 49: 12. 1506-1509.
11. Currey, C., Walters, K., and Flax, N. 2019. Nutrient solution strength does not interact with the daily light integral to affect hydroponic Cilantro, Dill, and Parsley growth and tissue mineral nutrient concentrations. *Agron.* 9: 389. 1-14.
12. Davarynejad, G., Taghizadeh, S.F., and Asili, J. 2017. Effect of different solvents on total phenolic contents and antioxidant activity of *Zizyphus jujube* Miller fruits. *J. Hort. Sci.* 31: 1. 158-166. (In Persian)
13. Dewir, Y.H., Chakrabarty, D., Ali, M.B., Hahn, E.J., and Paek, K.Y. 2005. Effects of hydroponic solution EC, substrates, PPF and nutrient scheduling on growth and photosynthetic competence during acclimatization of micropropagated *Spathiphyllum* plantlets. *J. Plant Growth Regul.* 46: 3. 241-251.
14. Ding, X., Jiang, Y., Zhao, H., Guo, D., He, L., Liu, F., Zhou, Q., Nandwani, D., Hui, D., and Yu, J. 2018. Electrical conductivity of nutrient solution influenced photosynthesis, quality, and antioxidant enzyme activity of pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis*) in a hydroponic system. *PLoS ONE.* 13: 8. e0202090.
15. Estaji, A., Roosta, H.R., and Raghmi, M. 2017. Comparison of vegetative traits and root yield of licorice (*Glycyrrhiza glabra*) influenced by different sources of nitrogen in several soilless and soil culture systems. *J. Sci. Technol. Greenh Cult.* 8: 2. 105-116. (In Persian)
16. Haji Mahdipour, H., Amnzadeh, Y., Hasanloo, T., Shekarchi, M., Abedi, Z., and Pirali Hamedani, M. 2008. Investigation of the quality of licorice roots collected from different habitats in Ir. *J. Med. Plants.* 7: 3. 106-114. (In Persian)
17. Hao, X., and Papadopoulos, A.P. 2004. Effect of diurnal EC variation on fruit yield and quality of greenhouse tomatoes grown in Rockwool. *Acta Hort.* 633: 32. 263-269.
18. Hayden, A.L. 2006. Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crops. *Hortic. Sci.* 41: 3. 536-538.
19. Khanahmadi, M.M., Naghdi Badi, H., Akhondzadeh, S., Khalighi Sigaroodi, F., Mehrafarin, A., Shahriari, S., and Hajiaghaee, R. 2013. A review on medicinal plant of *Glycyrrhiza glabra* L. *J. Med. Plants.* 12: 46. 1-12. (In Persian)
20. Kim, S.J., Park, J.E., Bok, G.J., Kanth, B.K., Lam, V.P., and Park, J.S. 2018.

- High electrical conductivity of nutrient solution and application of methyl jasmonate promote phenylpropanoid production in hydroponically grown *Agastache rugosa*. *Hortic. Sci. Technol.* 36: 6. 841-852.
21. Kowalczyk, K., Gajc-Wolska, J., and Rutkowska, M. 2012. Effect of the nutrient solution electrical conductivity (EC) on the growth, development and quality of Endive (*Cichorium endivia* L.) cultivated under covers. *Acta Hort.* 927: 339-344.
 22. Maggini, R., Kiferle, C., Guidi, L., Pardossi, A., and Raffaelli, A. 2012. Growing medicinal plants in hydroponic culture. *Acta Hort.* 952: 697-704.
 23. Maggio, A., Raimondi, G., Martino, A., and De Pascale, S. 2006. Soilless cultivation of saffron in mediterranean environment. *Acta Hort.* 718: 60. 515-522.
 24. Mehravar, H. 2003. Technology and entrepreneurship in hydroponic and soilless beds. *Urumia Jihad-e-Daneshgahi Pub.* 206 p. (In Persian)
 25. Merati, M.J., Niknam, V., Hassanpour, H., and Mirmasoumi, M. 2016. Comparative effects of salt stress on growth and antioxidative responses in different organs of pennyroyal (*Mentha pulegium* L.). *J. Plant Res. (Ir. J. Biol.)*. 28: 5. 1097-1107. (In Persian)
 26. Mohammadi, S. 2017. Investigation of the effects of different land uses on some chemical properties of soil in Jamalabad region of Baft County. *Rangeland and Watershed Manag. (Ir. J. Nat. Resour.)*. 69: 4. 1063-1073. (In Persian)
 27. Mohammadi, S., and Panahi, F. 2017. Evaluation of the effect of de-icing salt along snowy road on vegetation composition and diversity (Case Study: mountain road of Godar Kafanoieh of Baft as the roof of Iranian desert). *Ir. J. Ecohydrol.* 4: 2. 509-521. (In Persian)
 28. Moya, C., Oyanedel, E., Verdugo, G., Flores, M., Urrestarazu, M., and Alvaro, J.E. 2017. Increased electrical conductivity in nutrient solution management enhances dietary and organoleptic qualities in soilless culture Tomato. *HortSci.* 52: 6. 868-872.
 29. Ozturk, M., Altay, V., Hakeem, K.R., and Akcicek, E. 2017. Licorice from botany to phytochemistry. Springer Pub. 139 p.
 30. Park, S.Y., Oh, S.B., Kim, S.M., Cho, Y.Y., and Oh, M.M. 2016. Evaluating the effects of a newly developed nutrient solution on growth, antioxidants, and Chicoric acid contents in *Crepidiastrum denticulatum*. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 57: 5. 478-486.
 31. Rafie, A.R., Olczyk, T., and Guerrero, W. 2003. Hydroponic production of fresh ginger roots (*Zingiber officinale*) as an alternative method for South Florida. In *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 8-10 June. 116: 51-52.
 32. Samarakoon, U., Palmer, J., Ling, P., and Altland, J. 2020. Effects of electrical conductivity, pH, and foliar application of Calcium Chloride on yield and tipburn of *Lactuca sativa* grown using the nutrient-film technique. *HortSci.* 55: 8. 1265-1271.
 33. Sato, S., Ikeda, H., Furukawa, H., Murata, Y., and Tomoda, M. 2004. Effects of nutrient solution concentration on inorganic and glycyrrhizin contents of *Glycyrrhiza glabra* Linn. *Yakugaku Zasshi.* 124: 10. 705-709.
 34. Singleton, V.L., and Rossi, I.A. 1995. Colorimetry of total phenolics with phosphor- molybdic phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticul.* 16: 144-158.
 35. Thengane, S.R., Kulkarni, D.K., and Krishnamurthy, K.V. 1998. Micropropagation of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) through shoot tip and nodal cultures. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* 34: 4. 331-334.
 36. Vesal, S., Alizadeh Zamhariri, F., and Ghaemi, M. 2015. Complete hydroponic guide without soil cultivation. Mashhad University Jihad Pub. 18-21. (In Persian)
 37. Yang, L., Wen, K.S., Ruan, X., Zhao, Y.X., Wei, F., and Wang, Q. 2018. Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Mol.* 23: 762. 1-26.
 38. Yu, J., Jang, I.B., Suh, S.J., and Kweon, K.B. 2016. Effects of nutrient solution on growth and amount of ginsenoside of two years old Ginseng grown under

hydroponic culture. Kor J. Med. Crop Sci. media, NO₃⁻/NH₄⁺ ratios and watering regimes. Can. J. Plant Sci. 86: 3. 809-815.

24: 3. 198-206.

39. Zheng, Y., Dixon, M., and Saxena, P. 2006. Greenhouse production of *Echinacea purpurea* L. and *E. angustifolia* using different growing