DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2023.20304.1938

تأثیر سیستم کشت بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه علف لیمو (*Cymbopogon citratus*)

(مقالهٔ پژوهشی)

۱- پرویز علیزاده، دانشجوی رشته بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۲- حمید سودایی‌زاده*، دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
hsodaie@yazd.ac.ir
۳- اصغر مصلح‌آرانی، استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۴- محمدعلی حکیم‌زاده، دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۷
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴

چکیده

محدودیت اراضی مستعد کشت گیاهان دارویی در مناطق خشک منجر به بهره‌برداری بیش از حد از گیاهان مراتع برای مصارف دارویی شده که پیامدهای مخرب زیست‌محیطی زیادی بدنبال داشته است. مطالعه حاضر با هدف امکان استفاده از سیستم‌های هیدروپونیک و آکواپونیک به عنوان روش‌های جایگزین برای کشت گیاه علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) اجرا گردید. بدین منظور، آزمایشی بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار در دانشگاه یزد اجرا گردید و اثر سه محیط کشت هیدروپونیک، آکواپونیک و خاک بر خصوصیات مختلف گیاه علف لیمو بررسی گردید. نتایج بدست آمده بیان‌گر تأثیر معنی‌دار محیط کشت بر برخی از خصوصیات مرفولوژیکی گیاه علف لیمو از قبیل طول ریشه، قطر غلاف، ارتفاع و زیست‌توده خشک کل گیاه بود، به طوری که سیستم هیدروپونیک صفات مذکور را نسبت به کاشت خاکی به ترتیب به میزان ۱۳۳، ۳۳/۳، ۴۰/۹ و ۵۶/۵ درصد افزایش داد. سیستم کاشت آکواپونیک پس از هیدروپونیک قرار گرفت و صفات مورد بررسی را در مقایسه با کشت در بستر خاک بطور معنی‌داری افزایش داد. نوع بستر کشت بر غلظت عناصر ماکرو و میکرو اندام هوایی گیاه (بجز پتاسیم) نیز تأثیر معنی‌داری داشت. بیشترین مقدار ازت در سیستم هیدروپونیک، بیشترین مقدار فسفر و منیزیم در سیستم آکواپونیک و بیشترین مقدار کلسیم، سدیم، آهن و روی در سیستم کشت در خاک مشاهده شد. همچنین میزان کلروفیل، پروتئین، چربی، فیبر و خاکستر گیاه نیز تحت تأثیر محیط کشت قرار گرفت در حالی که تیمارهای مورد بررسی اثر معنی‌داری بر غلظت پرولین و هیدرات‌های کربن گیاه نداشتند. به طورکلی، نتایج این تحقیق بیانگر تفاوت سه بستر مورد بررسی بر صفات مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی علف‌لیمو به عنوان یک گیاه دارویی در مناطق خشک بوده و امکان استفاده از محیط‌های کشت هیدروپونیک و آکواپونیک به عنوان جایگزینی مناسب برای کشت این گیاه در این مناطق را نشان داد. با این حال، ضروری است که جنبه‌های اقتصادی تولید گیاه علف‌لیمو در سیستم‌های مذکور و همچنین اثر بستر کاشت بر ترکیبات ثانویه این گیاه در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آکواپونیک، بستر کشت، هیدروپونیک، علف لیمو، گیاهان دارویی.

مقدّمه

گیاهان دارویی در بیشتر کشورهای توسعه یافته و یا در حال توسعه، به عنوان داروهای خانگی، محصولات دارویی بدون نسخه و حتی به عنوان مواد خام مؤثره دارویی در صنعت داروسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند و بخش قابل توجهی از بازار جهانی دارو را به خود اختصاص می‌دهند [۱]. بر اساس پیش‌بینی‌های بعمل آمده، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ میلادی به ۱۰ میلیارد نفر خواهید رسید [۲،۳]. این افزایش جمعیت، منابع طبیعی از جمله گیاهان، آب و زمین را به شدت تحت فشار داده و منجر به بهره‌برداری بی‌رویه از این منابع می‌گردد [۴،۵،۶].

عوامل انسانی، از جمله شیوه‌های سنتی کشاورزی، محرک‌های مهمی برای تخریب محیط زیست هستند [۳]. کشت سنتی (مبتنی بر خاک) اغلب با نهاده‌های بالای کودهای شیمیائی، آفت‌کش‌ها و مصرف بی‌رویه آب همراه است [۷]. علاوه بر آن، بسترهای خاکی به دلایل متعددی از جمله هزینه‌های بالا جهت آزمایش‌های اولیه تعیین میزان عناصر، عدم‌کنترل EC و pH، بیماری‌های خاکزی، علف‌های هرز و مسائل مربوط به تناوب با مشکل‌های زیادی مواجه است [۸].

کمبود آب و عدم‌امکان کنترل دقیق تغذیه گیاه در سیستم‌های خاکی سبب شده که اخیراً نیاز به اتخاذ روش‌های کشت سازگار با محیط زیست درک شده و سیستم‌های کشت هیدروپونیک و آکواپونیک به طور فزاینده‌ای برای کشت سبزیجات استفاده شود. هر دو فنآوری کشت می‌توانند بهره‌برداری بی‌رویه از برخی گیاهان دارویی در معرض خطر انقراض را از طبیعت محدود، هدررفت آب را در طول کشت محصولات کاهش و تجاری‌سازی گیاهان دارویی را افزایش دهند [۹]. با این حال، استفاده از این سیستم‌ها برای کشت و تولید گیاهان دارویی جدید بوده و ضروری است مطالعات کافی در این زمینه صورت پذیرد.

در روش آکواپونیک پرورش ماهی و کاشت گیاهان دارویی به طور همزمان صورت گرفته و در حقیقت هیدروپونیک و آبزی‌پروری را ادغام می‌کند. آکواپونیک به‌عنوان یکی از کارآمدترین سیستم‌های تولید در نظر گرفته می‌شود [۱۰] که در آن پساب پرورش آبزیان بازیافت و استفاده مجدد می‌شود که بدین طریق از هدررفت آب جلوگیری کرده و همچنین آلودگی اکوسیستم‌های مجاور را به حداقل می‌رساند [۱۱].

در روش هیدروپونیک، نوع دیگری از کشت بدون خاک، گیاهان در محلول مغذی استریل و بستر بی‌اثر رشد می‌کنند [۱۰]. مطالعات صورت گرفته بیانگر آن است که کشت گیاهان دارویی تحت شرایط محیطی دقیق و کنترل‌شدهٔ موجود در یک سیستم هیدروپونیک، کیفیت و تولید زیست‌توده را در مقیاس تجاری بهبود می‌بخشد [۱۲،۱۳]. این رویکرد در مناطقی با تنش‌های محیطیِ پایدار مانند سرمای شدید، گرما و خشکسالی مفید بوده و چشم‌انداز استفاده از این سیستم‌های کشت برای بهینه‌سازی سنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی بسیار روشن است [۱۴،۱۵].

محیط‌های کشت هیدروپونیک و آکواپونیک به طور کلاسیک دارای حجم ناحیهٔ ریشهٔ بسیار کمتر، ظرفیت نگهداری آب بیشتر، کشش آب کمتر، هدایت هیدرولیکی بهتر و اکسیژن محلول بیشتر در محلول آبیاری هستند. بنابراین، کشت‌کنندگان می‌توانند از طریق بهره‌گیری از این محیط‌های کشت، رشد گیاه و کمیت یا کیفیت عملکرد را کنترل کنند [۱۶].

مطالعات محدودی در مورد استفاده از بسترهای بدون خاک در تولید گیاهان دارویی انجام شده است. نتایج اثر کشت خاکی و دو روش بدون خاک بر رشد گیاه ریحان نشان داد که از نظر در صد سبزشدن بین روش‌های کشت اختلاف معنی‌دار وجود نداشت، ولی در چین اول ریحان، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن گیاه، تعداد انشعابات ساقه و درصد گلدهی در دو روش بدون خاک نسبت به بستر خاک افزایش یافت [۸].

نتایج بررسی تأثیر بستر کاشت بر رشد و عملکرد سنبل‌الطیب تأیید نمود که طول ریشه و وزن تر ریشه در سیستم خاکی نسبت به سیستم هیدروپونیک بیشتر است، در حالی که از نظر وزن خشک ریشه و وزن تر و خشک شاخساره گیاه، سیستم هیدروپونیک عملکرد بهتری از خود نشان داد [۱۷]. یافته‌های مطالعه دیگر [۱۸] نشان داد که گیاه شیرین‌بیان در سیستم کشت هیدروپونیک و هواکشت از ارتفاع، قطر ریشه و ساقه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه و در نهایت، عمکرد ریشه بیشتری نسبت به سیستم خاکی برخوردار بود. مقایسه اثر دو نوع سیستم کاشت اکواپونیک و خاکی بر گیاه ریحان نشان داد که گیاهان در سیستم اکواپونیک از ارتفاع و طول ریشه بیشتری در مقایسه با کاشت خاکی برخوردار بودند. همچنین گیاهان رشدیافته در سیستم اکواپونیک از میزان نیتروژن و فسفر بیشتری در مقایسه با کاشت خاکی برخوردار بودند در حالی که از نظر پتاسیم و کلسیم این روند برعکس بود [۱۹].

نتایج مقایسهٔ سه روش هیدروپونیک، آکواپونیک و کاشت مزرعه‌ای بر عملکرد، ترکیبات ثانویه و خاصیت

ضدقارچی گیاه بی‌مرگ (*Helichrysum odoratissimum*) نشان داد که از نظر ارتفاع گیاه، و وزن تر و خشک بین دو سیستم هیدروپونیک و آکواپونیک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین مقدار فلاونول در سیستم هیدروپونیک و بیشترین خاصیت قارچ‌کشی عصاره در سیستم اکواپونیک ملاحظه گردید [۲۰]. نتیجه تحقیق [۲۱] نشان داد که ارتفاع و میزان کلروفیل دو رقم شاهدانه به طور معنی‌داری در سیستم کاشت اکواپونیک در مقایسه با سیستم هیدروپونیک کمتر بود. همچنین میزان ازت و پتاسیم موجود در قسمت هوایی شاهدانه در سیستم هیدروپونیک از سیستم اکواپونیک بیشتر بود.

علف لیمو (Lemon grass) با نام علمی (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) متعلق به خانواده Poaceae، به طور گسترده‌ای در مناطق حاره و نیمه‌حاره دنیا پراکنده است و بومی کشورهای هند و سریلانکا می‌باشد. علف لیمو گیاهی است چندساله که بصورت توده‌های متراکم رشد می‌کند. ارتفاع آن تا ۱/۸ متر و قطر تاج‌پوشش آن به حدود ۱/۲ متر می‌رسد. این گیاه دارای ساقه‌ای بلند و برگ‌های خشن، باریک و دراز به پهنای ۲/۵-۱/۳ سانتیمتر و طول ۹۰ سانتیمتر بوده که در صورت شکسته‌شدن بوی خوبی از آن‌ها متصاعد می‌شود [۲۲].

