تأثیر افزودن پامیس و بنتونیت به بستر کشت خاک‌اره بر صفات رویشی فلفل دلمه‌ای گلخانه‌ای

زینب برزگر هفشجانی[۱]، مصطفی مبلی[۱*]، امیرحسین خوشگفتارمنش[۲] و جهانگیر عابدی کوپائی[۳]

(تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۸)

چکیده

کشت‌های گلخانه‌ای بدون خاک در ایران، همانند بسیاری از کشورهای جهان، در حال توسعه است. پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی امکان استفاده از خاک‌اره درشت و تأثیر افزودن بنتونیت و پامیس به آن بر رشد رویشی فلفل دلمه‌ای قرمز رقم Inspratian انجام گردید. آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. بسترها با نسبت‌های مختلف حجمی شامل: خاک‌اره ۱۰۰٪، خاک‌اره+ پامیس به نسبت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد، خاک‌اره+ بنتونیت به نسبت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد و یک بستر رایج (پیت۸۰٪+ پرلیت۲۰٪) بودند. نتایج نشان داد که پس از پیت، در بیشتر موارد، گیاهان کاشته شده در بستر خاک‌اره به همراه پامیس نسبت به تیمارهای خاک‌اره خالص و خاک‌اره به‌همراه بنتونیت دارای رشد رویشی بهتری بودند. برای نمونه، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه مربوط به تیمار خاک‌اره ۸۵٪+ پامیس ۱۵٪ بود. نتایج همچنین نشان داد که پس از پیت، بیشترین میزان کلروفیل مربوط به تیمارهای خاک‌اره ۹۵٪+ پامیس ۵٪ و خاک‌اره ۹۰٪+ بنتونیت ۱۰٪ بود و کمترین میزان کلروفیل مربوط به تیمار خاک‌اره خالص بود. زودترین گل‌دهی، میوه‌دهی و رنگ‌اندازی پس از بستر پیت در تیمار خاک‌اره به همراه پامیس ۱۵٪ بود که با تیمارهای خاک‌اره به همراه پامیس ۵ و ۱۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت.

واژه‌های کلیدی: بستر کشت، خاک‌اره، پامیس، بنتونیت و فلفل دلمه‌ای

مقدمه

فلفل دلمه‌ای با نام علمی *Capsicum annuum* از خانواده Solanaceae است. موطن فلفل دلمه‌ای مرکز و جنوب آمریکاست و اولین کشورهایی که نسبت به کاشت آن اقدام کردند مکزیک و پرو بودند (۱). کشت‌های گلخانه‌ای به‌منظور پیش‌رسی و تولید خارج از فصل در دنیا، از جمله ایران، درحال توسعه است. کشت پی در پی در گلخانه به‌دلیل شرایط مساعد برای تکثیر آفات و بیماری‌ها سبب آلودگی خاک و کاهش کیفیت بستر گلخانه می‌گردد.

پرورش گیاهان در بسترهای کشت به جای خاک به دلیل مزایای متعدد نظیر امکان کنترل بهینه تغذیه گیاه، کاهش بروز بیماری‌ها و آفات و افزایش کمیت و کیفیت محصول نسبت به کشت خاکی در حال گسترش است (۶ و ۱۷). از جمله، کشت سبزی‌های گلخانه‌ای در بسترهای آلی رایج‌تر می‌باشد. امروزه، در این سیستم‌ها، از مواد مختلفی به‌عنوان بستر کاشت استفاده می‌شود که هر یک دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند (۷، ۱۳ و ۱۷). خصوصیات مواد مختلف مورد استفاده به‌عنوان بستر کاشت، آثار مستقیم و غیرمستقیمی بر رشد و تولید محصول می‌گذارد و انتخاب بستر مناسب یکی از مهمترین عوامل مؤثر در موفقیت تولید در کشت بدون خاک است (۷ و

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mobli@cc.iut.ac.ir

۱۳). این مواد شامل مواد آلی، معدنی و مصنوعی می‌باشند. به‌طور کلی، این مواد باید از ظرفیت زیاد نگهداری آب، تهویه کافی، زهکشی مناسب و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد برخوردار بوده و همچنین نباید هیچگونه تأثیر سوئی برای گیاه داشته باشند (۱۴). بسترهای کاشت در سیستم‌های هیدروپونیک باید علاوه بر این خصوصیات، ارزان و در دسترس باشند. همچنین، برگرداندن بسترهای با منشأ آلی به طبیعت راحت‌تر انجام می‌شود (۵ و ۱۷). به‌همین علت، استفاده از موادی همچون خاک‌اره، فیبر، پوسته شلتوک برنج و پیت مورد توجه قرار گرفته است.

