شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران

دانشگاه زنجان، ۵ تا ۷ شهریور ۱۳۹۸

محور مقاله: کیفیت خاک و مدیریت پایدار خاک

بهینه‌یابی اقتصادی خصوصیات فیزیکی برای بسترهای کشت آلی و معدنی

محبوبه مظهری[۱*]،نگار نیک اختر[۲]، سامان ملک نیا[۳]

[۱] استاد یار گروه خاک شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران

[۲]دانش آموخته گروه خاک شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران

[۳] دانشجو دکتری گروه خاک شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران

چکیده

افزایش روز افزون جمعیت همزمان با وجود محدودیت در منابع تامین کننده غذا نظیر خاک، دنیای امروز را بر آن داشته تا از فناوری‌های موفق و موثرتری جهت جایگزینی خاک استفاده گردد. کشت بدون خاک روشی جدید در بسیاری از کشورهایی است که دارای محدودیت منابع خاک و آب هستند. در این مقاله، دو ماده آلی (کوکوپیت، پیت‌ماس) و دو ماده معدنی (پرلیت، زئولیت) به عنوان بستر کشت مورد بررسی قرار گرفتند. هرکدام از چهار ماده در نسبت‌های (۱۰۰-۰) باهم تلفیق شدند و سه خصوصیت ماده آلی، تخلخل و میزان ذخیره رطوبت در آن‌ها جهت بررسی بهترین مدل رگرسیونی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مدل‌های مختلف شامل رگرسیون خطی، لگاریتمی، چند جمله‌ای و نمایی تعیین شدند و سپس در هر مورد خوبی برازش توسط معیار حداقل خطای استاندارد (MSE) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. همچنین حداقل‌سازی قیمت و بهینه‌یابی اقتصادی برای بسترهای تلفیقی از طریق برنامه‌ریزی ریاضیاتی با استفاده از نرم‌افزار (WinQSB) انجام شد. نتایج نشان داد که هر سه خصوصیت فیزیکی ماده آلی، میزان ذخیره رطوبت و فضای تخلخل کل دارای عملکردی غیرخطی می‌باشند و مدل رگرسیون نمایی برای هرکدام از بسترهای تلفیق شده مناسب‌ترین مدل می‌باشد.

کلمات کلیدی: حداقل‌سازی قیمت، مدل‌های رگرسیون، کشت بدون خاک، خصوصیات فیزیکی خاک

مقدمه

خاک به عنوان منبعی برای حمایت از گیاهان و واسطه‌ای برای تامین آب، مواد معدنی و اکسیژن به شمار می‌رود. وجود خاک برای رشد و نمو اجزای مختلف اندام‌های گیاهی ضروری می‌باشد. خاک دارای خلل و فرج ریزی است که توانایی فراهم نمودن وضعیتی مساعد برای نگهداری میزان مناسبی از آب‌وهوا و نفوذ آن‌ها به سمت ریشه را فراهم می‌نماید(فوت و الیس، ۱۹۸۸؛ هاولین و همکاران، ۱۹۹۹؛ راسل، ۲۰۰۸).

روش کشت بدون خاک یکی از روش‌های موثر و جایگزین کشت در خاک است، این روش در سال‌های اخیر پیوسته در حال گسترش و توسعه می‌باشد. پروژه‌ها و تحقیقات موفقیت آمیز زیادی در کشورهای مختلف سراسر جهان گواه روشنی بر اثبات این مهم می‌باشند که این روش با اعمال راهکارهای مدیریتی از قبیل کنترل میزان آب آبیاری و مواد مغذی در مقایسه با کشت در خاک می‌تواند حداکثر تولید سبزیجات و گیاهان زینتی با کیفیت و کمیت بالا در حداقل زمان حتی در سطوح وسیع گلخانه‌ای داشته باشد. با توجه به شرایط کشور ایران، روش کشت بدون خاک می‌تواند به یک دانش بومی و کارامد برای تولید محصولات مختلف به خصوص در مناطق محروم کشور تبدیل شود (علیزاده، ۱۳۸۴؛ مارتینز و آباد، ۱۹۹۲؛ وردونک و بون، ۱۹۸۱).

موادآلی که به عنوان جزئی از یک بستر به همراه مواد معدنی تلفیق می‌شوند، معمولا شامل پیت، کوکوپیت، پوست‌کاج و موادی از این قبیل می‌باشند که دارای تخلخل بالا، تبادل یونی، توانایی نگهداری آب، همراه با چگالی پایین می‌باشند(زرین کفش، ۱۳۸۵؛ ورده و بون، ۲۰۰۰؛ ییگر و همکاران، ۲۰۰۷). این خصوصیات باعث فراهم نمودن آب و هوادهی مناسب برای ریشه، امکان حداکثر رشد ریشه و حمایت فیزیکی گیاه می‌باشند (بیلدربک و همکاران، ۲۰۰۵). از سویی دیگر بستر کشت باید ارزان، در دسترس و کاربرد آن از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد(داویدسون و همکاران، ۱۹۹۸). خصوصیات مواد مختلف مورد استفاده در بستر کشت، اثرات مستقیم وغیر مستقیمی روی رشد و تولید محصول می‌گذارد و انتخاب بستر مناسب یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در تولید موفقیت آمیز در کشت بدون خاک است(وردونک و همکاران، ۱۹۸۲). در بسیاری از کشورها، بسترها