این گیاه منبع مهم تأمین اسانس مورد استفاده در صنایع غذایی و بهداشتی، به عنوان طعم‌دهنده و معطرکننده، و در صنایع دارویی نیز مورد توجه می‌باشد [۲۳]. معمولاً تمام قسمت‌های علف لیمو (ریشه، ساقه و برگ) مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملکرد ماده خشک آن حدود ۴ تن در هکتار می‌باشد. روغن اسانس علف لیمو دارای خواص دارویی مختلفی مانند خاصیت ضدباکتری، ضدآمیب، ضداسهال، ضدقارچی، ضدمالاریا، کاهش قند خون و آنتی‌اکسیدانی است. همچنین علف لیمو دارای فعالیت ضدسرطانی، فعالیت آنتی‌اکسیدان و ضدروماتیسمی است. علاوه بر این، علف‌لیمو خواص ضدالتهابی نیز دارد [۲۴، ۲۵، ۲۶].

از آنجا که نوع بستر کاشت بر رشد و مواد مؤثره گیاهان دارویی تأثیر بسزایی دارد [۲۷، ۲۸، ۲۹]، بنابراین، ضروری است که تحقیقات کافی در این زمینه صورت پذیرد. بر اساس بررسی به عمل آمده، تا کنون مطالعه‌ای بر روی مقایسهٔ سه سیستم کاشت آکواپونیک، هیدروپونیک و خاک، بر روی رشد و عملکرد علف لیمو صورت نگرفته است. این تحقیق به منظور بررسی تأثیر نوع بستر بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه علف لیمو در محیط گلخانه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

اجرای آزمایش و اِعمال تیمارها

این تحقیق در گلخانهٔ پژوهشی دانشگاه یزد در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار اجرا گردید. در این آزمایش تأثیر سه نوع بستر کاشت شامل: ۱) هیدروپونیک؛ ۲) آکواپونیک؛ و ۳) کشت در بستر خاکی، بر خصوصیات مرفو-فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه علف لیمو مورد بررسی قرار گرفت.

سیستم هیدروپونیک مورد استفاده از نوع NFT بوده که در آن، جهت کشت گیاه از گلدان‌هائی به طول ۱ متر با عرض ۰/۲۵ متر و ارتفاع مفید ۰/۳ متر با درِ حفره‌دار استفاده گردید. در این سیستم از ماده لیکا بعنوان بستر کشت استفاده شد و در هر گلدان تعداد ۳ پایه گیاهی کشت گردید. غلظت عناصر محلول غذائی سیستم هیدروپونیک بر اساس نیاز غذایی گیاه علف لیمو و بر پایه محلول هوگلند تهیه شد (جدول ۲).

اسیدیته محلول هیدروپونیک (pH) بین ۶/۵ تا ۷/۵ در تمام مراحل رشد گیاه توسط اسید کلریدریک (HCl) و هیدروکسید پتاسیم نرمال (KOH) تنظیم شد. سیستم کشت آکواپونیک چرخشی شامل دو بخش هیدروپونیک و آکواپونیک بود. در این سیستم از مخازن استوانه‌ای برای پرورش ماهی و از مخازن مخروطی برای زلال‌سازی و از مخازن دایره‌ای با دهانه گشاد جهت افزایش سطح تماس باکتری با بسترهای بیوفیلتر بمنظور بالابردن کارائی فرآیند نیتریفیکاسیون در بیوفیلتر استفاده شد. پساب مخازن پرورش ماهی پس از ورود به مخزن زلال‌ساز مکانیکی و تصفیه ذرات جامد درشت، وارد مخازن بیوفیلتر و در مرحله آخر، وارد مخازن گاززدائی شد. آب مخزن بیوفیلتر که حاوی بستر مواد پلاستیکی حفره‌دار برای فعالیت باکتری‌های نیتروزوموناس و نیتروباکتر بود با

استفاده از توری با مش ریزتر از زلال‌ساز برای جداسازی مواد جامد معلق ریز صاف گردید. سپس آب خروجی از بیو فیلترها به مخازن گاززدائی جهت خروج گازهای ناشی از فرآیند نیترفیکاسیون هدایت و پس از گاززدائی به بخش هیدروپونیک (واحد اصلی کشت) منتقل و توسط شیرهای جداکننده به ۵ جریان (به تعداد تکرارهای آزمایش) با دبی برابر که هر کدام به سیستم NFT بخش هیدروپونیک متصل بودند، تقسیم شد.

در این تحقیق از ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) که از یک مرکز پرورش ماهی در استان قم تهیه شده بود، استفاده شد. ماهی‌ها در طول روز در دو نوبت صبح و عصر به میزان ۶ تا ۱۰ درصد وزن بدن با غذای ماهی محتوی ۳۷ درصد پروتئین تغذیه شدند و خوراک روزانه بر این اساس تنظیم شد. محلول مورد استفاده در محیط کشت آکواپونیک بر اساس محدوده مجاز کیفیت آب برای اجزای این سیستم کشت [۳۰] تهیه گردید (جدول ۱).

با توجه به تغذیه ماهی‌ها با خوراک محتوی ۳۷ درصد پروتئین، ویژگی‌های کیفی آب مانند دما، pH، اکسیژن محلول، قلیائیت کل و سختی کل آب در محدوده قابل قبولی برای ماهی و همچنین رشد گیاه و باکتری‌ها بودند (جدول ۲). برای بررسی کیفیت آب در محیط کشت آکواپونیک، از آب خروجی مخزن بیوفیلتر استفاده شد. در این سیستم همانند دو محیط کشت هیدروپونیک، در هر تکرار از ۳ پایه گیاهی استفاده شد.

جدول۱- محدوده مجاز ویژگی‌های کیفی آب برای اجزاء محیط کشت آکواپونیک [۱۹]

موجود زنده	دما (°c)	pH	آمونیاک (ppm)	نیتریت (ppm)	نیترات (ppm)	اکسیژن محلول (ppm)
ماهی آب سرد	۱۸- ۱۰	۸/۵ – ۶	<۱	<۰/۱	<۴۰۰	۸ – ۶
ماهی آب گرم	۳۲- ۲۲	۸/۵ – ۶	<۳	<۱	<۴۰۰	۶ – ۴
باکتری	۳۴- ۱۴	۸/۵ – ۶	<۳	<۱	-	>۳
گیاهان	۳۰- ۱۶	۷/۵ – ۵/۵	<۳۰	<۱	-	۸ – ۴

در سیستم کشت خاک، از خاکی با بافت لومی با خصوصیات فیزیکوشیمیایی مندرج در جدول ۲ استفاده شد. هر تکرار آزمایش شامل ۵ گلدان به عنوان بستر کشت اصلی به طول ۱، عرض ۰/۲۵ و ارتفاع ۰/۳ متر بود. پس از پرکردن بسترهای کشت، تعداد سه نشاء گیاه علف لیمو در هر گلدان کشت شد و بر اساس نیاز آبی گیاه، آبیاری انجام گردید. نیاز آبی گیاه پس از تعیین ظرفیت زراعی و اندازه-گیری سایر خصوصیات خاک بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید [۳۱]:

$$V_n = (FC-PWP)/100 \times \rho b \times Vp \times MAD \qquad (۱)$$

در این رابطه: V_n = حجم آب آبیاری مورد نیاز؛ FC = ظرفیت زراعی (درصد)؛ PWP = نقطه پژمردگی (درصد)؛ ρb = وزن ظاهری مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)؛ Vp = حجم گلدان (سانتیمتر مکعب)؛ و MAD = ظرفیت مجاز تخلیه بر اساس نوع بافت خاک (لومی) در دامنه ۴۰ تا ۵۵ درصد می‌باشد که در این تحقیق برابر با ۵۰ درصد مجاز محاسبه شد.

پس از گذشت ۶ ماه از از شروع آزمایش، نمونه‌های گیاهی در مرحله پنجه‌زنی کامل و قبل از گل‌دهی برداشت و پس از شستشو با آب مقطر اندام‌هوایی از ریشه جدا گردید. در حین و پس از برداشت گیاهان صفات مرفولوژیکی از قبیل طول ریشه، قطر غلاف، طول برگ، عرض برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام‌های رویشی (ریشه، غلاف و برگ) و زیست‌توده خشک محاسبه گردید. از کولیس برای اندازه‌گیری قطر غلاف و از متر برای اندازه‌گیری طول اندام گیاه استفاده شد. وزن خشک گیاه نیز پس از خشک‌شدن نمونه‌ها در سایه و هوای آزاد (۲۵ ± ۲°C) ثبت گردید.

برای تعیین پارامتر وزن تر و وزن خشک از ترازوی آزمایشگاهی Sartarius مدل BP211D با دقت ۰/۰۰۱ استفاده شد. همچنین صفات فیزیولوژیکی گیاه شامل میزان کلروفیل a و b، پرولین و غلظت عناصر پرمصرف و

کم‌مصرف و در نهایت صفات بیوشیمیایی نظیر میزان پروتئین، چربی، فیبر، خاکستر و هیدروکربنات‌های بافت‌های هوایی گیاه اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- جدول ترکیبات عناصر محلول هیدروپونیک، اکواپونیک و محتوی عناصر موجود در خاک

ویژگی	هیدروپونیک*	آکواپونیک*	خاک**
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس/ سانتیمتر)	۲/۱۴	۰/۰۷۴	۳/۴۲
دمای آب (سانتیگراد)	۲۴	۲۴	۲۵
اکسیژن محلول (میلی‌گرم/ لیتر)	۶/۱	۵/۶۰	-
اسیدیته (pH)	۷/۵۵	۷/۸۰	۸/۱۳
آمونیوم-N	۶۲/۸	۰/۱۶	-
نیتریت (NO_2)	-	۰/۲۰	-
نیترات (NO_3)	۵۸/۹	۲۵/۵۴	-
فسفر (P)	۳۱	۹/۷۵	۸/۳۳
پتاسیم (K)	۲۱۲/۱	۴۶/۲۸	۹۱/۰۵
کلسیم (Ca)	۸/۴۸	۶۱/۷۴	۱۵/۴۱
منیزیم (Mg)	۳۷/۵	۴۴/۹۳	۵/۲۸
روی (Zn)	۰/۷۱	۰/۳۲	۳/۴۱
مس (Cu)	۰/۰۴۸	۰/۰۰۲	-
منگنز (Mn)	۰/۰۱۱	۰/۰۲۶	-
آهن (Fe)	۱/۰۹	۰/۱۷	۸/۶۳
ازت کل	-	-	۰/۳۷(درصد)
کربن آلی	-	-	۰/۷۷(درصد)

* واحد مقادیر عناصر محتوی محلول هیدروپونیک و آکواپونیک برحسب میلی‌گرم بر لیتر است.
** واحد مقادیر عناصر در خاک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه

تعیین عناصر موجود در گیاه

قسمت‌های هوایی گیاه علف‌لیمو که از محیط کشت‌های هیدروپونیک، آکواپونیک و خاک، برداشت شده بودند برای اندازه‌گیری غلظت عناصر ماکرو و میکرو به آزمایشگاه منتقل شدند. ابتدا اندام هوایی نمونه‌های گیاهی با آب دیونیزه شسته شده و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی-گراد به مدت یک شب خشک شدند. سپس پودر برگ‌های خشک شده علف لیمو در دمای ۴۸۰ درجه سانتیگراد برای استخراج عناصر ماکرو و میکروی گیاه با استفاده از کاغذ صافی در محلول اسید هیدروکلریک (HCL,50:50) خاکستر شد.