خاک‌اره طی رشد گیاه تجزیه می‌شود. ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار آب قابل دسترس در آن کم و نسبت کربن به نیتروژن آن زیاد است. اما قیمت ناچیز، وزن اندک و فراوانی و در دسترس بودن آن در کشور مزیت محسوب می‌شود (۱۳ و ۱۷). بنابراین، افزودن مواد نگهدارنده آب و مواد غذایی به این قبیل بسترها می‌تواند در کاهش هدرروی محلول غذایی و کاهش هزینه‌های تولید مفید باشد. بنتونیت از جمله سوپرجاذب‌های طبیعی است که قابلیت جذب آب نسبتاً زیادی دارد. از مواد دیگر مشابهی که می‌توان در بستر کاشت به‌کار برد پامیس است (۳، ۵ و ۹). پامیس در کشاورزی مدرن برای ایجاد تهویه و زهکشی در محیط‌های ریشه‌زایی به‌تنهایی یا مخلوط با سایر محیط‌های رشد گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۳).

عابدی کوپائی و همکاران (۴) در ارزیابی کاربرد پلیمر سوپر جاذب سوپرآب آ ۲۰۰ بر عملکرد، کارآیی مصرف آب و ذخیرهٔ عناصر غذایی در خیار گلخانه‌ای نشان دادند که استفاده از ۴ گرم هیدروژل در هر کیلوگرم خاک بهترین عملکرد و کارآیی کاربرد آب، کود و کیفیت محصول را در پی دارد. عقدک و همکاران (۵) نشان دادند که افزودن ۱۰٪ بنتونیت به بسترهای سبک پوسته شلتوک و تراشه چوب سبب افزایش رشد رویشی و عملکرد محصول لوبیای سبز و در همان حال کاهش هدرروی محلول غذایی می‌شود. کانگ و همکاران (۱۶) بیان کرده‌اند که استفاده از انواع خاک‌اره باعث بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی بسترهای رشد خواهند شد. آدامسون و ماس (۸) در سال ۱۹۷۱ از تراشه‌های چوب برای پرورش گوجه‌فرنگی استفاده کردند و آن را بستر مناسبی برای کشت گوجه‌فرنگی ذکر کردند (۸). هدف از پژوهش حاضر، بررسی امکان جایگزین نمودن خاک‌اره و یا ترکیب آن با پامیس و بنتونیت به‌جای کوکوپیت به‌عنوان یک مادهٔ وارداتی که همگی در داخل کشور فراوان و ارزان می‌باشند و تأثیر این بسترها بر خصوصیات کمی فلفل دلمه‌ای گلخانه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه اثر بسترهای مختلف کشت بر خصوصیات رویشی، عملکرد و کیفیت میوه‌های فلفل دلمه‌ای قرمز رقم Inspratian، پژوهشی گلخانه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گردید. در این پژوهش، ۸ بستر کاشت، ۴ تکرار و ۲ گلدان برای هر واحد آزمایشی و در مجموع ۶۴ گلدان، که هر یک دارای یک گیاه بود، مورد استفاده قرار گرفت.

بسترها با نسبت‌های مختلف حجمی شامل: خاک اره ۱۰۰٪، خاک اره+ پامیس به نسبت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد، خاک‌اره+ بنتونیت به نسبت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد و یک بستر رایج پیت۸۰٪ + پرلیت۲۰٪ (بستر رایج در گلخانه‌های استان اصفهان) بود. پرلیت مورد استفاده از کارخانه پرلیت سپاهان واقع در شهرک صنعتی منظریه نجف‌آباد و پیت از شرکت گل ساعی خریداری گردید.

تهیه و آماده‌سازی نشاها

نشاهای فلفل دلمه‌ای قرمز در تاریخ ۱۳۹۱/۷/۱۱ از شرکت پردیس اصفهان واقع در جاده قلعه شور تهیه شد. بعد از آماده‌سازی بسترها، برای هر تیمار گلدان‌هایی به حجم ۷ لیتر از مخلوط مورد نظر پر شده و در هر گلدان یک نشا در تاریخ ۱۳۹۱/۷/۱۱ کشت گردید. سیستم محلول‌رسانی و تغذیه به روش قطره‌ای انجام گردید. مقدار محلول غذایی و فواصل محلول رسانی برای تیمارهای مختلف ثابت بود. جهت آبیاری و تغذیه گیاهان از محلول غذایی جانسون (۱۵) استفاده شد. در