* ایمیل نویسنده مسئول: Mahbubehmazhari@gmail.com

با روش‌های سنتی و شیوه‌های نادرست فراهم می‌شوند و تلفیق‌ها در نبود آگاهی و شناخت کافی در مورد نسبت اجزا و هزینه‌های مربوطه فرمول‌بندی شده‌اند. برای حل این مشکل می‌توان راه‌حل‌هایی را برای ارزیابی تلفیق، ارزش مواد استفاده شده و یافتن منابع بهینه با کمک برآورد شماری از متغیرهای مرتبط در مورد جنبه پیچیده فرمول‌بندی بستر در نظر گرفت(زامورا و همکاران، ۲۰۰۵).

مدل‌سازی خصوصیات فیزیکی ترکیبات، با کمک مدل‌های رگرسیون با توجه به نسبت‌های موجود برای هر ترکیب صورت گرفته است. وینستون در سال (۱۹۹۵) نرم‌افزار تجاری هایپر لینگو/ پی‌سی را برای برنامه‌ریزی ریاضیاتی ارائه داد. این برنامه به عنوان مبنایی اساسی و مهم برای بازارا و همکارانش در سال (۲۰۰۶) در حل برنامه‌ریزی ریاضیاتی غیرخطی در تعیین شیب کلی کاهش و به عنوان روشی برای بهینه‌یابی مورد استفاده و بررسی قرار گرفت. گارسیا و لوپز در سال (۲۰۱۲) در مقاله خود برای بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی تخلخل کل، ظرفیت نگهداری رطوبت و ماده‌آلی بسترهای تلفیقی اقدام به مدل‌سازی نمودند. از آن جایی که خصوصیاتی چون تخلخل کل و ظرفیت نگهداری رطوبت رفتار خطی از خود نشان ندادند، آن‌ها از مدل‌های رگرسیون غیرخطی مناسب استفاده نمودند.

زامارا و همکارانش در سال (۲۰۰۵) فرمول‌نویسی برای بسترهای کشت را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی انجام دادند. گارسیا و لوپز در سال (۲۰۱۲) روش زامارا و همکارانش را به عنوان مبنایی برای فرمول بندی بسترهای تلفیقی خود قرار دادند و در نهایت به تاثیرگذار بودن روش پیشنهادی زامارا و همکارانش در برطرف نمودن مشکلات برنامه‌ریزی ریاضیاتی خطی اشاره نمودند. برنامه‌ریزی ریاضی یک روش تجربی برای فرمول بندی تلفیق بسترهای بدون خاک می باشد و عموماً تقریب و تخمین خوبی را فراهم می‌آورد (وردونک، ۱۹۸۲؛ ورده و همکاران، ۲۰۰۰).

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج انجام گرفت. نمونه‌ها شامل چهار بستر مختلف می‌باشند که دو بستر آلی و دو بستر معدنی می‌باشند. چهار بستر عبارتند از پرلیت و زئولیت(بسترهای معدنی)، پیت و کوکوپیت(بسترهای آلی) هستند. بررسی ویژگی های فیزیکی بسترها به صورت انفرادی و به صورت ترکیب بسترها به شکل دو به دو صورت پذیرفت. ماده‌آلی برای هر کدام از بسترها با استفاده از روش والکی‌بلک اندازه‌گیری شدند(منطقی، ۱۳۶۵).

فضای تخلخل کل، نگهداری رطوبت، ماده‌آلی برای هر چهار بستر پرلیت، زئولیت، کوکوپیت و پیت‌ماس اندازه‌گیری شد. خواص فیزیکی نام برده شده بر پایه یک درصد حجمی اساسی می باشند. در طی روند آزمایش داشتن ساختاری تغییر ناپذیر برای یک بستر مهم می باشد. متورم شدن یا جمع و کوچک شدن بسترها در طول شرایط اشباع باعث ایجاد خطا در به دست‌آوردن داده‌ها می‌شود. این حالت‌ها (متورم و یا جمع و کوچک شدن) برای بسترهای آلی بیشتر رخ می‌دهد بدین منظور بسترهای آلی از قبیل کوکوپیت و پیت‌ماس هر کدام یک روز قبل از انجام آزمایش به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد پهن شدند. آزمایش نباید بر روی نمونه‌هایی با رطوبت کمتر از ۱۰ درصد یا بالاتر از ۲۰ درصد قرار گیرد. میزان رطوبت نمونه‌ها پس از پهن‌شدن و خشک‌شدن در مدت ۲۴ ساعت حدودا ۱۵ درصد بوده است. همچنین شش ترکیب بستر شامل T_1 تا T_6 ایجاد گردید. به عنوان مثال T_1 ترکیب (زئولیت و پرلیت) در یازده تلفیق مختلف از (صفر تا ۱۰۰) درصد می‌باشد. خصوصیات فیزیکی ذکر شده در تمام ترکیب‌ها و درصدهای مختلف تلفیق، آزمایش شد.