از عناصر ماکرو محتوی غلظت پتاسیم (K)، فسفر (P)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و از عناصر میکرو میزان آهن (Fe)، روی (Zn) و سدیم (Na) در عصاره‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نیتروژن کل از یک کوره احتراق آنالایزر لکو (Leco) استفاده شد. ضریب تبدیل ۱۰۰۰۰ برای تبدیل مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم از درصد به واحد کمی میلیگرم بر کیلوگرم استفاده شد.

تعیین محتوی کلروفیل برگ

برای تعیین محتوی کلروفیل ابتدا رنگدانه‌های ۰/۵گرم از برگ تازه علف لیمو با استفاده از استون ۸۰ درصد حجمی استخراج شدند. محلول هموژن استخراج شده توسط کاغذ صافی فیلتر شد. سپس محلول بدست آمده در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰

دقیقه قرار داده شد و عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای منتقل شد.

چگالی نوری محلول با استفاده از یک اسپکتروفتومتر در طول موج (۶۴۵، ۶۶۳ نانومتر) برای تعیین محتوای کلروفیل a و کلروفیل b بر اساس روش آرنون [۳۲] محاسبه شد. برای محاسبه محتوی کلروفیل a و b برگ از معادلات زیر استفاده شد:

$$\text{Chlorophyll (a) (mg/g)} = (19.3 * A663 - 0.86 * A645)\ V/100W \quad (۲)$$

$$\text{Chlorophyll (b) (mg/g)} = (19.3 * A645 - 3.6 * A663)\ V/100W \quad (۳)$$

که در آنها: V: حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ) و W: وزن تر نمونه بر حسب گرم است.

تعیین محتوای پرولین

برای تعیین محتوی پرولین گیاه علف لیمو از روش بیتس و همکاران [۳۳] استفاده شد. به این منظور ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک (H_2SO_4) ۳درصد با استفاده از یک پستول، تقریباً با ۵۰۰ میلی‌گرم از برگ‌های خشک گیاه علف لیمو همگن شد.

در مرحله بعد، دو میلی‌لیتر عصاره با ۲ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و اسید استیک گلاسیال ترکیب شد. سپس در یک حمام آب داغ ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه انکوبه شد و در آخر، ۴ میلی‌لیتر تولوئن پس از سردشدن به مخلوط همگن اضافه شد. مخلوط پس از چرخش سریع و جذب کروموفور حاوی تولوئن، با استفاده از اسپکتروفتومتر مرئی UV در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

تعیین محتوی پروتئین گیاه

برای تعیین محتوی پروتئین کل برگ گیاه از روش برادفرود استفاده شد [۳۴]. در این روش ۰/۵ گرم از برگ تر علف لیمو در هاون چینی توسط یخ سرد و با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات یک‌دهم مولار با pH برابر با ۶/۸ هضم و با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ هموژینه شد. سپس پروتئین کل محلول هموژن سوپرناتانت تهیه شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتری ۵۹۵ قرائت شد.

تعیین میزان لیپید، خاکستر و رطوبت گیاه

برای تعیین رطوبت، چربی خام و خاکستر علف لیمو از روش انجمن شیمیدانان با روش تحلیلی (AOAC،2000) استفاده شد.

محتوی کمیت چربی خام با استفاده از روش هیدرولیز اسیدی نمونه گیاهی تعیین شد. ابتدا مقدار ۱ گرم از نمونه گیاهی در اسید هیدروکلریک (HCL 25:11) هضم و سپس استخراج مواد لیپیدی هیدرولیز شده با اترهای مخلوط نفتی و با کمک دستگاه سوکسله انجام شد. اترها تبخیر و باقیمانده لیپید تا رسیدن به وزن ثابت در ۱۰۰ درجه حرارت داده شد و کمیت به صورت درصد چربی خام بیان شد.

برای تعیین محتوی آب گیاه، یک گرم از برگ‌های علف لیمو پودرشده در یک کپسول چینی در خشک‌کن آلمانی مدل بایندر (WTC binder Class.2) در دمای ۱۰۵±۱ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا به وزن ثابت برسد. مقدار خاکستر با سوزاندن در دمای ۱۰±۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.

تعیین محتوی هیدروکربنات گیاه

محتوای کربوهیدرات با استفاده از رابطه ۴ تعیین شد (FAO،۱۹۹۸):

(۴)

هیدروکربنات = ۱۰۰ − (خاکستر+ آب+ چربی+ پروتئین)

تعیین محتوی فیبرخام گیاه

برای اندازه‌گیری فیبرگیاه علف لیمو مقدار ۲/۵ گرم از نمونه خشک شده گیاه، ابتدا در یک بشر ۵۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۱/۲۵ درصد در حال جوش و سپس در محلول ۱/۲۵ درصد هیدروکسید سدیم جوشان مراحل

هضم گیاه انجام گرفت. در هر مرحله پس از مدت ۳۰ دقیقه مراحل هضم گیاه، نمونهٔ هضم‌شده با آب مقطر شستشو داده شد تا بدون اسید و محلول قلیائی باشد. پس از صاف‌کردن، نمونهٔ هضم‌شده در آون ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک و در کوره قرار داده شد و مقدار فیبر از رابطه زیر محاسبه گردید:

(۵) وزن نمونه اصلی / وزن نمونه سوزانده شده در کوره – وزن نمونه خشک شده در آون = درصد فیبر خام

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش تجزیه واریانس یک طرفه و با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم-افزار اکسل (Excel) انجام پذیرفت.

نتایج

اثر محیط کشت بر صفات مرفولوژیکی گیاه علف لیمو

بر اساس نتایج بدست آمده اثر نوع بسترکشت بر کلیه صفات مرفولوژیکی علف لیمو در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محیط‌های مختلف کشت بر صفات مرفولوژیکی گیاه علف لیمو

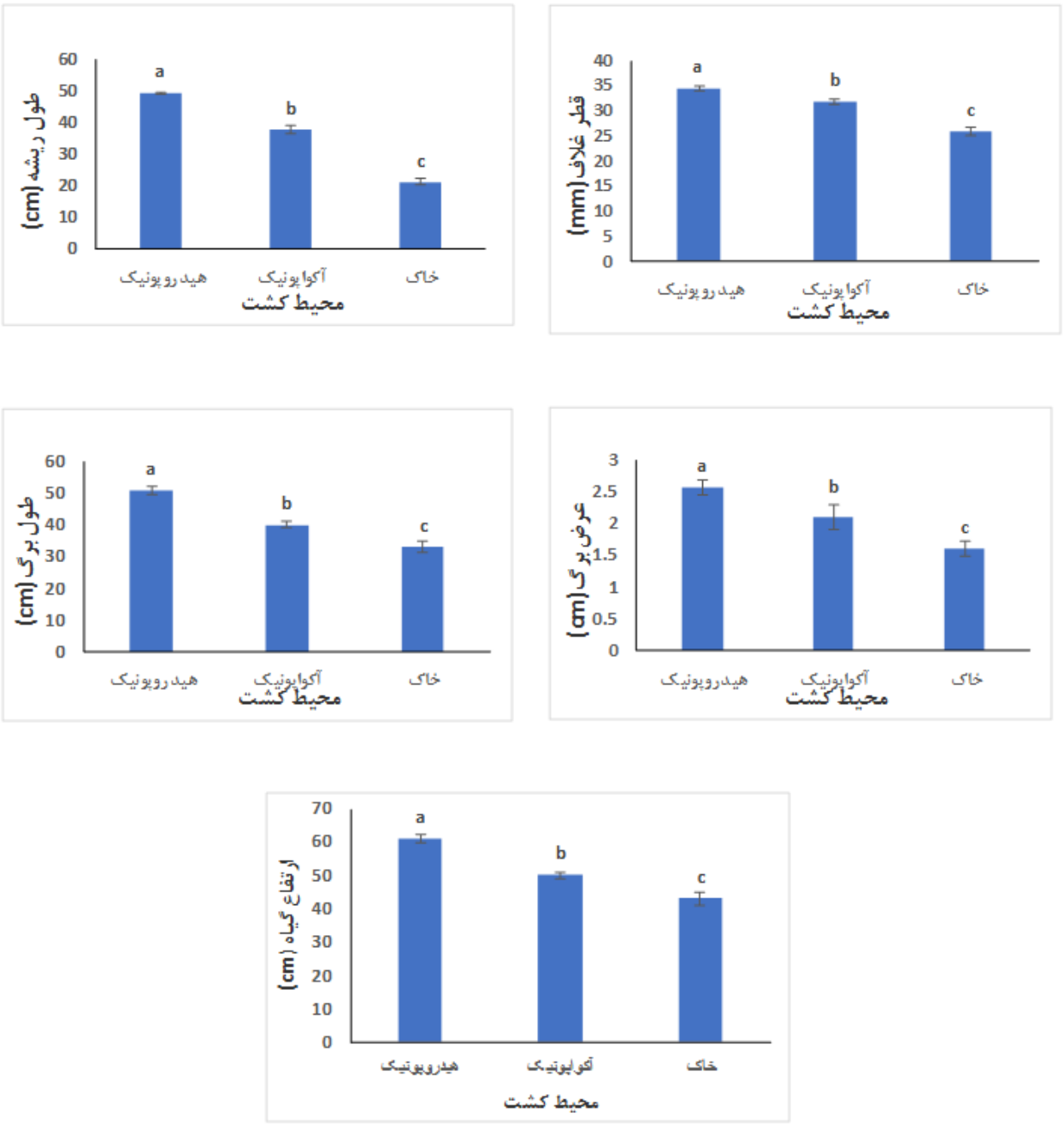
منابع تغییر	درجه آزادی	طول ریشه	قطر غلاف	طول برگ	عرض برگ	ارتفاع گیاه	وزن خشک ریشه	وزن خشک غلاف	وزن خشک برگ	زیست توده خشک کل گیاه
نوع بستر کشت	۲	۹۹۸/۴۸**	۹۶/۲۹**	۴۰۰/۵۶**	۱/۱۶**	۴۵۰/۵۶**	۱۱۱/۳۳**	۳/۳۶**	۵۰۷/۰۳**	۱۱۸۷/۰۷**
خطا	۱۲	۱/۰۳	۰/۵۲	۲/۵۱	۰/۲۹	۲/۱۱	۰/۳۶	۰/۰۴	۱/۴۵	۲/۵۴
ضریب تغییرات (٪)	-	۲/۳۹	۲/۱۰	۳/۲۹	۷/۰۱	۲/۲۲	۴/۰۱	۵/۱۵	۲/۷۲	۲/۶۰

**، معنی دار در سطح یک درصد

اثر محیط کشت بر طول، عرض، قطر و ارتفاع گیاه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین مقدار طول ریشه معادل ۴۹/۲۴ سانتیمتر در بستر کاشت هیدروپونیک و کمترین آن معادل ۲۱/۱۱ سانتیمتر در بستر خاکی مشاهده شد. علاوه بر طول ریشه، سایر متغیرهای مورفولوژی گیاه (قطر غلاف، طول و عرض برگ) نیز تحت تأثیر محیط کشت قرار گرفت که بیشترین مقدار قطر غلاف معادل ۳۴/۴۴ میلی‌متر، طول برگ معادل ۵۰/۹۴ سانتی‌متر و عرض برگ معادل ۲/۵۶ سانتی‌متر در تیمار هیدروپونیک و کمترین آن‌ها بترتیب معادل ۲۵/۸۸، ۳۳/۱۸ و ۱/۶ سانتیمتر در بستر خاکی بدست آمد.