ابتدا گلدان‌ها با استفاده از محلول جانسون یک‌چهارم غلظت آبیاری شدند و از تاریخ ۱۳۹۱/۸/۲۱ غلظت محلول‌غذایی به یک‌دوم رسید. محلول‌دهی به‌طور خودکار به‌کمک قرار دادن ساعت قطع و وصل در مسیر پمپ تغذیه صورت گرفت. این کار از ساعت ۷ صبح الی ۷ عصر هر ۴۵ دقیقه یکبار و هر بار به‌مدت ۱ دقیقه صورت گرفت. سیستم به‌صورت باز طراحی شده بود و محلول زهکش از سیستم خارج می‌گردید. به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک در بسترها، آبشویی گلدان‌ها با استفاده از آب مقطر، هر دو ماه یکبار انجام گرفت. در مدت آزمایش، میانگین دمای روز برابر ۵±۲۰ درجه سلسیوس و شب ۵± ۱۵ درجه سلسیوس بود.

اندازه‌گیری ویژگی‌های تیمار (بستر)های کاشت

در ابتدا نمونه‌ای از بسترها آماده شد و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها از جمله جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، تخلخل کل، ظرفیت نگهداشت حجمی رطوبت، پ- هاش و هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص حقیقی، ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب از هر یک از ترکیبات مورد استفاده در بستر کشت، درون خشک‌کن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شد و وزن گردید.

سپس، جرم مخصوص ظاهری آن برحسب گرم بر سانتی‌مترمکعب محاسبه شد. میزان ۵ گرم از هر بستر کشت به درون پیکنومتر منتقل گردید و جرم مخصوص حقیقی هر بستر محاسبه شد (۱۱). برای اندازه‌گیری ظرفیت نگهداشت رطوبت حجمی، بسترهای کشت در ابتدا با آب مقطر اشباع گردیدند و پس از خروج آب ثقلی، درصد رطوبت به‌صورت وزنی تعیین شد. ظرفیت حجمی نگهداشت رطوبت، از حاصل‌ضرب رطوبت وزنی در جرم مخصوص ظاهری محاسبه گردید (معادله ۱):

$$\theta v = \theta m \times \rho b \times ۱۰۰ \qquad [۱]$$

که θv رطوبت حجمی (درصد)، θm رطوبت‌وزنی (g/g) و ρb جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3) است.

برای محاسبه تخلخل کل از رابطه ۲ استفاده گردید (۸):

$$n = ۱۰۰ \times (۱ - \frac{\rho b}{\rho s}) \qquad [۲]$$

که n تخلخل کل (درصد) و ρs جرم مخصوص حقیقی (g/cm^3) است.

برای تعیین پ- هاش و هدایت الکتریکی بسترها، بسترهای کشت با نسبت حجمی ۵:۱ با آب مخلوط گردیدند و به مدت ۲۴ ساعت به حال خود رها شدند (۱۰ و ۱۹). سپس، پ- هاش عصاره حاصل از بسترها توسط پ- هاش‌متر و هدایت الکتریکی عصاره حاصل توسط هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های گیاه طی رشد گیاهان، شمار روز تا گل‌دهی، میوه‌دهی و رنگ‌اندازی میوه‌ها ثبت شد. اندازه‌گیری کلروفیل نسبی توسط دستگاه کلروفیل‌متر دستی (Hansatech Instrument Ltd, Kings Lynn, UK) و شمارش تعداد گره ساقه، شش ماه پس از انتقال نشاها انجام شد و هفت ماه پس از انتقال نشاها، گیاهان را از گلدان‌ها خارج کرده و برخی ویژگی‌های رویشی از جمله ارتفاع و وزن تر و خشک ریشه و شاخساره توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد.

تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی بسترهای کشت

بیشترین ظرفیت نگهداشت آب در بستر خاک‌اره ۸۵٪+ بنتونیت ۱۵٪ و پس از آن در بستر رایج (پیت ۸۰٪+ پرلیت ۲۰٪) دیده شد (جدول ۱). کمترین ظرفیت نگهداشت آب متعلق به بستر خاک‌اره خالص بود. تخلخل کل زیاد خاک‌اره (۹۶/۸٪) موجب ظرفیت نگهداشت کم آب شده و این شرایط فیزیکی نامناسب باعث می‌شود این بستر قادر به تأمین کافی آب و عناصر غذایی برای گیاه نباشد و سبب رشد کم گیاه شود. مقدار خلل و فرج خاک‌اره در این آزمایش به‌مقدار به‌دست آمده توسط کانگ و همکاران (۱۶) و مورل و گولمین (۱۸) نزدیک است. این