به جهت بررسی تاثیر نسبت‌های مختلف بسترها بر روی خصوصیات فیزیکی بستر(درصد ماده آلی OM، فضای تخلخل کل TPS، نگهداری رطوبت HR)، از مدل‌های رگرسیون خطی، چند جمله‌ای، لگاریتمی و نمایی صورت گرفت و همچنین مقادیر MSE و R-square به عنوان معیار خوبی برای برازش ویژگی های فیزیکی مدل‌ها در نظر گرفته شد. فرم اصلی تابع تشکیل دهنده مدل‌های رگرسیونی به کاربرده شده به صورت زیر بوده است:

$$Y = f(x_1, x_2) + e$$

که درآن Y متغیر وابسته که شامل تخلخل کل، ذخیره رطوبت و یا ماده آلی است تابعی از نسبت‌های مختلف دو متغیر مستقل X_1 و X_2 و یا همان خصوصیات فیزیکی تلفیق بسترها می‌باشد. به دلیل اینکه هر یک از نسبت بسترها تاثیرات مستقل و متفاوتی بر متغیر وابسته دارند، برای هر متغیر مدلی جداگانه برآورد می‌شود. در این مدل $f(X_1,X_2)$ شکل تابعی مدل می‌باشد که X_1 و X_2 نشان دهنده نسبت تلفیق دو بستراست که همواره $X_1+X_2=1$ می‌باشد. e خطا مدل می‌باشد. فرم تابعی مدل‌های مختلف رگرسیونی به کاربرده شده در این پژوهش به صورت زیر بوده است:

$$Y = P_1X_1 + P_2X_2 + \varepsilon \quad (۱)$$

$$Y = P_1X_1 + P_2X_2 + P_3X_1^2 + P_4X_2^2 + \cdots + P_KX_2^K + P_{K+1}X_2^K + P_{K+2}X_1X_2 + \varepsilon \quad (۲)$$

$$Y = P_1 logX_1 + P_2 logX_2 + \varepsilon \quad (۳)$$

$$Y = P_1 exp\{P_2 X_1 + P_3 X_2 + P_4 X_1^2 + P_5 X_1^3\} + \varepsilon \quad (۴)$$

بعد از برآورد مدل‌های فوق و شناسایی مدل برتر، ضرایب آن مدل به‌عنوان ارتباط بین نسبت‌های مختلف بسترها و خصوصیات فیزیکی بستر لحاظ می‌گردند و در فرمول‌بندی برنامه‌ریزی ریاضی بکار گرفته می‌شوند. بیش از دودهه است که تلاش‌هایی درجهت استفاده از روش‌های اقتصاد سنجی در تخمین پارامترها یا الگوهای بهینه‌سازی صورت گرفته است که درآن روش‌های اقتصاد سنجی و برنامه‌ریزی به طور مناسب باهم ترکیب شده است. در این مطالعه نیز برنامه‌ریزی ریاضی جهت نیل به بهینه اقتصادی و فنی، برای سه متغیر فضای کل تخلخل ، رطوبت و مواد آلی صورت پذیرفته که ساختار مدل‌های برنامه‌ریزی به صورت زیر است.

$$Z = C'X_1 + C'X_2 \quad (۵)$$
$$ax \leq b$$
$$x \leq x_0$$
$$x \geq 0$$

در این مدل Z (نشان‌دهنده تابع هدف) بوده که نسبت به محدودیت‌های موجود حداقل می‌گردد. در این مطالعه محدودیت‌های سطوح بالا و پایین برای درصد ماده‌آلی، فضای تخلخل کل و نگهداری رطوبت درنظر گرفته می‌شود که بعد از شناسایی بهترین فرم برای ارتباط بین این متغیرها با نسبت ترکیب بسترها، فرمول‌بندی می‌شوند.

نتایج و بحث

با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰، مقادیر حداقل خطای استاندارد[1] در مدل‌های مختلف رگرسیونی خطی، چند جمله‌ای، لگاریتمی و نمایی برای تعیین خوبی برازش، برآورد شدند. هر مدلی که دارای کمترین مقدار حداقل خطای استاندارد باشد بهترین مدل می‌باشد. خطای استاندارد حاصل از برازش مدل‌ها در جدول ۱ آورده شده است که با توجه به اینکه در تمامی بسترهای تلفیقی مدل نمایی حداقل خطای استاندارد را دارا می‌باشد به عنوان بهترین مدل برای بررسی تاثیر نسبت بسترها بر خصوصیات فیزیکی انتخاب گردید.