میزان ارتفاع گیاه برای محیط‌های کشت هیدروپونیک، آکواپونیک و خاک به ترتیب معادل ۷۰/۹، ۶۰/۲ و ۵۳/۲ سانتیمتر بدست آمد که نشان‌دهندهٔ کارآیی بیشتر سیستم هیدروپونیک برای این صفت بود (شکل ۱).

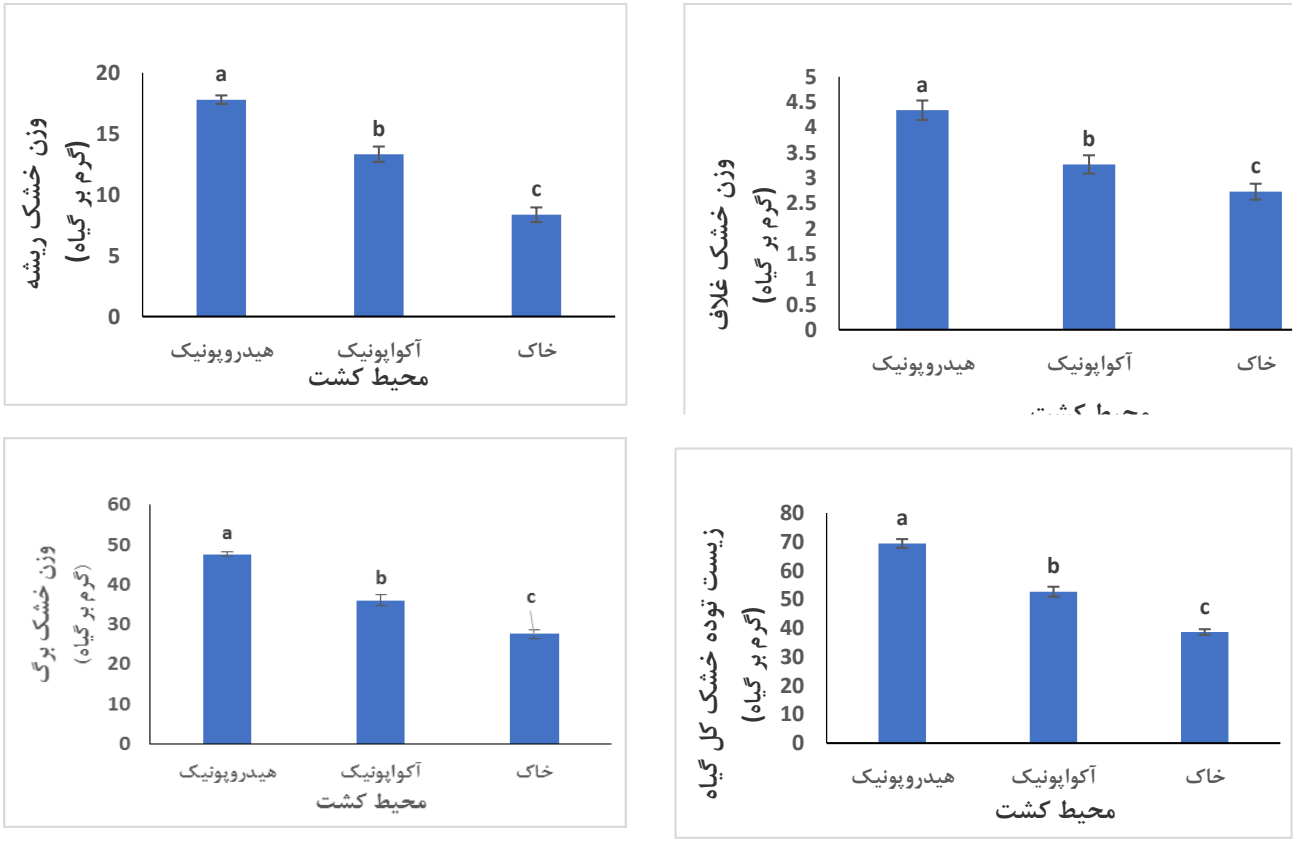


شکل ۱- اثر محیط کشت بر طول ریشه، قطر غلاف، طول برگ، عرض برگ و ارتفاع گیاه علف لیمو
(میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری دارند)

اثر محیط کشت بر وزن خشک گیاه

بیشترین مقدار وزن خشک ریشه علف لیمو معادل ۱۷/۷۸ در تیمار کشت هیدروپونیک و کمترین آن با مقدار ۸/۳۵ گرم بر گیاه در بستر کشت خاک مشاهده گردید. وزن خشک برگ و غلاف علف لیمو نیز روند مشابه‌ای با وزن ریشه نشان دادند بطوری که بیشترین این صفات به ترتیب معادل ۴۷/۶ و ۴/۳۴ گرم بر گیاه در محیط هیدروپونیک و کمترین آن‌ها معادل ۲۷/۵۴ و ۲/۷۳ در کاشت خاکی مشاهد گردید.

کشت آکواپونیک از نظر این صفات در رتبه دوم بعد از کشت هیدروپونیک قرار گرفت. از نظر زیست‌توده خشک کل گیاه نیز محیط هیدروپونیک به دو محیط کشت دیگر برتری داشت و پس از آن محیط کاشت اکواپونیک و خاک در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این نتیجه با توجه به بیشتر بودن وزن خشک ریشه، برگ و غلاف در محیط هیدروپونیک منطقی به‌نظر می‌رسد (شکل ۲).



شکل۲- اثر محیط کشت بر وزن خشک ریشه، غلاف، برگ و زیست توده کل گیاه علف لیمو
(میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری دارند)

اثر محیط کشت بر روی غلظت عناصر گیاه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر محیط کشت بر غلظت ازت، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، روی و سدیم در سطح یک درصد معنی‌دار بود. غلظت عنصر پتاسیم تحت تأثیر بستر کشت قرار نگرفت (جدول۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر محیط‌های مختلف کشت بر محتوی غلظت عناصر ماکرو و میکروی گیاه علف لیمو

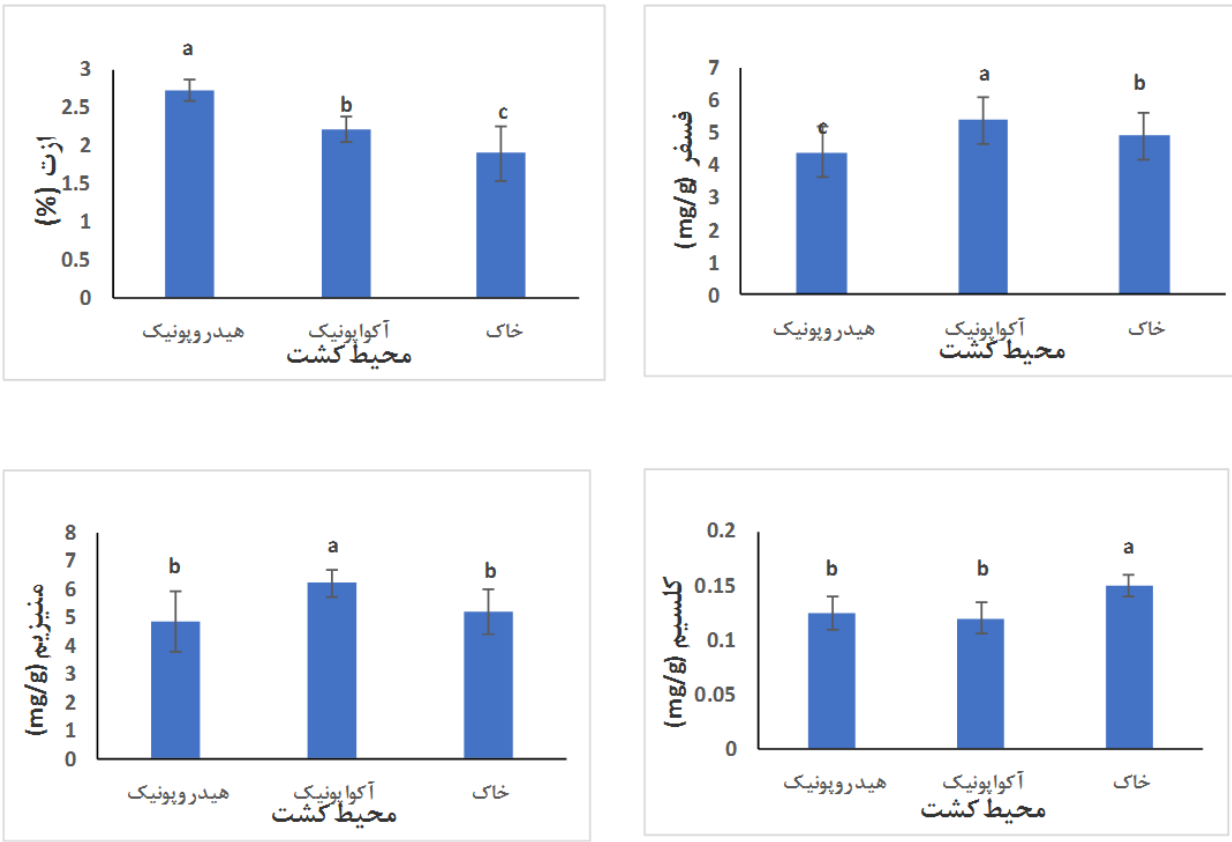
منابع تغییر	درجه آزادی	ازت	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	آهن	روی	سدیم
نوع بستر کشت	۲	۱۵۴/۲۳**	۷۵/۵۹**	۲۷۵/۳۶ ns	۱۲/۲۹**	۲۶/۹۶**	۳۸/۳۸**	۱۰۸/۰۷**	۲۲/۳۵**
خطا	۱۲	۲/۰۴	۱/۱۱	۷/۱۹	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۰۹	۳/۸۶	۱/۳۵
ضریب تغییرات(٪)		۳/۵۸	۱/۰۴	۳/۱۰	۵/۶۴	۱/۱۳	۸/۳۳	۱۲/۷۹	۱/۸۸

به ترتیب ns , ** غیرمعنی‌داری، معنی‌داری در سطح یک درصد، معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

غلظت عناصر ماکروی گیاه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین محتوی عنصر نیتروژن گیاه در محیط کشت هیدروپونیک با مقدار ۲/۷ درصد مشاهده شد. غلظت این عنصر در محیط کشت آکواپونیک و خاک به ترتیب برابر با ۲/۲ و ۱/۹ درصد بدست آمد. بالاترین غلظت عنصر فسفر درگیاه علف لیمو مربوط به محیط کشت آکواپونیک معادل ۵/۴ میلی‌گرم بر گرم بدست آمد و پس از آن بترتیب محیط‌های کشت هیدروپونیک و خاک قرار گرفتند (شکل۳).