جدول ۱. برخی ویژگی‌های بسترهای کشت استفاده شده در این پژوهش

بستر کشت	جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	ظرفیت نگهداشت رطوبت (٪)	تخلخل کل (٪)
خاک‌اره (۱۰۰٪)	۲/۸۷۹	۰/۰۹۴	۱۳/۰۲	۵/۵۶	۴۶/۴	۹۶/۸
خاک‌اره ۹۵٪+ پامیس ۵٪	۲/۰۲۱	۰/۱۹۶	۲/۸۴	۶/۴۸	۸۶/۵	۹۰/۳
خاک‌اره ۹۰٪+ پامیس ۱۰٪	۱/۶۲۹	۰/۲۰۶	۴/۸۶	۶/۳۵	۵۷/۷	۸۷/۴
خاک‌اره ۸۵٪+ پامیس ۱۵٪	۰/۴۲۱	۰/۲۸۱	۵/۶۵	۶/۳۴	۶۷/۷	۳۴
خاک‌اره ۹۵٪+ بنتونیت ۵٪	۰/۵۳۵	۰/۱۲۶	۳/۵۹	۶/۶۵	۸۴/۳	۷۷
خاک‌اره ۹۰٪+ بنتونیت ۱۰٪	۱/۰۹۵	۰/۱۶۷	۶/۶۲	۷/۶۱	۹۳/۴	۸۴/۸
خاک‌اره ۸۵٪ + بنتونیت ۱۵٪	۱/۲۹۹	۰/۲۴۰	۸/۲۶	۷/۵۶	۱۷۶/۹	۸۱/۶
پیت ۸۰ ٪+ پرلیت ۲۰٪	۰/۹۳۵	۰/۲۱۶	۸/۲۱	۶/۲۴	۱۰۸/۵	۷۶/۹

محققین درصد فضای تخلخل خاک‌اره کمپوست نشده درشت (همانند آنچه در این آزمایش به‌کار برده شد) را ۹۵/۶ درصد محاسبه کرده‌اند.

خاک‌اره درشت دارای خلل و فرج بزرگ بیشتری نسبت به سایر بسترها است. به‌علت ابعاد بزرگتر ذرات خاک‌اره، اندازه حفره‌های خلل و فرج آن نیز بزرگتر می‌باشد. بنابراین، درصد زیاد خلل و فرج درشت در بستر خاک‌اره موجب گردش آسان-تر هوا در بستر، زهکشی بیشتر و سریع‌تر و در نتیجه خشک شدن سریع‌تر آن می‌شود. این نتایج مشابه با نتایج آلار و همکاران (۹) بود. از طرفی، ظرفیت نگهداری رطوبت کم این بستر موجب ایجاد تنش رطوبتی در گیاهان کشت شده در این بستر می‌گردید که این پدیده در نیم روز شدت بیشتری گرفته و به‌صورت پژمردگی جزئی برگ‌ها مشاهده شد.

نتایج نشان داد که اضافه کردن بنتونیت و پامیس به خاک‌اره باعث افزایش ظرفیت نگهداشت آب شد (جدول ۱). علاوه بر آن، نتایج نشان داد که افزودن بنتونیت و پامیس به خاک‌اره باعث کاهش جرم مخصوص حقیقی و تخلخل کل و افزایش جرم مخصوص ظاهری نسبت به تیمار خاک‌اره خالص شد (جدول ۱). جرم مخصوص ظاهری یکی از مهمترین خصوصیات فیزیکی بسترهای کشت می‌باشد. چن و همکاران (۱۲) گزارش کردند که خصوصیات فیزیکی مهمترین عاملی است که کارآیی گیاه را در بسترهای کشت تحت تأثیر قرار می‌دهد. جرم مخصوص ظاهری در بسترهای آلی کم است و رابطه معکوسی با درصد تخلخل دارد. وقتی جرم مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد، تعداد خلل و فرج و روزنه‌های بزرگ کم می‌شود (۲۰). در این آزمایش، با افزایش مقدار پامیس و بنتونیت در بستر کشت، جرم مخصوص ظاهری افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد که این افزایش به‌علت وجود ماده معدنی (پامیس) با وزن بیشتر در مقایسه با خاک‌اره باشد. آباد و همکاران (۷) حد بهینه جرم مخصوص ظاهری بستر کشت ایده‌آل را کمتر از ۰/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیان کردند. در کل، با افزایش نسبت‌های پامیس و بنتونیت، جرم مخصوص ظاهری بسترها افزایش یافت و این منجر به کاهش تدریجی در تخلخل کل و تغییر در پراکنش خلل و فرج بسترها شد.

علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی، خصوصیات شیمیایی بستر نیز باید مورد توجه قرار گیرد. ویژگی‌های شیمیایی مستقیماً روی قابلیت انحلال مواد غذایی و حفظ و نگهداری آنها تأثیر دارند. دو ویژگی مهم شیمیایی بستر کشت، پ- هاش و هدایت الکتریکی می‌باشد (۲۰). بررسی خصوصیات شیمیایی بستر نشان داد که با افزایش مقدار بنتونیت در بستر کشت، پ- هاش

جدول ۲. اثر بسترهای مختلف کشت بر ویژگی‌های رویشی گیاه فلفل دلمه‌ای

تیمار	شمار روز تا گل‌دهی	شمار روز تا میوه دهی	شمار روز تا رنگ اندازی	ارتفاع (cm)	کلروفیل نسبی
خاکاره (۱۰۰٪)	۶۵/۲ab	۷۹/۷۵bc	۱۳۶b	۱۱۳/۵ab	۳۳/۰۸۸c
خاکاره ۹۵٪+ پامیس ۵٪	۶۲/۲b	۷۹/۲۵c	۱۳۵/۷۵b	۱۰۴ab	۴۵/۵۵۰ab
خاکاره ۹۰٪+ پامیس ۱۰٪	۶۳/۷b	۷۶/۷۵c	۱۴۰b	۱۲۱a	۴۳/۳۸۸bc
خاکاره ۸۵٪+ پامیس ۱۵٪	۶۲b	۷۳/۵۱c	۱۳۴/۲۵b	۱۰۸ab	۴۳/۸۰۰b
خاکاره ۹۵٪+ بنتونیت ۵٪	۶۷ab	۷۹/۷۵bc	۱۳۴/۷۵b	۹۷/۲b	۳۹/۳۱۳bc
خاکاره ۹۰٪+ بنتونیت ۱۰٪	۷۱/۵a	۸۸/۵۱ab	۱۳۶/۵۱b	۱۰۴/۵ab	۴۵/۵۷۵ab
خاکاره ۸۵٪ + بنتونیت ۱۵٪	۷۰/۵a	۸۹/۵۱a	۱۵۴/۲۵a	۹۳b	۳۶/۹۳۸bc
پیت ۸۰ ٪+ پرلیت ۲۰٪	۴۴c	۵۸/۷۵d	۱۱۵/۲۵c	۱۲۶/۵ab	۵۵/۰۱۳a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حد اقل یک حرف مشترک می‌باشند در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

روند افزایشی داشت. بیشترین پ- هاش (۷/۶) در بستر خاکاره ۹۰٪+ بنتونیت ۱۰٪ و پس از آن در بستر خاکاره ۸۵٪+ بنتونیت ۱۵٪ اندازه‌گیری شد و کمترین پ- هاش (۵/۵) متعلق به بستر خاکاره خالص بود (جدول ۱). بیشترین هدایت الکتریکی مربوط به بستر خاکاره خالص (۱۳/۰۲) و کمترین هدایت الکتریکی را بستر خاکاره ۹۵٪+ پامیس ۵٪ داشت. در مجموع، نتایج نشان داد که اضافه کردن بنتونیت و پامیس به خاکاره باعث افزایش پ- هاش و کاهش هدایت الکتریکی شد (جدول ۱).

تأثیر بسترهای کشت بر صفات کمی گیاه فلفل دلمه‌ای

نتایج نشان داد که زودترین گل‌دهی، میوه‌دهی و رنگ‌اندازی پس از بستر رایج پیت+ پرلیت مربوط به تیمار خاکاره ۸۵٪+ پامیس ۱۵٪ و دیرترین گل‌دهی، میوه‌دهی و رنگ‌اندازی مربوط به تیمار خاکاره ۸۵٪+ بنتونیت ۱۵٪ بود (جدول ۲).

افزودن پامیس باعث کاهش شمار روز تا گل‌دهی و میوه‌دهی در مقایسه با افزودن بنتونیت به خاکاره گردید. افزودن پامیس اثر معنی‌داری بر شمار روز تا گل‌دهی و میوه-دهی در مقایسه با خاکاره خالص نداشت. تمامی تیمارها در مقایسه با بستر رایج، افزایش معنی‌دار در شمار روز تا گل‌دهی، میوه‌دهی و رنگ‌اندازی نشان دادند و قابل مقایسه با آن نبودند.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته پس از بستر رایج پیت+ پرلیت مربوط به تیمار خاکاره ۹۰٪+ پامیس۱۰٪ و کمترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار خاکاره ۸۵٪+ بنتونیت ۱۵٪ بود (جدول ۲). افزودن بنتونیت و پامیس به خاکاره تغییر معنی‌داری از نظر ارتفاع ایجاد نکرد و تمامی بسترها در مقایسه با بستر رایج در یک سطح قرار داشتند.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل پس از بستر رایج پیت+ پرلیت مربوط به تیمارهای خاکاره ۹۰٪+ بنتونیت ۱۰٪ و خاکاره ۹۵٪+ پامیس ۵٪ بود که از نظر آماری با بستر رایج پیت+ پرلیت تفاوتی نداشتند و کمترین میزان کلروفیل مربوط به تیمار خاکاره ۱۰۰٪ بود (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌ها همچنین نشان داد که بیشترین تعداد گره در ساقه پس از بستر رایج پیت+ پرلیت مربوط به تیمار خاکاره خالص بود که با پیت+ پرلیت تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن مربوط به تیمار خاکاره به همراه بنتونیت ۵ و ۱۰ درصد بود (جدول ۳). افزودن بنتونیت به میزان ۵ و ۱۰ درصد به خاکاره موجب کاهش تعداد گره ساقه اصلی به طور معنی‌داری در مقایسه با خاکاره خالص و پیت شد و در سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار با تیمار خاکاره خالص مشاهده نشد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار خاکاره ۸۵٪+ پامیس ۱۵٪ و بیشترین