جدول ۱. مقادیرحداقل خطای استاندارد(MSE) برای بسترهای تلفیقی درمدل‌های مختلف

	$T_۶$	$T_۵$	$T_۴$	$T_۳$	$T_۲$	$T_۱$
خطی	۲۶/۶۴۶	۵۳/۱۴۲	۰/۱۳۳	۲۶/۷۴۹	۱۲/۴۷۲	۰/۱۲۴
چندجمله ای	۲۴/۹۱۵	۴۳/۳۸۶	۰/۱۳۴	۲۱/۱۵۵	۱۱/۹۶۱	۰/۱۰۹
لگاریتمی	۶/۰۴۰	۱۷/۰۷۳	۲۳/۰۸۵	۱۴/۲۴۳	۲۰/۷۴۴	۰/۱۴۱
نمایی	۰/۰۰۴	۰/۰۲۲	۰	۰/۰۰۹	۰/۰۱۱	۰/۰۶۷

در این مدل عرض از مبدا صفر در نظر گرفته می‌شود زیرا در حالتی که $X_1 = X_2 = 0$ مقدار Y برابر با عرض از مبدا خواهد بود. بنابراین بهترین مدل از لحاظ خوبی برازش برای متغیرهای وابسته پژوهش مدل رگرسیون نمایی می‌باشد که فرم زیر را داراست.

$$Y = P_1 Z_1 + P_2 Z_2 \times exp\{P_3 Z_1 + P_4 Z_2 + P_5 Z_1^2 + P_6 Z_1^3\} + \varepsilon \quad (۶)$$

نتایج برآورد مدل نمایی برای متغیرهای وابسته(ماده آلی، فضای تخلخل کل و نگهداری رطوبت) در جداول ۲، ۳، ۴ آورده شده است که این ضرایب در فرمول‌بندی روابط برنامه‌ریزی ریاضی بکار گرفته شده است.

جدول ۲. مقادیر برآورد شده پارامتر $\hat{P}$ و MSE برای متغیر وابسته ماده‌آلی(Y=OM)

ترکیب	MSE	R-Square	$\hat{P}_6$	$\hat{P}_5$	$\hat{P}_4$	$\hat{P}_3$	$\hat{P}_2$	$\hat{P}_1$
T_1	۰/۰۱۹۸	۰/۶۴۷۴	۷/۷۷۹	-۱۶/۳۵	-۴/۴۶۸	۷/۶۰۶	۳/۳۶۱	-۰/۰۲۲۳۵
T_2	۱/۳۰۷	۰/۹۸۷۸	۰/۱۷۲۷	۰/۵۱۶	۲/۷۵۳	۲/۳۳۲	۵/۶۴۳	۰/۱۰۸۹

[1] MSE

T_3	۳/۰۵۴	۰/۹۹۴۹	-۱/۱۱۷	۳/۱۵	۲/۸۱۶	۱/۱۸۷	۵/۳۸۷	-۰/۴۳۲۵
T_4	۰/۰۲۴	۰/۸۲۸۹	-۰/۰۶۳۵۳	۰/۰۲۹۹۳	۳/۲۷۹	۳/۲۷۳	۳/۳۹	۹۰/۸۸
T_5	۲/۱۷۱	۰/۹۶۶۱	-۰/۳۲۶۹	۲/۲۰۴	۲/۷۶۹	۱/۱۳۸	۵/۳۱۸	۰/۵۵۳۵
T_6	۱/۹۴۵	۰/۹۸۵۸	۰/۰۵۹۰۵	۱/۳۸۵	۳/۱۰۲	۲/۱۸۸	۳/۹۴۲	۱/۶۹۲

جدول ۳. مقادیر برآورد شده MSE و پارامتر $\widehat{P}$ برای متغیر وابسته فضای تخلخل کل(TPS)

ترکیب	MSE	R-Square	$\widehat{P}_6$	$\widehat{P}_5$	$\widehat{P}_4$	$\widehat{P}_3$	$\widehat{P}_2$	$\widehat{P}_1$
T_1	۰/۴۰۶	۰/۸۰۳۷	۰/۵۰۶۶	-۰/۸۵۳۴	۲/۰۷۳	۱/۹۴۳	۵/۳۴۵	۴۳/۴۵
T_2	۲/۲۲۶	۰/۹۹۴۶	۱/۷۱۲	-۱/۷۱۳	۳/۱۲	۳/۸۰۱	۳/۸۱۱	۴۲/۹۷
T_3	۲/۳۹۹	۰/۹۸۴۳	۱/۷۳۱	-۱/۸۲۲	۲/۹۳۸	۳/۵۶۴	۳/۶۷۸	۴۳/۸۴
T_4	۱/۳۵۰	۰/۹۷۹۶	۱/۷۷۵	-۱/۹۷۷	۲/۹۰۶	۳/۶۹۲	۳/۷۶۶	۸۵/۷۴
T_5	۶/۶۵۴	۰/۹۶۳۵	۲/۲۱۹	-۲/۳۳	۲/۵۸	۳/۲۰۱	۵/۳۳۴	۴۲/۸۱
T_6	۱/۲۱۲	۰/۹۹۷۵	۱/۸۹۴	-۲/۳۳	۳/۱	۳/۹۲۴	۳/۸۸۱	۴۲/۵۷

جدول ۴. مقادیر برآورد شده MSE و پارامتر $\widehat{P}$ برای متغیر وابسته نگه‌داری رطوبت(HR)