همانند فسفر، بیشترین غلظت منیزیم با مقدار ۶/۲۳ میلی‌گرم بر گرم در بستر آکواپونیک مشاهده شد و بین دو محیط دیگر از این نظر اختلافی مشاهده نشد. بیشترین مقدار کلسیم معادل ۰/۱۵ میلی‌گرم بر گرم در بستر خاک اندازه‌گیری شد و بین دو بستر دیگر تفاوت آماری دیده نشد (شکل ۳).



شکل۳- اثر محیط کشت بر عناصر ماکرو گیاه

(میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در سطح ۵ درصد دانکن اختلاف معنی‌داری دارند)

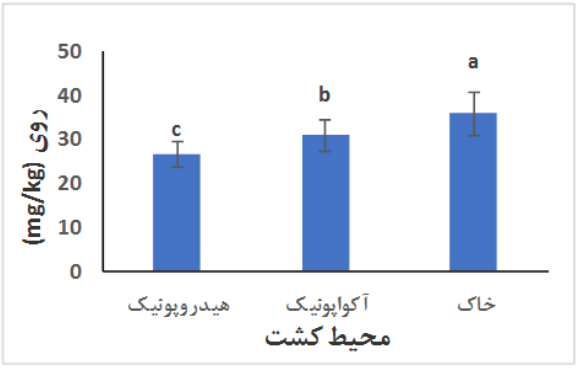
غلظت عناصر میکروی گیاه

بیشترین محتوی عنصر روی و آهن به ترتیب معادل ۳۵/۹ و ۱۸۵/۳ میلی‌گرم برکیلوگرم وزن خشک گیاه علف لیمو مربوط به محیط کشت خاک بود. در مورد هر دو عنصر بستر آکواپونیک در رتبه بعدی قرار گرفت و بستر هیدروپونیک کمترین مقدار را به خود اختصاص داد.

غلظت عنصر سدیم در بستر خاک (۱۵۸۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بطور معنی‌داری از دو بستر دیگر بیشتر بود و بین دو محیط کشت دیگر از این نظر اختلافی دیده نشد.

اثر محیط کشت بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس اثر بستر کاشت بر میزان کلروفیل a و b، پروتئین، چربی و فیبر در سطح ۱ درصد و بر خاکستر گیاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. نوع بستر بر میزان پرولین و هیدروکربنات اثر معنی‌داری نداشت (جدول۵).



شکل۵- اثر محیط کشت بر عناصر میکرو گیاه

(میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری دارند)

جدول۵- تجزیه واریانس اثر محیط های کشت مختلف بر صفات مرفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه علف لیمو

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	پرولین	پروتئین	چربی	هیدروکربنات	فیبر	خاکستر
نوع بستر کشت	۲	۹/۷۲**	۳/۱۷**	۰/۰۰۲^{ns}	۱۱/۷۶**	۴۷/۰**	۰/۷۶ ^{ns}	۱۳۵/۱۶**	۰/۵۶*
خطا	۱۲	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۰۰۱	۰/۷۵	۱۴/۸۵	۰/۰۵	۳۴/۳۹	۰/۱۱
ضریب تغییرات(٪)		۷/۳۳	۱۲/۰۷	۶/۳۹	۵/۱۱	۲۲/۹۷	۴/۸۸	۵/۳۰	۵/۵۳

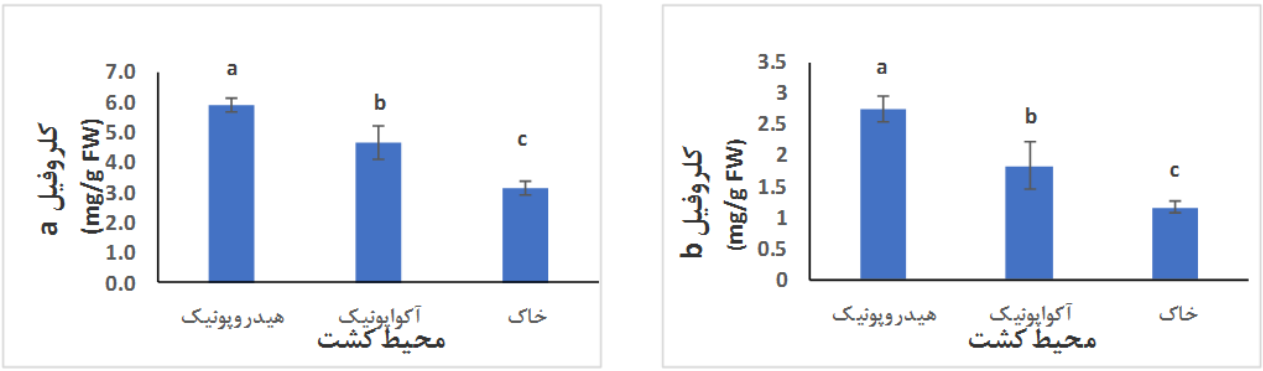
به ترتیب *، ns و ** غیرمعنی‌داری، معنی‌داری در سطح یک درصد، معنی‌داری در سطح ۵درصد می‌باشد.

محتوی کلروفیل a و کلروفیل b گیاه

بیشترین مقدار کلروفیل a و b علف لیمو به ترتیب ۵/۹۳ و ۲/۷۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه در محیط کشت هیدروپونیک بدست آمد. محیط کشت اکواپونیک و خاک از نظر میزان کلروفیل بترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۶).

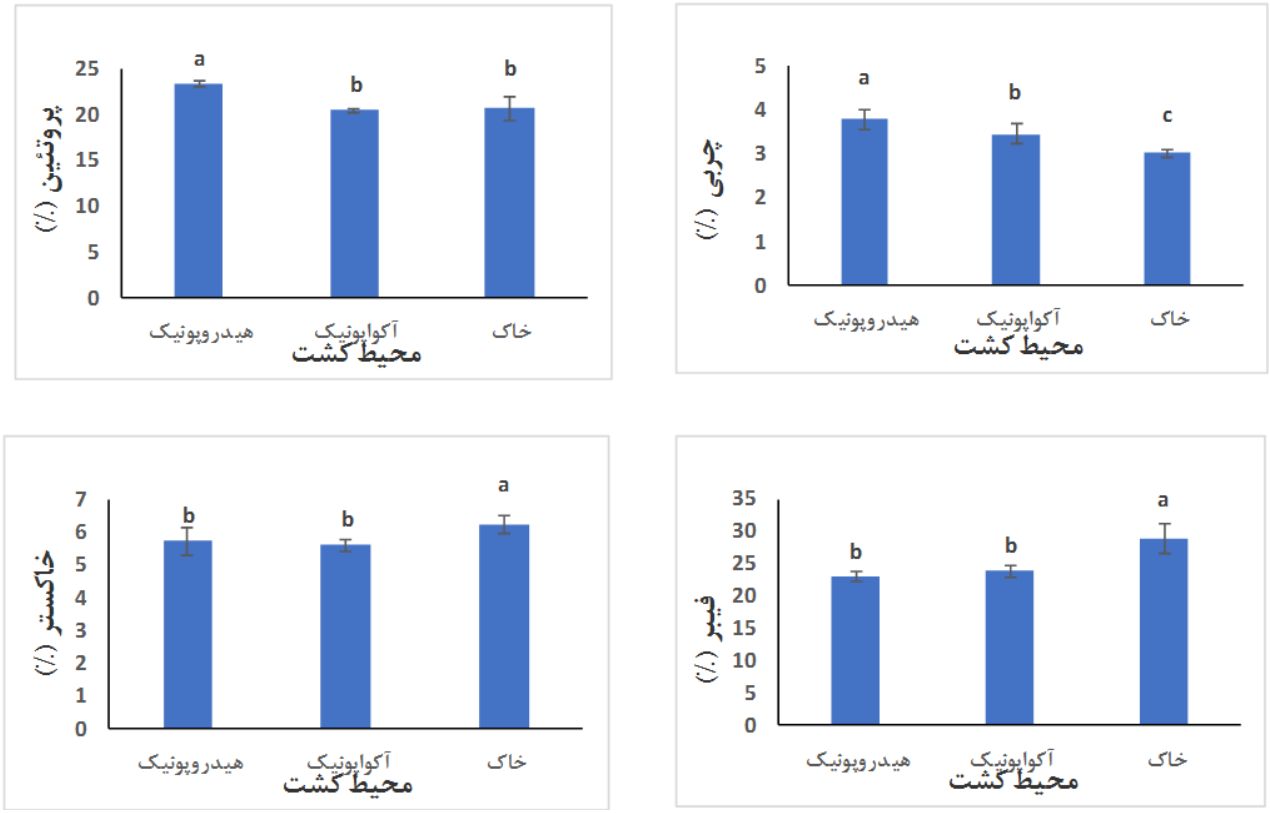
محتوی پروتئین، چربی، خاکستر و فیبر گیاه

کاشت گیاه در بستر هیدروپونیک درصد پروتئین را نسبت دو محیط کشت دیگر به طور معنی‌داری افزایش داد. بین کشت‌های آکواپونیک و خاک از نظر میزان پروتئین تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین مقدار چربی معادل ۳/۷۸ درصد در بستر هیدروپونیک و پس از آن با مقادیر ۳/۴۵ و ۳ درصد به ترتیب در محیط‌های کشت آکواپونیک و خاک بدست آمد. از نظر میزان خاکستر و فیبر بستر خاک بیشترین مقدار را بخود اختصاص داد و بین دو محیط دیگر اختلاف آماری دیده نشد (شکل ۷).



شکل ۶- اثر محیط کشت بر میزان کلروفیل گیاه

(میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری دارند)



شکل ۷- اثر محیط کشت بر میزان پروتئین، چربی، خاکستر و فیبر گیاه علف لیمو

(میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری دارند)

بحث

مطالعات مختلف چشم‌انداز امیدوارکننده‌ای در خصوص استفاده از سیستم‌های هیدروپونیک و آکواپونیک برای کشت پایدار صیفی‌جات و نیز سبزیجات را نشان داده‌اند [۲۰]. مطالعات زیادی نشان می‌دهد که محیط‌های کشت هیدروپونیک و آکواپونیک می‌توانند برای تولید گیاهان دارویی با عملکرد مناسب و غنی از عناصر معدنی و پروتئین و همچنین مواد مؤثره بیشتر مورد استفاده قرار گیرند [۲۰، ۳۵].