جدول ۳. اثر بسترهای کشت بر تعداد گره ساقه، و وزن تر و خشک ریشه و شاخساره گیاه فلفل دلمه‌ای

تیمار	تعداد گره ساقه	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)
خاک‌اره (۱۰۰٪)	۲۰/۷۵ab	۱۵۳/۸۲ab	۱۷/۱۷۸abc	۳۶۶/۳۱bc	۶۵/۸۵۸edc
خاک‌اره ۹۵٪+ پامیس ۵٪	۲۰b	۱۶۹/۵۱a	۲۲/۱۱۵ab	۲۷۰/۷۲de	۴۹/۲۱۳e
خاک‌اره ۹۰٪+ پامیس ۱۰٪	۱۹/۷۵b	۱۶۸/۲۱a	۲۱/۳۳۰ab	۳۷۰/۲۲bc	۶۷/۴۳۳bc
خاک‌اره ۸۵٪+ پامیس ۱۵٪	۱۹bc	۱۵۶/۵۴ab	۲۳/۷۳۵a	۳۹۸/۶۳b	۷۰/۲۶۸b
خاک‌اره ۹۵٪+ بنتونیت ۵٪	۱۶/۷۵c	۱۰۸/۸۷bc	۱۲/۱۴۳cd	۲۹۹/۵۳dc	۵۵/۲۳۳ed
خاک‌اره ۹۰٪+ بنتونیت ۱۰٪	۱۶/۷۵c	۱۲۱/۱۲abc	۱۴/۶۲۳bcd	۳۰۶/۸۲dc	۵۷/۳۸۳bcd
خاک‌اره ۸۵٪ + بنتونیت ۱۵٪	۱۹/۷۵b	۶۸/۲۲c	۸/۱۴۰d	۲۰۸/۱۳e	۴۰/۹۲۰e
پیت ۸۰ ٪+ پرلیت ۲۰٪	۲۳a	۱۴۴/۳۰ab	۲۰/۱۰۳abc	۵۴۴/۵۲a	۱۱۰/۵۹۰a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حد اقل یک حرف مشترک می‌باشند در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

وزن تر ریشه مربوط به تیمار خاک‌اره ۹۵٪+ پامیس ۵٪ و کمترین وزن تر و خشک ریشه مربوط به تیمار خاک‌اره ۸۵٪+ بنتونیت ۱۵٪ بود (جدول ۳). تنها افزودن بنتونیت با غلظت ۱۵٪ موجب کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک ریشه نسبت به تیمار خاک‌اره خالص شد و سایر تیمارها با بستر خاک‌اره و بستر رایج پیت+ پرلیت در یک سطح قرار داشتند.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی پس از بستر رایج پیت+ پرلیت مربوط به تیمار خاک‌اره ۸۵٪+ پامیس ۱۵٪ و کمترین وزن تر و خشک اندام هوایی مربوط به تیمار خاک‌اره ۸۵٪+ بنتونیت ۱۵٪ بود (جدول ۳). افزودن پامیس ۵٪ و بنتونیت ۱۵٪ موجب کاهش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی نسبت به تیمار خاک‌اره خالص و افزودن پامیس ۱۵٪ موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار خاک‌اره خالص شد. اما سایر تیمارها با بستر خاک‌اره در یک سطح قرار داشتند. نتایج همچنین نشان داد که وزن تر و خشک اندام هوایی تمامی تیمارها در مقایسه با بستر رایج پیت+ پرلیت قابل مقایسه نبودند.