ترکیب	MSE	R-Square	$\widehat{P}_6$	$\widehat{P}_5$	$\widehat{P}_4$	$\widehat{P}_3$	$\widehat{P}_2$	$\widehat{P}_1$
T_1	۰/۲۶۰	۰/۸۸۴۹	۰/۰۸۳۵۹	۰/۳۱۶۲	۲/۱۶۸	۱/۹۴۶	۴/۰۸	۳۷/۴۱
T_2	۰/۶۷۳	۰/۹۹۸۳	۱/۷۷	-۲/۰۹۹	۳/۰۰۵	۳/۸۳۵	۳/۸۶۲	۳۷/۶۷
T_3	۰/۵۵۸	۰/۹۹۶۴	۱/۴۵۳	-۱/۵۴۷	۰/۹۵۳۹	۱/۵۱۳	۲۴/۵۴	۳۷/۷۴
T_4	۰/۶۳۲	۰/۹۸۶۲	۱/۸۷۶	-۱/۹۵۸	۲/۴۲۸	۳/۱۵۹	۵/۶۵۵	۷۷/۵۲
T_5	۰/۹۸۱	۰/۹۹۴۶	۱/۷۳۵	-۱/۷۳	۲/۴۸۷	۳/۱۰۸	۵/۳۴۸	۳۵/۴۵
T_6	۰/۳	۰/۹۹۹۳	۱/۷۶۳	-۱/۹۴۴	۲/۵۰۱	۳/۱۸۱	۶/۳۶۹	۳۵/۷

سپس با استفاده از نرم‌افزار WinQSB، تابع هدف که در واقع به حداقل رساندن هزینه بسترهای تلفیقی به کاربرده شده در پژوهش می‌باشد، تعیین شد که با استفاده از این نرم افزار مواردی چون Ck (هزینه به تومان هر لیتر از بستر K اُم می‌باشد) برآورد شد. قیمت کل هر یک از بسترهای مورد استفاده در پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

قیمت کل پرلیت مصرف شده چهارهزار تومان — قیمت کل زئولیت مصرف شده بیست هزار تومان

قیمت کل پیت‌ماس مصرف شده دوازده هزار تومان — قیمت کل کوکوپیت مصرف شده هشت هزار و دویست تومان

Xk (میزان نسبت در هر سی‌سی از بستر Kاُم)، Mk (درصد ماده‌آلی در هر سی‌سی بستر Kاُم)، Ek (درصد فضای تخلخل کل در هر سی‌سی بستر Kاُم) و Dk (درصد ذخیره رطوبت در هر سی‌سی بستر kاُم) می‌باشد.

همچنین محدودیت‌ها و سطوح بالاتر و پایین‌تر برای درصد ماده‌آلی تعیین شده است. OMs و OMi به ترتیب سطوح بالاتر و پایین‌تر برای ماده‌آلی می‌باشند. درمورد بسترهای تجاری در کشت بدون خاک، به توصیه آباد و همکاران در سال (۱۹۸۸) برای ماده‌آلی محدودیت پایین‌تر(۴۵-۰) و محدودیت بالاتر(۹۰-۴۶)، برای فضای تخلخل کل محدودیت بالاتر(۸۶-۷۱) و (۷۰-۵۵) برای محدودیت پایین‌تر می‌باشد. همچنین، برای ذخیره رطوبت نیز محدودیت بالاتر(۷۶-۶۱) و محدودیت پایین‌تر(۶۰-۴۵) در نظر گرفته شد.

در نهایت معادله زیر برای هر کدام از متغیرهای (TPS، HR و OM) نوشته شده است:

$$\min_{x_1,x_2} c_1x_1 + c_2x_2 \qquad (۷)$$

مشروط بر آن‌که

$$x_1 + x_2 = 1$$

$$\hat{P}_1^1 m_1 x_1 + \hat{P}_2^1 m_2 x_2 \exp\{\hat{P}_3^1 m_1 x_1 + \hat{P}_4^1 m_2 x_2 + \hat{P}_5^1 m_1 x_1^2 + \hat{P}_6^1 m_1 x_1^3\} \le OM_s \quad (۸)$$

$$\hat{P}_1^1 m_1 x_1 + \hat{P}_2^1 m_2 x_2 \exp\{\hat{P}_3^1 m_1 x_1 + \hat{P}_4^1 m_2 x_2 + \hat{P}_5^1 m_1 x_1^2 + \hat{P}_6^1 m_1 x_1^3\} \le OM_i \quad (۹)$$

$$\hat{P}_1^1 e_1 x_1 + \hat{P}_2^1 e_2 x_2 \exp\{\hat{P}_3^1 e_1 x_1 + \hat{P}_4^1 e_2 x_2 + \hat{P}_5^1 e_1 x_1^2 + \hat{P}_6^1 e_1 x_1^3\} \le TPS_s \quad (۱۰)$$

$$\hat{P}_1^1 e_1 x_1 + \hat{P}_2^1 e_2 x_2 \exp\{\hat{P}_3^1 e_1 x_1 + \hat{P}_4^1 e_2 x_2 + \hat{P}_5^1 e_1 x_1^2 + \hat{P}_6^1 e_1 x_1^3\} \ge TPS_i \quad (۱۱)$$