در این تحقیق، اثر سیستم‌های مختلف کاشت بر صفات مختلف مرفولوژیکی علف لیمو از قبیل قطر غلاف، وزن خشک و ارتفاع گیاه بررسی شد. ارتفاع و زیست‌توده خشک گیاهان از شاخص‌های مهم رشد و عملکرد گیاه به شمار می‌رود. بخصوص در مورد گیاهان دارویی نظیر علف لیمو، گیاهان با ارتفاع و زیست‌توده خشک بیشتر رابطه

مستقیمی با میزان تولید و متعاقب آن درآمد کشاورز دارند. نتایج این مطالعه بیانگر آن بود که کاشت گیاه علف لیمو در سیستم هیدروپونیک منجر به افزایش خصوصیات مرفولوژیکی این گیاه شد؛ به طوری که صفاتی نظیر طول ریشه، قطر غلاف، ارتفاع گیاه و زیست‌توده خشک کل گیاه را نسبت به کاشت خاکی به ترتیب به میزان ۱۳۳، ۳۳/۳، ۴۰/۹ و ۵۶/۵ درصد افزایش داد.

بر اساس نتایج این تحقیق، سیستم آکواپونیک از نظر بهبود صفات مرفولوژی گیاه نسبت به روش هیدروپونیک از کارآیی کمتری برخوردار بود که دلیل آن می‌تواند عدم‌تناسب تعداد ماهی مورد استفاده در این تحقیق جهت تأمین نیاز غذایی گیاه علف‌لیمو و از طرف دیگر تعادل بیشتر عناصر غذایی در سیستم هیدروپونیک باشد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که سیستم آکواپونیک صفات مرفولوژیکی فوق را نسبت به محیط خاک به ترتیب به‌میزان ۷۷/۷، ۲۲/۸، ۱۵/۹ و ۳۶/۵ درصد افزایش داد. عملکرد بهتر سیستم هیدروپونیک بر رشد گیاهان مختلف نسبت به سیستم خاکی در مطالعات مختلف نشان داده شده است [۳۷، ۳۶].

بیشتربودن رشد و عملکرد گیاهان در سیستم هیدروپونیک را می‌توان به تعادل عناصر غذایی در دسترس در زمان رشد سریع گیاهان و وجود pH و EC یکنواخت در این سیستم نسبت به سیستم خاک ارتباط داد [۱۸]. نتایج مطالعه [۳۸]، بیشتربودن رشد گوجه‌فرنگی در سیستم هیدروپونیک در مقایسه با محیط خاک را به بیشتربودن کارآیی مصرف آب در روش هیدروپونیک نسبت داد.

در تیمارهای کشت بدون خاک به جای این که ریشه در جستجوی آب و مواد مغذی رشد کند این مواد در اختیار ریشه قرار می‌گیرد، بنابراین، بیشتر انرژی گیاه به جای توسعه ریشه در جهت بهبود رشد رویشی بکار می‌رود [۸]. در مناطق خشک که گیاهان با تنش‌های مختلفی نظیر خشکی و دمای بالا مواجه هستند، سیستم هیدروپونیک نسبت به کاشت در محیط خاک بدلیل افزایش کارآیی مصرف آب از مزایای بیشتری برخوردار است [۳۹].

همچنین مشابه با یافته‌های این مطالعه، بهتربودن سیستم آکواپونیک در مقایسه با سیستم خاک بر رشد گیاهان اسفناج [۴۰]، گل بی‌مرگ [۲۰]، ریحان [۱۹] و گوجه‌فرنگی [۴۱] به اثبات رسیده است. عملکرد بهتر سیستم آکواپونیک را می‌توان به بیشتربودن تعداد میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه و متعاقب آن بالاتربودن کارآیی مصرف عناصر غذایی در این سیستم نسبت به سیستم خاکی مرتبط دانست [۴۲، ۲۱].

نتایج مطالعه [۴۳] نشان داد که گیاهان رشدیافته در سیستم آکواپونیک از رشد بهتری نسبت به گیاهان کشت شده در خاک مزرعه برخوردار بودند. این محققان بیان نمودند که با توجه به این که در سیستم آکواپونیک آستانه بهینه مواد غذایی برای گیاه فراهم است، این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد.

بر اساس یافته‌های این تحقیق خصوصیات مرفولوژیکی علف لیمو در سیستم هیدروپونیک از وضعیت بهتری در مقایسه با سیستم آکواپونیک برخوردار بودند. نتیجه بدست آمده در این مطالعه با نتایج [۴۴] مبنی بر برتری صفات مرفولوژیکی دو گیاه نعناع و نعناع فلفلی در محیط کشت هیدروپونیک نسبت به بستر آکواپونیک همسو است. این نویسندگان پیشنهاد کردند که رشد گیاهان در سیستم‌های آکواپونیک در مقایسه با سیستم‌های هیدروپونیک احتمالاً به دلیل غلظت‌های پایین‌تر عناصر غذایی نظیر منگنز، منیزیم، ازت و فسفر موجود در قسمت‌های هوایی گیاه، کند شده است.

نتایج بدست آمده از مطالعه [۴۲] بیانگر افزایش ۱۱ درصدی وزن تر و خشک گیاه ریحان در محیط هیدروپونیک در مقایسه با آکواپونیک بود. نتایج تحقیق [۴۵] نشان داد که عملکرد خیار و گوجه در کشت هیدروپونیک در مقایسه با سیستم آکواپونیک بیشتر بود. در مطالعه دیگر [۴۶]، نتایج بدست آمده عملکرد بهتر سیستم آکواپونیک نسبت به هیدروپونیک در کاشت کاهو را نشان داد که با نتیجه این تحقیق همخوانی ندارد. بدست آوردن نتایج متفاوت می‌تواند بدلیل یکسان‌نبودن محصولات کشت شده، یکسان‌نبودن صفات گیاهی اندازه‌گیری شده و متفاوت‌بودن نوع سیستم آکواپونیک و هیدروپونیک مورد استفاده در مطالعات مختلف باشد.

نتایج این مطالعه بیانگر آن است که بیشترین مقدار عنصر ازت بخش هوایی علف لیمو در محیط کشت هیدروپونیک بدست آمد بطوری که میزان این عنصر را در مقایسه با بستر خاک بمیزان ۴۲/۱ درصد افزایش داد. پس از هیدروپونیک، سیستم آکواپونیک بیشترین درصد ازت را به خود اختصاص داد، به طوری که مقدار عنصر مذکور در گیاه در مقایسه با بستر خاک به میزان ۱۵/۸درصد بیشتر بود. این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد زیرا سیستم‌های هیدروپونیک دارای محیطی غنی از مواد غذایی بوده و این مواد را به آسانی در دسترس گیاه قرار می‌دهند.

نتایج تحقیق [۴۷] عامل محدودکننده رشد گیاهان در سیستم آکواپونیک را پایین‌بودن غلظت NO_3-N در این سیستم بیان نمود. کمبود نیتروژن می‌تواند مربوط به عدم‌وجود عنصر مولیبدن به عنوان ماده مغذی ضروری برای فعال نمودن آنزیم نیترات ردوکتاز باشد که در نتیجه جذب نیترات توسط گیاه را با مشکل مواجه می‌کند. در صورتی که گیاهان رشدیافته در محیط هیدروپونیک به علت این که به منبع آمونیوم (NH_4) جهت تأمین ازت متکی هستند از غلظت ازت بیشتری در اندام‌های هوایی خود برخوردار هستند [۴۸، ۲۱]. از طرف دیگر، با توجه به این که ماهی‌ها معمولاً نیتروژن را به صورت گازی‌شکل از آبشش‌ها دفع می‌کنند و در طی فرآیند نیتریفیکاسیون، آمونیاک توسط باکتری‌ها به نیتریت و سپس به نیترات تبدیل می‌شود [۴۹]، احتمالاً تعداد ماهی‌ها در مطالعه حاضر برای تأمین نیتروژن مورد نیاز برای گیاهان کشت شده در محیط کشت آکواپونیک کافی نبوده است. بیشتربودن میزان ازت در بافت گیاهان رشدیافته در محیط هیدروپونیک در مقایسه با سیستم آکواپونیک در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است [۲۰، ۱۰].

بر اساس نتایج این مطالعه، بیشترین مقدار فسفر و منیزیم در محیط کشت آکواپونیک مشاهده شد، به طوری که میزان این دو عنصر بترتیب نسبت به بستر هیدروپونیک به میزان ۲۰/۴ و ۲۷/۹ و نسبت به بستر خاک ۸/۷ و ۲۰ درصد افزایش یافت. بالابودن محتوی فسفر و منیزیم در محیط کشت آکواپونیک می‌تواند به سبب وجود محتوی زیاد این عناصر در غذای ماهی و دفع زیاد آن‌ها به شکل ادرار و فضولات توسط ماهی‌ها باشد [۵۰]. از این رو، با وجود غلظت کمتر عنصر مغذی نیتروژن در سیستم‌های آکواپونیک، نتایج رشد گیاهان در این محیط کشت با نتایج سیستم‌های هیدروپونیک قابل مقایسه بوده و حتی میزان عملکرد گیاه در مقایسه با بسترخاک بهتر بود.

در این مطالعه، بستر خاک میزان کلسیم، آهن، روی و سدیم گیاه را به ترتیب معادل ۲۰، ۵۸/۹، ۳۴,۹۶ و ۴۶/۲ نسبت به بستر هیدروپونیک و به میزان ۲۵، ۲۸/۹، ۱۶/۸ و ۳۶/۷ نسبت به محیط آکواپونیک افزایش داد. بیشتربودن غلظت عناصر کم‌مصرف نظیر آهن و روی در بستر کشت خاک در مقایسه با سیستم‌های بدون خاک در مطالعات دیگر هم گزارش شده است [۱۹]. غلظت کمتر عناصری نظیر آهن را می‌توان از طریق محلول‌پاشی بر روی گیاهان رشد یافته در سیستم‌های بدون خاک جبران نمود. نتایج بدست آمده از این تحقیق بیانگر بیشتربودن غلظت عناصر کم‌مصرف آهن و روی در بافت هوایی گیاه علف لیمو محیط آکواپونیک در مقایسه با هیدروپونیک بود. دلیل این امر می‌تواند غلظت بالای این عناصر در خوراک ماهی باشد که به طور معمول در آب حل و سپس توسط گیاهان جذب می‌شود. تحقیقات بیانگر آن است که حداقل ۵۰ درصد مواد مغذی در یک سیستم آکواپونیک از خوراک ماهی خورده نشده و دفع فضولات ماهی به شکل جامد و مایع می‌باشد [۵۱].

غلظت سدیم موجود در بافت‌های هوایی علف لیمو در بستر آکواپونیک به میزان ۷ درصد از محیط هیدروپونیک بیشتر بود ولی این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود. منبع سدیم در محیط آکواپونیک به وضوع مشخص نیست ولی می‌تواند بدلیل خوراک ماهی مصرف شده، ماده مورد استفاده برای تعدیل اسیدته محلول موجود در محیط یا آب مورد استفاده در این سیستم باشد [۵۲]. وجود سدیم موجود در محلول آکواپونیک می‌تواند منجر به افزایش غلظت سدیم در بافت گیاهی علف لیمو در مقایسه با بستر هیدروپونیک باشد.

نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان‌دهندهٔ بیشتربودن میزان کلروفیل a و b در بخش هوایی علف لیمو در بستر هیدروپونیک در مقایسه با بستر آکواپونیک بترتیب به میزان ۲۸/۳ و ۵۰/۳ و بستر خاک به میزان

۹۰/۳ و ۱۳۶/۲ درصد بود. بیشتربودن میزان کلروفیل در محیط‌های بدون خاک در مقایسه با کشت در خاک در مطالعات مختلف گزارش شده است [۵۳ و۴۲]. رابطه مثبت بین میزان عناصر ازت و منیزیوم در گیاه با میزان کلروفیل برگ توسط [۵۴ و ۵۲] گزارش شده است. بیشتربودن میزان کلروفیل در بستر هیدروپونیک در مقایسه با دو محیط خاک و اکواپونیک را می‌توان به بیشتربودن غلظت ازت در بافت گیاهی این محیط نسبت به دو بستر دیگر ارتباط داد. همچنین بیشتربودن غلظت کلروفیل در بستر آکواپونیک نسبت به خاک را می‌توان به غلظت بیشتر عنصر منیزیوم در این بستر مرتبط دانست. عنصر منیزیوم به عنوان اتم مرکزی مولکول کلروفیل نقش مهمی در تولید این ماده داشته و کمبود آن منجر به ایجاد زردی در بین رگبرگ‌های برگ‌های پایینی گیاه می‌گردد [۵۴].

میزان پروتئین علف لیمو نیز تحت تأثیر محیط کشت قرار گرفت. بیشترین مقدار این ماده در بستر هیدروپونیک مشاهده شد. نیتروژن به عنوان یک عنصر ضروری در رشد گیاهان یکی از اجزای اصلی پروتئین می‌باشد [۵۵]. با توجه به این که در محیط کشت هیدروپونیک عنصر پرمصرف نیتروژن راحت‌تر از دو محیط کشت (آکواپونیک و خاک) در دسترس گیاه بوده است، بنابراین جذب نیتروژن کافی توسط گیاهان در این محیط می‌تواند سبب افزایش محتوی پروتئین در بافت گیاه شده باشد. میزان پروتئین علف لیمو در تحقیق حاضر بین ۲۰ تا ۲۳ درصد بدست آمد که با مقدار گزارش شده در مرجع [۳۸] که میزان پروتئین گیاه علف لیمو را ۲۲/۵۹ درصد گزارش کردند، مطابقت دارد.

در این مطالعه بیشترین میزان چربی موجود در گیاه علف لیمو در سیستم هیدروپونیک و پس از آن در سیستم آکواپونیک و خاک بدست آمد. به دلیل این که در سیستم هیدروپونیک شرایط ایدآلی برای تغذیه گیاه فراهم است، بنابراین، امکان افزایش تولید ترکیباتی نظیر پروتئین و چربی در این سیستم منطقی به نظر می‌رسد. علاوه بر این، شرایط مناسب از نظر نور و دما در سیستم‌های بدون خاک منجر به افزایش میزان فتوسنتز و به دنبال آن میزان تولید کربوهیدرات‌ها در گیاه شده که در مکانیسم‌های مختلف بیوشیمیایی از جمله تولید ترکیباتی نظیر چربی استفاده می‌شود [۵۶]. میزان چربی قسمت هوایی علف لیمو در این تحقیق بین ۳ تا ۳/۸ درصد گزارش شد که با یافته‌های تحقیقات دیگر هم‌خوانی دارد [۵۶،۵۷].

بر اساس نتایج، بیشترین مقدار خاکستر و فیبر بخش هوایی علف لیمو در بستر خاک مشاهده شد و بین دو بستر هیدروپونیک و آکواپونیک از این نظر اختلافی مشاهده نشد. نتایج مطالعه [۵۸] بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت کلسیم و سدیم در چند گیاه دارویی و میزان خاکستر در این گیاهان بود. نتایج این مطالعه نیز بیانگر بیشتربودن غلظت سدیم و کلسیم و متعاقب آن خاکستر بیشتر در گیاهان رشد یافته در بستر خاک بود که با مطالعه [۵۹] همخوانی دارد. همچنین با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار بین میزان کلسیم و سدیم گیاهان رشدیافته در دو سیستم هیدروپونیک و آکواپونیک، عدم‌تفاوت در میزان خاکستر در گیاهان رشد یافته در سیستم‌های مذکور منطقی به نظر می‌رسد. متوسط میزان خاکستر تولیدی در علف لیمو در تحقیق حاضر ۵/۸ درصد بدست آمد که در مقایسه با نتایج مطالعه [۳۹] که این میزان را حدود ۴/۱۱ گزارش داد تا حدودی بیشتر است. دلیل آن می‌تواند شرایط آزمایش و تفاوت بین تیمارهای مورد بررسی در دو مطالعه باشد.

بیشترین مقدار فیبر در اندام هوایی علف لیمو در بستر خاک بدست آمد و بین دو بستر دیگر از این نظر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. مطالعات مختلف نشان‌دهندهٔ رابطه مثبت بین کلسیم موجود در بافت گیاه و میزان فیبر است [۶۱، ۶۰]. با توجه به بیشتربودن غلظت کلسیم در گیاهان رشد یافته در بستر خاک، بیشتربودن فیبر تولیدی در این گیاهان در مقایسه با دو بستر آکواپونیک و هیدروپونیک منطقی به‌نظر می‌رسد.

نتیجه گیری

به طورکلی نتایج این تحقیق بیانگر تفاوت سه بستر کشت هیدروپونیک، آکواپونیک و خاک، بر صفات مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی علف‌لیمو به عنوان یک گیاه دارویی در مناطق خشک می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده از نظر مؤلفه‌های رشدی نظیر ارتفاع گیاه، وزن

خشک برگ، غلاف و ریشه و همچنین بیوماس خشک کل گیاه بستر هیدروپونیک نسبت به دو بستر دیگر برتری داشت و پس از آن بستر آکواپونیک در رتبه بعدی قرار گرفت.

از نظر غلظت عناصر پرمصرف موجود در گیاه علف‌لیمو به جز کلسیم، غلظت سایر عناصر مورد بررسی در دو محیط کشت هیدروپونیک و آکواپونیک از بستر خاک بیشتر بود، در حالی که از نظر عناصر کم مصرف این روند برعکس بود. همچنین میزان کلروفیل، پروتئین و چربی در بستر هیدروپونیک بالاتر بود و پس از آن، بستر آکواپونیک رتبه بعدی را به خود اختصاص داد.

از نتایج این مطالعه می توان نتیجه گرفت که گیاه علف‌لیمو را می‌توان در هر سه سیستم خاکی، آکواپونیک و هیدروپونیک کشت کرد، اما کشت در سیستم بدون خاک کمیت و کیفیت محصول را افزایش داد. بطورکلی نتایج این تحقیق برتربودن سیستم‌های بدون خاک هیدروپونیک و آکواپونیک برای تولید گیاه علف‌لیمو در مناطق خشک که بیشتر از نظر کیفیت خاک، به ویژه شوری و عناصر غذایی با محدودیت مواجه هستند را نشان داد. با این حال، ضروری است که جنبه‌های اقتصادی تولید در سیستم‌های مذکور و همچنین اثر بستر کاشت بر ترکیبات مؤثره موجود در این گیاه در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

References

[1]. Niromand, P., & Rizvandi, M. (2016). Technology of medicinal herbs and challenges in Iran, providing solutions. 5th International conference on recent research in science and technology, Kerman, Iran. [in Farsi]

[2]. Gu, D., Andreev, K., & Dupre. M. E. (2021). Major trends in population growth around the world. China CDC weekly, 3 (28), p.604.

[3]. Randive, K., Raut, T., & Jawadand. S. (2021). An overview of the global fertilizer trends and India's position in 2020. *Mineral Economics*, 34, 371-384.

[4]. Maja, M. M., & Ayano, S. F. (2021). The impact of population growth on natural resources and farmers' capacity to adapt to climate change in low-income countries. *Earth Systems and Environment*, 5, 271-283.

[5]. Johnson, B., & Villumsen. G. (2020). Environmental aspects of natural resource intensive development: the case of agriculture. *Innovation and Development, 8*(3), 1-22.

[6]. Tariq, A., Ullah, A., Sardans, J., Zeng, F., Graciano, C., Li, X., Wang, W., Ahmed, Z., Ali, S., Zhang, Z., & Gao, Y. (2022). *Alhagi sparsifolia*: An ideal phreatophyte for combating desertification and land degradation. *Science of the Total Environment*, 844, 157228.

[7]. Salomon, M. J., Watts-Williams, S. J., McLaughlin, M. J., & Cavagnaro, T .R. (2020). Urban soil health: A city-wide survey of chemical and biological properties of urban agriculture soils. *Journal of cleaner production*, 275, 122900.

[8]. Bedakhshan, F., & Sedighi Dehkordi, F. (2015). Comparison of two methods of soilless cultivation (hydroponic) and soil cultivation on some morphological characteristics of growth and yield of green basil plant (*Ocimum basilicum* L.). 9th Horticultural Science Congress, Ahvaz, Iran. [in Farsi]

[9]. Ahad, B., Shahri, W., Rasool, H., Reshi, Z.A., Rasool, S., & Hussain, T. (2021). Medicinal plants and herbal drugs: An overview. *Medicinal and Aromatic Plants: Healthcare and Industrial Applications*, 1-40.

[10]. Yep, B., & Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges–A review. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1586-1599.

[11]. Williams, M., Kookana, R. S., Mehta, A., Yadav, S.K., Tailor, B.L., & Maheshwari, B. (2019). Emerging contaminants in a river receiving untreated wastewater from an Indian urban centre. *Science of the Total Environment*, 647, 1256-1265.

[12]. Chawla, A., Kumar, A., Warghat, A., Singh, S., Bhushan, S., Sharma, R.K., Bhattacharya, A., & Kumar. S. (2020). Approaches for conservation and improvement of Himalayan plant genetic resources. *Advancement in crop*

improvement techniques. Woodhead Publishing, pp. 297-317.

[13]. Nakashima, K., & Suenaga, K. (2017). Toward the genetic improvement of drought tolerance in crops. *Japan Agricultural Research Quarterly, 51*(1), 1-10.

[14]. Erb, M., & Kliebenstein, D. J. (2020). Plant secondary metabolites as defenses, regulators, and primary metabolites: the blurred functional trichotomy. *Plant physiology*, *184*(1), 39-52.

[15]. Mahesh, S. K., Fathima, J., & Veena, V. G. (2019). Cosmetic potential of natural products: industrial applications. *Natural Bio-active Compounds*, 215-250.

[16]. Omran, E.-S. E., & Negm, A. M. (Eds.). (2020). *Technological and Modern Irrigation Environment in Egypt*. Switzerland, Springer Water, pp. 1-30.

[17]. Bahari Moghadam, H., & Ghasemi, S. (2018). Comparison of growth and yield of *Valeriana officinalis* in soil and hydroponic cultivation system. 2th International conference and 3th national conference on agriculture, environment and food security, Jiroft, Iran. [in Farsi]

[18]. Staji, A., Roosta, H. R., & Roghmi, M. (2016). Comparison of vegetative parameters and root yield of *Glycyrrhiza glabra* in different systems of soilless and soil cultivation under the influence of different nitrogen sources. *Soil and Plant Interaction*, *8*(3), 105-117. [in Farsi]

[19]. Albadwawi, M.A.O.K., Ahmed, Z.F.R., Kurup, S. S., Alyafei, S.M.A., & Jaleel, A. (2022). A comparative evaluation of aquaponic and soil systems on yield and antioxidant levels in basil, an important food plant in lamiaceae. *Agronomy*, 12, 3007.