در این پژوهش، در اکثر موارد، افزودن پامیس به خاک‌اره باعث افزایش رشد رویشی شد. تأثیر مثبت افزودن پامیس به خاک‌اره بر صفات رویشی بوته به‌دلیل نقش اصلاح‌کنندگی پامیس برای خاک‌اره و تهویه و زهکشی ریشه می‌باشد. در همین ارتباط، عابدی کوپائی و همکاران (۳) در بررسی کاربرد مواد جاذب رطوبت طبیعی و مصنوعی، پامیس را با مقادیر ۴۰ و ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک و با ترکیب با دیگر مواد جاذب، به کار بردند. نتایج آنها نشان داد که ترکیب پامیس و پلیمر تأثیر مثبتی بر رشد برخی شاخص‌های گیاهی داشت. کولا و همکاران (۱۳) بیان کرده‌اند که عملکرد خیارهای کشت شده در پرلیت و پامیس بیشتر از پشم سنگ است و کیفیت میوه‌ها تحت تأثیر بستر کاشت واقع نمی‌شود. شاهین و همکاران (۲۱) به بررسی تأثیر پامیس به‌عنوان ماده اصلاح‌کننده بر ساختمان و منحنی مشخصه رطوبتی خاک پرداختند. نتایج بررسی آنها نشانگر این مطلب بود که با افزایش مقدار و اندازه پامیس، تخلخل کل خاک افزایش، اما چگالی ظاهری به طور معنی‌داری کاهش یافت.

در پژوهش حاضر، تیمارهای خاک‌اره خالص و خاک‌اره به همراه بنتونیت در مقایسه با بستر رایج پیت+ پرلیت تأثیر منفی بر رشد رویشی داشتند. میزان کم کلروفیل در بوته‌های کاشته شده خاک‌اره خالص عمدتاً به‌دلیل تنش رطوبتی و عدم نگهداری مواد غذایی اضافه شده به گلدان‌ها، از جمله نیتروژن، می‌باشد. افزودن بنتونیت به خاک‌اره اثر منفی بر رشد رویشی گیاه داشت که با افزایش نسبت بنتونیت به ۱۵٪ اثر منفی آن روی وزن تر و خشک ریشه و شاخساره تشدید شد. احتمالاً،

استفاده از نسبت زیاد بنتونیت باعث شده که به سختی مولکول-های آب را نگهداشته و جذب را برای گیاه مشکل کرده است. خاک‌اره مستعد پوسیدگی زیاد است و ترکیب آن با بنتونیت باعث می‌شود گنجایش نگهداری رطوبت آن افزایش یافته و نگهداری آب بیش از حد نیاز گیاه در بسترها، به دلیل کاهش اکسیژن، اثر منفی بر تنفس ریشه و جذب آب و مواد غذایی گیاهان را به همراه دارد (۴ و ۱۰). بنتونیت به‌کار رفته در این تحقیق از نوع پودری بود. احتمالاً پر شدن فضاهای خالی بستر خاک‌اره به‌وسیله بنتونیت موجب کاهش اکسیژن موجود در بستر خاک‌اره و کاهش رشد رویشی گیاهان شده است. به‌همین علت، توصیه شده است برای مقاصد کشاورزی و باغبانی از ذرات هیدروژل بزرگتر از ۱ تا ۳ میلی‌متر استفاده شود (۵). این نتایج مشابه با نتایج استیل (۲۲) است که بیان کرد اضافه کردن مقادیر زیاد هیدروژل (۳۹۷ و ۴۵۴ گرم بر ۰/۰۳ متر مکعب) به بستر پوست درخت، به‌علت کاهش میزان تهویه بستر به خاطر پر شدن فضاهای خالی در اثر تورم هیدروژل، موجب کاهش وزن خشک بوته‌های داوودی شد. همچنین، شرفا (۲) بیان کرد که افزودن سوپر جاذب در بسترهای سبک مانند پرلیت موجب افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و کاهش هدررفت آب می-شود. ولی در خاک‌های سنگین، به علت ظرفیت نگه‌داری رطوبت زیاد در حالت عادی در این خاک‌ها، سوپر جاذب نه تنها مشکلی را حل نکرده، بلکه مشکل رطوبتی بستر را تشدید می‌نماید.

نتیجه‌گیری

افزودن پامیس به بستر خاک‌اره که با قیمت بسیار کم و به وفور یافت می‌شود از طریق اصلاح ساختمان آن، تهویه و زهکشی ریشه‌ها و بهبود قابلیت نگهداری آب و محلول غذایی موجب بهبود ویژگی‌های رویشی و زایشی فلفل دلمه‌ای شده و می‌توان از این بسترها به عنوان بسترهای مناسب در هیدروپونیک استفاده نمود. اگرچه هنوز قابل رقابت با بستر پیت+ پرلیت نمی‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. پیوست، غ. ع. ۱۳۸۴. سبزیکاری. چاپ سوم، انتشارات دانش پذیر، رشت.