$$\hat{P}_1^2 d_1 x_1 + \hat{P}_2^2 d_2 x_2 \exp\{\hat{P}_3^2 d_1 x_1 + \hat{P}_4^2 d_2 x_2 + \hat{P}_5^2 d_1 x_1^2 + \hat{P}_6^2 d_1 x_1^3\} \le HR_s \quad (۱۲)$$

$$\hat{P}_1^1 d_1 x_1 + \hat{P}_2^1 d_2 x_2 \exp\{\hat{P}_3^1 d_1 x_1 + \hat{P}_4^1 d_2 x_2 + \hat{P}_5^1 d_1 x_1^2 + \hat{P}_6^1 d_1 x_1^3\} \ge HR_i \quad (۱۳)$$

پس از قرار دادن مقادیر مربوطه در معادلات بالا مجهولاتی نظیر x_1 و x_2 به صورت زیر برآورد شدند:

$$0 \le x_1 \le 1 , 0 \le x_2 \le 1$$

از آنجایی که چهار بستر در تلفیق به صورت دو به دو باهم ترکیب شده‌اند، و برای هر کدام، سه خصوصیت فیزیکی (OM,TPS و HR) تعداد تلفیق‌های ممکن در دو سطوح بالاتر و پایین‌تر برابر با ($۲^۳$) می‌باشد. به عبارتی (۴۸=۶×۸) برابر با تعداد ترکیبات ممکن می‌باشد. اما در جدول زیر تنها ترکیباتی موجود هستند که توسط برنامه‌ریزی ریاضی انتخاب شده‌اند در واقع ترکیباتی که در برنامه‌ریزی ریاضی(در هر دو راه‌حل خطی و غیر خطی) هیچ منطق موجهی ندارند، توسط برنامه حذف شده‌اند و تنها ترکیباتی باقی مانده‌اند که در کشت بدون خاک راه‌حل امکان‌پذیری برای آن‌ها وجود دارد. درجدول زیر ترکیباتی که در برنامه بهینه‌یابی (چه در برنامه‌ریزی خطی چه در برنامه ریزی غیر خطی) هیچ راه‌حل ممکنی برای آن‌ها وجود نداشته با کلمه NF[1] نمایش داده شده‌اند.

در جدول زیر محدودیت‌های اعمال شده برای خصوصیات فیزیکی (TPS, OM وHR) در سطوح پایین‌تر با عدد یک کدگذاری شده‌اند و محدودیت‌های اعمال شده در سطوح بالاتر با عدد دو کدگذاری شده‌اند. در بهینه‌یابی برای حل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی شیب کلی کاهش (GRG[2]) به دست آمد. این مقدار در برنامه‌ریزی خطی، کل ترکیبات را ۵۲/۳۳ درصد کاهش داده و در برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی ترکیبات کل را به میزان ۵۵/۸۹ درصد کاهش داده است(جدول ۵). از ارقام به دست آمده می‌توان به این شکل استنباط نمود که هر دو روش تعداد ترکیبات را با مقادیر بسیار مشابه‌ای کاهش داده‌اند که در نهایت باعث کاهش هزینه ایجاد بسترهای تلفیقی کشت می‌شوند.

کشت توت‌فرنگی رقم سلوا در بسترهای تلفیقی کوکوپیت و پرلیت جهت بررسی عملکرد، خصوصیات کیفی و میزان عناصر غذایی بر روی این محصول نشان داد که در نسبت حجمی ۰-۱۰۰ (پرلیت-کوکوپیت) بیشترین میزان وزن خشک میوه و بیشترین غلظت نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم به دست آمده است. همچنین در نسبت حجمی ۵۰-۵۰ (پرلیت-کوکوپیت) بیشترین عملکرد میوه و بهترین خصوصیات کمی و کیفی میوه حاصل شده است (حسنلویی و همتی، ۱۳۹۰). در کشت بدون خاک برای تولید خیار گلخانه‌ای در بسترهای کشت کوکوپیت خالص، بستر کشت تلفیقی (پرلیت-کوکوپیت) به نسبت حجمی ۵۰-۵۰ نشان دهنده بیشترین میزان زیست توده گیاه می‌باشد. همچنین بستر کشت کوکوپیت خالص دارای بهترین غلظت عناصر غذایی و عملکرد در مورد این محصول می‌باشد به گونه‌ای که می‌توان گفت کوکوپیت یک بستر کشت مناسب برای خیار در سیستم‌های کشت بدون خاک می‌باشد (عالی‌فر و همکاران، ۱۳۸۹). در مقایسه با مطالعات انجام شده در زمینه کشت بدون خاک نتایج نشان می دهند که کشت در بسترهای تلفیقی متفاوت توصیه شده است.