[20]. Zantanta, N., Kambizi, L., Etsassala, N.G., & Nchu, F. (2022). Comparing crop yield, secondary metabolite contents, and antifungal activity of extracts of *Helichrysum odoratissimum* cultivated in aquaponic, hydroponic, and field systems. *Plants, 11*(20), 2696.

[21]. Yep, B., Galeb, N. V., & Zhenga, Y. (2020). Comparing hydroponic and aquaponic rootzones on the growth of two drugtype *Cannabis sativa* L. cultivars during the flowering stage. *Industrial Crops & Products*, 157, 112881.

[22]. Nemati karimouy, H., & Balali. M. (2004). Volatile oil constituents of lemon grass (*cymbopogon citratus* stapf) cultivated in north of Iran. *Journal of medicinal plants*, *3*(9), 69-74. [in Farsi]

[23]. Kasali, A. A., Oyedeji, A. O., & Ashilokun, A. O. (2001). Volatile leaf oil constituents of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. *Flavour and Fragrance Journal*, 16, 377-378.

[24]. Ntonga, A.P., Baldovini, N., Mouray, E., Mambu, L., Belong, P., & Grellier. P. 2014. Activity of *Ocimum basilicum*, *Ocimum canum*, and *Cymbopogon citratus* essential oils against *Plasmodium falciparum* and mature-stage larvae of *Anopheles funestuss*. *Parasite*, 21, 33.

[25]. Avoseh, O., Oyedeji, O., Rungqu, P., Nkeh-Chungag, B., & Oyedeji, A. 2015. Cymbopogon species; Ethnopharmacology, phytochemistry and the pharmacological importance. *Molecules*, *20*(5), 7438-7453.

[26]. Aly, K. E. (2021). An Overview of Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) and its Essential Oil Extractions. *Medicinal & Aromatic Plants*, *10*(6), 390.

[27]. Treftz, C., & Omaye, S. T. (2015). Comparision between hydroponic and soil systems for growing strawberries in a greenhouse. *International Journal of Agricultural Extension*, *3*(3), 195–200.

[28]. Sgherri, C., Cecconami, S., Pinzino, C., Navari-Izzo, F., & Izzo, R. (2010). Levels of antioxidants and nutraceuticals in basil grown in hydroponics and soil. *Food Chemistry*, *123*(15), 416–422.

[29]. Al-Tawaha A. R. M., Al-Karaki, G., & Massadeh, A. (2013). Antioxidant activity, total phenols and variation of chemical composition from essential oil in sage (*Salvia officinalis* L.) grown under protected soilless condition and open field conditions. *Advances in Environmental Biology*, *7*(5), 894–901.

[30]. Lichtenstein. E. P. (1959). Absorption of some chlorinated hydrocarbon insecticides from soils into various crops. *Journal of Agricultural* and *Food Chemistry*, 7, 430-433.

[31]. Mirzaie, M., Ladanmoghadam, A. R., Hakimi, L., & Danaee, E. (2020). Water stress modifies essential oil yield and

composition, glandular trichomes and stomatal features of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *22*(6), 1575-1585.

[32]. Arnon. A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23,112-121.

[33]. Bates, I. S., Waldern, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.

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

[35]. Bakiu, R., & Shehu, J. (2014). Aquaponic systems as excellent agricultural research instruments in Albania. *African Journal of Food Sience*, 385-389.

[36]. Gruda, N. (2009). Do soilless culture systems have an influence on product quality of vegetables? *Journal* of *Applied* Botany and *Food Quality*, 82: 141-147.

[37]. Hayden. A. L. (2006). Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crops. *HortScience, 41*(3), 536-538.

[38]. Verdoliva, S. G., Gwyn-Jones, D., Detheridge, A., & Robson, R. (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.

[39]. Polycarpou, P., Neokleous, D., Chimonidou, D., & Papadopoulos, I. (2005). A closed system for soilless culture adapted to the Cyprus conditions. In Non-Conventional Water Use: WASAMED Project; El Gamal, F., Lamaddalen, A.N., Bogliotti, C., Guelloubi, R., (Eds.); CIHEAM/EU DG Research: Bari, Italy, 2005; pp. 237–241.

[40]. Ranawade, P. S., Tidke, S. D., & Kate, A. K. (2017). Comparative cultivation and biochemical analysis of *Spinacia oleraceae* grown in aquaponics, hydroponics and field conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*(4), 1007–1013.

[41]. Schmautz, Z., Loeu, F., Liebisch, F., Graber, A., Mathis, A., Griessler Bulc, T., & Junge, R. (2016). Tomato productivity and quality in aquaponics: Comparison of three hydroponic methods. *Water*, 8, 533.

[42]. Rodgers, D., Won, E., Timmons, M. B., & Mattson, N. (2022). Complementary nutrients in decoupled aquaponics enhance basil performance. *Horticulturae*, 8, 111.

[43]. Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7, 4199-4224.

[44]. Roosta, H. R., & Ghorbani, F. (2011). Investigation of the growth and development, essential oil and minerals content in two species of mint in hydroponics and aquaponics. *Journal* of *Green Science* and *Technology*, 2, 19–28.

[45]. Pickens, J. (2015). Integrating effluent from recirculating aquaculture systems with greenhouse cucumber and tomato production. Ph.D. Diss., Auburn Univ., Auburn, AL.

[46]. Delaide, B., Goddek, S., Gott, J., Soyeurt, H., & Jijakli, M. H. (2016). Lettuce (*lactuca sativa* l. Var. Sucrine) growth performance in complemented aquaponic solution outperforms hydroponics. *Water*, 8, 467.

[47]. Epstein, E., & Bloom, A. J. (2005). *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. 2nd Edition, Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts, pp. 201‑207.

[48]. Guo, S., Zhou, Y., Shen, Q., & Zhang, F. (2007). Effect of ammonium and nitrate nutrition on some physiological processes in higher plants - growth, photosynthesis, photorespiration, and water relations. *Plant Biology*, 9, 21‑29.

[49]. Rakocy, E. R., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics- Integrating Fish and Plant culture. *SRAC Publication*, 454: 1-16.

[50]. Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from

fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246, 147–156.

[51]. Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., & Kotzen. B. (2018). Towards commercial aquaponics: A review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26, 813–842.

[52]. Yang, T., & Kim, H. J. (2020). Characterizing nutrient composition and concentration in tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Water*, *12*(5), 1259.

[53]. Ferrarezi, R.S., & Bailey. D.S. (2019). Basil Performance Evaluation in Aquaponics. *HortTechnology*, 29, 85–93.

[54]. Marschner. P. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd ed., Elsevier/Academic Press: Amsterdam, The Netherlands.

[55]. Soetan, K. O., Olaiya, C. O., & Oyewole, O. E. (2010). The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *African journal of food science*, *4*(5), 200-222.

[56]. Aires, A. (2018). Hydroponic production systems: Impact on nutritional status and bioactive compounds of fresh vegetables. IntechOpen, pp.13. http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73011.

[57]. Soares, M. O., Alves, R. C., Pires, P. C., Oliveira, M. B. P., & Vinha, A. F. (2013). Angolan *Cymbopogon citratus* used for therapeutic benefits: Nutritional composition and influence of solvents in phytochemicals content and antioxidant activity of leaf extracts. *Food and chemical toxicology*, 60, 413-418.

[58] Asaolu, M. F., Oyeyemi, O. A., & Olanilokun. J. O. (2009). Chemical compositions, phytochemical constituents and in vitro biological activity of various extracts of *Cymbopogon citratus*. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8: 1920-1922.

[59]. Khalil, E., Esoh, R., Rababah, T., Almajwal, A. M., & Alu'datt, M. H. (2012). Minerals, proximate composition and their correlations of medicinal plants from Jordan. *Journal of Medicinal Plants Research*, *6*(47), 5757-5762.

[60]. Guo, K., Tu, L., He, Y., Deng, J., Wang, M., Huang, H., Li, Z., & Zhang, X. (2017). Interaction between calcium and potassium modulates elongation rate in cotton fiber cells. *Journal of Experimental Botany*, *68*(18), 5161–5175.

[61]. Zhang, F., Jin, X., Wang, L., Li, S., Wu, S., Cheng, C., Zhang, T., & Guo, W. (2016). GhFAnnxA affects fiber elongation and secondary cell wall biosynthesis associated with Ca^{2+} influx, ROS homeostasis, and actin filament reorganization. *Plant Physiology*, 171, 1750-1770.

The effect of the cultivation system on the morphological, physiological and biochemical characteristics of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) (Research Paper)

1- Parviz Alizaeh, Ph.D. student, Department of Arid Land Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
2- Hamid Sodaeizadeh*, Associate professor, Department of Arid Land Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
hsodaie@yazd.ac.ir
3- Asghar Mosleh Arani, Professor, Department of Arid Land Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
4- Mohammad Ali Hakimzadeh, Associate professor, Department of Arid Land Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

Received: 08 Jul. 2023
Accepted: 05 Sep. 2023

Abstract

The scarcity of cultivable land for medicinal plant growth in arid regions has resulted in the excessive utilization of pasture plants for medicinal applications. The objective of this study was to investigate the potential of hydroponic and aquaponic systems as alternative approaches for cultivating lemon grass (*Cymbopogon citratus*). thus, an experiment based on a completely randomized design with five repetitions was conducted in Yazd University and the impact of three different cultivation systems (hydroponic, aquaponic, and soil) on the different characteristics of lemongrass were determined. The results demonstrated a significant impact of the cultivation systems on various morphological attributes of the plant including root length, stem diameter, height, and total plant dry biomass. The hydroponic system improves these aforementioned characteristics by 133%, 33.3%, 40.9%, and 56.5%, respectively, when compared to traditional soil planting methods. The aquaponic was found to be ranked lower than the hydroponic system, but it demonstrated a significant improvement in the investigated traits when compared to soil bed cultivation. The influence of different culture systems on the concentration of macro and microelements (excluding potassium) in the aboveground part of the plant was found to be statistically significant. The hydroponic system exhibited the highest nitrogen concentration, while the highest levels of phosphorus and magnesium were observed in the aquaponic system. Conversely, the soil cultivation system displayed the highest concentrations of calcium, sodium, iron, and zinc. Furthermore, the culture medium had a significant impact on the levels of chlorophyll, protein, fat, fiber, and ash in the plant. However, the investigated treatments did not show any significant influence on the concentration of the plant's proline and carbohydrates. Overall, the findings of this study demonstrate the significant impact of three examined cultivation systems on the morphological, physiological, and biochemical attributes of lemongrass as a medicinal plant. Moreover, the potential utilization of hydroponic and aquaponic beds as viable alternatives for cultivating this plant in arid regions is indicated. However, it is necessary to investigate the economic aspects of lemongrass plant production in the mentioned systems as well as the effect of planting substrate on the secondary compounds of this plant in future research.

Keywords: Aquaponic, Hydroponic, Leamongrass, Medicinal plant, Soil bed.