۲. شرفا، م. ۱۳۶۶. اثر پرلیت و هیدروپلاس بر تخلخل، ظرفیت نگه‌داری رطو بت و آب‌گذری خاک‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۳. عابدی کوپائی، ج.، س. ح. سقائیان نژاد، ف. ا. سلیمی و م. مقدس. ۱۳۸۹. تأثیر کاربرد مواد جاذب رطوبت طبیعی و مصنوعی بر خصوصیات هیدرولیکی و مکانیکی خاک لومی. چهارمین همایش منطقه‌ای یافته‌های پژوهشی کشاورزی، صفحات ۲۲-۲۳.

۴. عابدی کوپائی، ج. و م. مسفروش. ۱۳۸۸. ارزیابی کاربرد پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد، کآرایی مصرف آب و ذخیرهٔ عناصر غذایی در خیار گلخانه‌ای. مجله ابیاری و زهکشی ایران ۲(۳): ۱۰۰-۱۱۱.

۵. عقدک، پ.، م. مبلی، ا. ح. خوشگفتارمنش و ف. شاکری. ۱۳۸۹. تأثیر افزودن بنتونیت به بسترهای مختلف کاشت بر رشد رویشی و عملکرد لوبیا سبز. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱(۳): ۳۱-۴۱.

۶. رضائی، آ. ۱۳۸۸ . تأثیر بسترهای مختلف کاشت در گلخانه بر عملکرد و کیفیت رز شاخه بریده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

7. Abad, M., P. Noguera, R. Puchades, A. Maqueira and V. Noguera. 2002. Physico-chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerized ornamental plants. Bioresour. Technol. 82: 241-245.

8. Adamson, R.M. and E.F. Mass. 1971. Sawdust and other soil substitutes and amendments in greenhouse tomato production. Hort Sci. 6: 397-399.

9. Allaire, S.E., J. Carone, C. Menard and M. Dorais. 2004. Growing media varying in particle size and shape for greenhouse tomato. Acta Hort. 644: 307-311.
10. Al-Harbi, A.R, A.M. Al-Omran, A.A. Shalaby and M.I. Choudhary. 1999. Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments. Hort Sci. 34: 223-224.
11. Baruah, C.T. and H.B. Barthakur. 1998. A Textbook of Soil Analysis. Vikas Pub. House PMT, Ltd., New Delhi, India.
12. Chen, Y., Y. Ibar and Y. Harda. 1988. A hardwood bark-sawdust compost for greenhouse pot flower production. Forest Prod. J. 22(1): 36-39.
13. Colla, G., E. Rea, F. Pierandrie and A. Salerno. 2003. Effects of substrates on yield quality and mineral composition of soilless grown cucumbers. Acta Hort. 614: 205-209.
14. Ghasemi, M., M. Khosh-Khui and J. Abedi-Koupai. 2010. Effect of superabsorbent polymer on water requirement and growth indices of *Ficus benjamin* L. starlight. J. Plant Nutr. 33: 785-795.
15. Johnson, C.M., P.R. Stout, T.C. Broyer and A.B. Carlton. 1956. Comparative chlorine requirements of different plant species. Plant Soil 8: 337-353.
16. Kang, J.Y., H. Lee and K.H. Kim. 2004. Physical and chemical properties of inorganic horticultural substrates used in Korea. Acta Hort. 644: 237-241.
17. Maloupa, E., A. Abou-Hadid, M. Prasad and C. Kavafakis. 2001. Response of cucumber and tomato plants to different substrates of pumice in substrate culture. Acta Hort. 550: 593-599.
18. Morel, P. and G. Guillemain. 2004. Assessment of the possible phytotoxicity of a substrate using an easy and representative biotest. Acta Hort. 644: 417-423.
19. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 65-90. *In:* Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, WI.
20. Robert, H.S. and R.E. Michael. 1999. Growh of *Dracaena marginata* and Spathiphyllum 'Petite' in sphagnum peat and coconut coir dust- based growing media. J. Environ. Hort. 17(1): 49-52.
21. Sahin, U., S. Ors, S. Ercisli, O. Anapali and A. Esitken. 2005. Effect of pumice amendment on physical soil properties and strawberry plant growth. J. Centeral Eur. Agric. 3: 361-366.
22. Still, S.M. 1976. Growth of sunny mandalay chrysanthemums in hardwood bark amended media as affected by insolublized polyethylene oxide. Hort Sci. 11: 483-484.
23. Verdonck, O., D. De Vleeschauwer and M. De Boodt. 1982. The influence of the substrates to plant growth. Acta Hort. 126: 251-258.