بررسی و مقایسه هر دو روش برنامه‌ریزی ریاضی خطی و غیرخطی این نکته را مشخص می‌کند که استفاده از هر دو روش موارد سودمندی می‌تواند به همراه داشته باشد. مثلا برنامه‌ریزی ریاضی‌خطی می‌تواند به عنوان روشی مفید به طور گسترده در حل مسائل تلفیق‌ها مورد استفاده قرار گیرد. اما به طور کلی مدل برنامه‌ریزی غیرخطی در فرمول‌بندی تلفیق‌ها موفق‌تر عمل می‌کند. به نظر می‌رسد اگر محققی تنها از یکی از دو روش برنامه‌ریزی خطی یا غیرخطی استفاده کند با دو شرایط مواجه خواهد شد. اول این‌که ممکن است راه‌حل بهینه خطی برای یک تلفیق در مدل غیرخطی مناسب و ممکن نباشد(این مورد در جدول ۵ دیده می‌شود) و دوم آن‌که راه‌حل بهینه خطی ممکن است با توجه به راه‌حل غیرخطی از نظر بهینه‌بودن

[1] No Feasible

[2] Generalised Reduced Gradient

در شرایط پایین‌تری قرار داشته باشد. در نهایت می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از هر دو روش خطی و غیر خطی کمک می‌کند تا بسترهای تلفیقی ناممکن قبل از آزمایش در کشت بدون خاک و تولید محصولات شناسایی شوند و بدین‌روش از هدررفت زمان و پول در یک تحقیق جلوگیری می‌شود.

جدول ۵. تجزیه و تحلیل بسترهای تلفیقی با برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی

سطح محدودیت ها			راه‌حل برنامه‌ریزی خطی		راه‌حل برنامه‌ریزی غیرخطی	
OM	TPS	HR	X_1	X_2	X_1	X_2
			٪	٪	٪	٪
زئولیت ـ پرلیت						
۱	۱	۱	۱۰۰	۰	NF	
کوکوپیت ـ پرلیت						
۲	۲	۲	۹۴/۵	۵/۵	۹۴/۳	۵/۷
۲	۱	۲	۴۷/۸	۵۲/۲	۷۵/۸	۲۴/۲
۱	۱	۲	۶۸/۶	۳۱/۴	۶۶/۱	۳۳/۹
۱	۱	۱	۹۶/۷	۳/۳	۹۸/۵	۱/۵
پیت ماس ـ پرلیت						
۲	۱	۱	NF		۲۶/۵	۷۳/۵
۱	۱	۱	۵۰	۵۰	۵۱/۷	۴۸/۳
۱	۱	۲	۹۴/۴	۵/۶	۹۴/۷	۵/۳
پیت ماس ـ کوکوپیت						
۲	۲	۲	۸۱/۸	۱۸/۲	۶۹/۹	۳۰/۱
۲	۱	۲	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰
پیت ماس ـ زئولیت						
۲	۱	۲	۱۰۰	۰	NF	
۲	۲	۲	۱۴/۶	۸۵/۴	۶۰/۸	۳۹/۲
۱	۱	۱	۶۳/۱	۳۶/۹	۵۴/۳	۴۵/۷
۱	۱	۲	۴۲/۵	۵۷/۵	۵۵/۶	۴۴/۴
کوکوپیت - زئولیت						
۱	۱	۱	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰
۲	۲	۲	۱۰/۶	۸۹/۴	۷۰/۷	۲۹/۳
۱	۱	۲	۸۰/۴	۱۹/۶	۷۱/۲	۲۸/۸
۲	۱	۱	۴۹/۱	۵۰/۹	۴۹/۱	۵۰/۹

نتیجه‌گیری

چهار بستر با خصوصیات دو ماده آلی (کوکوپیت، پیت‌ماس) و دو ماده معدنی (پرلیت، زئولیت) دو به دو باهم ترکیب شدند و برای هر کدام سه خصوصیت فیزیکی (ماده آلی، فضای تخلخل کل و نگهداری رطوبت) بررسی شد. مقادیر حداقل خطای استاندارد[1] در مدل‌های مختلف رگرسیونی خطی، چند جمله‌ای، لگاریتمی و نمایی برای تعیین خوبی برازش، برآورد شدند. با توجه به اینکه در تمامی بسترهای تلفیقی مدل نمایی حداقل خطای استاندارد را دارا می‌باشد به عنوان بهترین مدل برای بررسی تاثیر نسبت بسترها بر خصوصیات فیزیکی انتخاب گردید. در بهینه‌یابی برای حل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی شیب کلی کاهش داشته است. این مقدار در برنامه‌ریزی خطی، کل ترکیبات را ۵۲/۳۳ درصد کاهش داد و در برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی ترکیبات کل را به میزان ۵۵/۸۹ درصد کاهش داد. از ارقام به دست آمده می‌توان به این شکل استنباط نمود که هر دو روش تعداد ترکیبات را با مقادیر بسیار مشابه‌ای کاهش داده‌اند که در نهایت باعث کاهش هزینه ایجاد بسترهای تلفیقی کشت شده است. در نهایت می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از هر دو روش خطی و غیر خطی کمک می‌کند تا بسترهای تلفیقی قبل از آزمایش در کشت بدون خاک و تولید محصولات شناسایی شوند اما به طور کلی مدل برنامه‌ریزی غیرخطی در فرمول‌بندی تلفیق‌ها موفق‌تر عمل کرده است.

منابع

حسنلویی، د. م.، و همتی، س. ۱۳۹۰. اثر بسترهای کشت مختلف بر میزان عناصر غذایی، عملکرد و خصوصیات کیفی توت فرنگی رقم سلوا در کشت بدون خاک. صفحات ۱، ۶.

عالی‌فر، ن و همکاران، ۱۳۸۹. اثر نوع بستر کشت بر عملکرد و جذب برخی عناصر غذایی به وسیله کشت خیار گلخانه‌ای در کشت بدون خاک. صفحه ۲۴.

علیزاده زاویه، ا. ۱۳۸۴. تاثیر بسترهای کشت بدون خاک در رشد فیکوس بنجامین ابلق. پایان نامه کارشناسی ارشد باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران.

منطقی ناهید، ۱۳۶۵. تشریح روش‌ها و بررسی‌های آزمایشگاهی روی نمونه‌های خاک و آب – نشریه شماره ۱۶۸ – موسسه تحقیقات خاک و آب.

زرین کفش، م. ۱۳۸۵. تولیدات گلخانه ای به روش آب کشتی بدون حضور خاک (هیدروپونیک). صفحات ۴۲-۴۱.

Bazaraa, M. S., Sherali, H. D., Shetty, C. M. 2006. Nonlinear Programming: Theory and Algorithms, 3rd Edition. Wiley-Interscience.

Bilderback, T.E., S.L. Warren, J.S. Owenand J.P. Albano. 2005. Healthy Substrates Need Physical Too!.HortTechnology 15(4):747-751

Davidson, H., R. Mecklenburg and C. Peterson. 1998. Nursery management: Administration and culture. Second Ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 173 p.

Foth, H.D. and B.G. Ellis. 1988. Soil fertility. John Wiley & S. USA.

Díaz-García J.A. And R. Requejo-López , 2012. Use of nonlinear regression and nonlinear mathematical programming in the formulation of substrate mixtures for soil-less culture – a review –

Havlin, J.L., J.D. Beaton, S. L. Tisdale and W. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Prentice Hall, New Jersey. USA.

Martinez, P.F. and M. Abad. 1992. Soilless culture of tomato in different mineral substrates. Acta Hort. 323: 251-259.

Russell, E.J. 2008. Soil conditions and plant growth. Biotech books. USA

Verdonck, O., D. De Vleeschauwer and M. De Boodt. 1982. The influence of the substrates to plant growth. Acta Hort. 126: 251-258.

Winston, W. L. 1995. Introduction to mathematical programming: Applications and algorithms. Duxbury Press.

Wrede A. and H. Bohne. 2000. The M-ISHS-method – a method to determine the air- and water characteristics of substrates considering the bulk density in pots and containers. Gartenbauwissenschaft 65(5): 199–202.

Yeager, T.H., D.C. Fare, J. Lea-Cox, J. Ruter, T.E. Bilderback, C.H. Gilliam, A.X. Niemiera, S.L. Warren, T.E. Whitwell, R.D. Wright and K.M. Tilt. 2007. Best management practices: Guide for producing container-grown plants. 2nd Ed. Southern Nurserymen's Assoc., Marietta, GA.

.Zamora Morales, B.P., GalvisSpínola, A., Volke Haller, V. H., Sánchez García, P., Espinosa Victoria, D. 2005. Formulación de mezclas de sustratosmedianteprogramación lineal. Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América, 30(6): 365-369.

[1] MSE

16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019

Topic for submission: Soil Quality and Sustainable Soil Management

Economical Optimization of Physical Properties for Organic and Mineral Substrates

Mahbobeh Mazhari[*1], Negar Nikakhtar[2],Saman Maleknia[3]

[1] Assistant Professor (Corresponding Author) Department of Soil Science, Islamic Azad University, Karaj Branch, Iran

[2] Graduated student, Department of Soil Science, Islamic Azad University, Karaj Branch, Iran

[3] Ph.D. student, Department of Soil Science, Islamic Azad University, Karaj Branch, Iran

Abstract

The increasing population simultaneously with limitation in the food supplying resources such as soil has forced today's world to use more successful and effective technology for soil substitution. Soilless or hydroponic cultivation/ aquaculture is a new method of the cultivation in the countries where there are soil and water resources limitation. In this article the couple of organic materials (coco peat and peat moss) and two mineral materials (perlite and zeolite) were assessed as the substrate. Every four materials were combined together in different ratios and three properties of the organic materials including porosity and moisture content were evaluated for the investigation of the best regression model. The different models including linear, logarithmic, polynomials, and exponential regressions were determined and next in every case the goodness of fitting was evaluated and compared by Minimum Standard Error (MSE). The price minimization and the economic optimization for the combined substrates were conducted by mathematical programing using WinQSB software. The results suggested that the three physical properties of the organic material, moisture content, and total porosity space have non-linear function and the exponential regression model is the best one for every one of the combined substrates.

Keywords: price minimization, regression models, hydroponic cultivation, soil physical properties

[*] Corresponding author, Email: Mahbubehmazhari@gmail.com