استفاده از الیاف خرما به عنوان بستر کشت و بهینه‌سازی قابلیت جذب و نگهداشت رطوبت به روش پاسخ سطح

علیرضا دعاگویی[۱*] و احمد غضنفری مقدم[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱)

چکیده

در این پژوهش، امکان استفاده از الیاف خرما به‌عنوان بستر کشت و جایگزینی برای کوکوپیت مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا قابلیت جذب، نگهداشت و نرخ از دست دادن تمامی رطوبت در الیاف خرما، کوکوپیت، پیت ماس، پرلیت و خاک مقایسه شد و سپس با استفاده از طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در دو بازه ۳ و ۵ روز، قابلیت نگهداری رطوبت در گروه ترکیبی الیاف خرما- پیت ماس- پرلیت با گروه ترکیبی کوکوپیت- پیت ماس- پرلیت در ۱۱ تیمار و در سه تکرار بررسی گردید. برای یافتن بهترین تیمار در هر گروه، از روش پاسخ سطح و تابع مطلوبیت استفاده و در نهایت تیمارهای بهینه شده از لحاظ قابلیت حفظ رطوبت با تیمارهای به‌کار رفته در دیگر پژوهش‌ها با استفاده از یک طرح آماری مقایسه شدند. نتایج نشان داد که پتانسیل جذب و نرخ از دست دادن رطوبت به‌ترتیب در کوکوپیت، پیت ماس، الیاف خرما، پرلیت و خاک کاهش می‌یابد. بیشترین میزان نگهداری رطوبت در گروه الیاف خرما- پیت ماس- پرلیت با ترکیب ۶۵-۲۰-۱۵ درصد در مدت ۳ روز و ۷۵-۱۰-۱۵ درصد در مدت ۵ روز و در گروه کوکوپیت- پیت ماس- پرلیت با ترکیب ۷۵-۲۰-۵ درصد تا مدت ۵ روز اتفاق افتاد.

واژه‌های کلیدی: الیاف خرما، کوکوپیت، پرلیت، پیت ماس، روش پاسخ سطح

مقدمه

در سال‌های اخیر، کشت گلخانه‌ای و تولید خارج از فصل محصولات در بسترهای مختلف کشت به دلایلی چون کنترل تغذیهٔ گیاه و افزایش کمیت و کیفیت محصول، نسبت به کشت خاکی، روز به روز افزایش یافته و در حال گسترش است (۵). خصوصیات بستر کشت به‌طور مستقیم و غیر مستقیم بر رشد گیاه و تولید محصول اثر دارد (۲۰) و یکی از مهمترین موارد در موفقیت کشت‌های بدون خاک، انتخاب بستر کشت مناسب می‌باشد (۱۷). از مهمترین بسترهای کشت آلی می‌توان به پیت ماس (Peat moss)، کوکوپیت (Coco peat)، تفاله نیشکر و خاک برگ و از بسترهای معدنی به پرلیت (Perlite)، ورمی‌کولیت، زئولیت و پوکه معدنی اشاره کرد. یک بستر کشت مناسب علاوه بر داشتن خصوصیات مطلوب فیزیکی- شیمیایی و بیولوژیک، باید در دسترس، نسبتاً ارزان، پایدار و به‌اندازه کافی سبک باشد تا کار با آن راحت‌تر و حمل و نقل آن از نظر اقتصادی نیز مقرون به‌صرفه باشد. پیت ماس به ماده‌ای با منشأ گیاهی، با بیش از ۵۰٪ ماده آلی، اطلاق می‌گردد که از تجزیه بقایای خشک شده و بخش‌های زنده گیاهان به وجود می‌آید و در زمین‌های خزه‌ای و همچنین در شرایط بی‌هوازی مانند مرداب‌ها و باتلاق‌ها یافت می‌شود. از مزایای استفاده از آن

۱. بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. پژوهشکده باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Doaguie@yahoo.com

می‌توان به نگهداری رطوبت تا چندین برابر وزن خشک ماده، تهویه خاک‌های سنگین و رسی و بهم پیوستن خاک‌های سبک و شنی، اشاره کرد. هزینه زیاد، کمیابی و نگرانی‌های زیست‌محیطی، محققین را بر آن داشته تا به دنبال جایگزین مناسبی برای این ماده باشند (۱۲ و ۱۵).

تا کنون دامنه وسیعی از مواد از جمله ضایعات چوبی خاک اره، پوست درختان پهن برگ و سوزنی برگ، خاک-برگ، لجن فاضلاب و کوکوپیت به عنوان بستر کشت مورد استفاده قرار گرفته است (۸، ۱۰، ۱۹ و ۲۰) و استفاده از کوکوپیت نیز به‌عنوان یک جایگزین برای پیت ماس در کشورهای اروپایی در حال گسترش است (۱۶). کوکوپیت از فرایند استخراج فیبر از پوست نارگیل، پس از آسیاب و خشک کردن به‌دست می‌آید. این ماده با داشتن منافذ زیاد می‌تواند حجم زیادی آب و مواد مغذی محلول را تا ۶ برابر وزنش جذب کند و نیاز به آبیاری‌های مکرر و در فواصل کوتاه را کاهش دهد. در یک پژوهش، پارامترهای تعداد ریشه در هر بوتهٔ پتوس ابلق، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، در بستر کوکوپیت بیشتر از بسترهای خاک‌برگ، شن کوارتز ، پیت ماس و ترکیب آنها در شرایط گلخانه‌ای بود (۱۴). در آزمایشی دیگر، بیشترین و کمترین تعداد برگ گل رز به ترتیب در بسترهای حاوی ترکیب پرلیت و زئولیت (۷۵٪ – ۲۵٪) و ترکیب پوکه معدنی و زئولیت (۷۵٪ – ۲۵٪) به‌دست آمد. همچنین، در این پژوهش، بهترین طول، قطر و وزن تر ساقهٔ گل‌دهنده در بستر حاوی ترکیب کوکوپیت و زئولیت (۷۵٪ – ۲۵٪) حاصل شد و بیشترین تعداد گل در هر بوته مربوط به ترکیب کوکوپیت و پرلیت (۵۰٪ – ۵۰٪) بود (۰). در یک بررسی نیز بیشترین وزن تر و خشک ریشهٔ گیاه حسن یوسف مربوط به ترکیب خاک‌برگ و پرلیت (۵۰٪ – ۵۰٪)، بیشترین تعداد ریشه‌های فرعی در تیمار ۱۰۰٪ پرلیت و بلندترین طول ریشه و ساقه و وزن تر و خشک شاخساره در تیمار ۱۰۰٪ پیت ماس، به دلیل ظرفیت نگهداری رطوبت زیاد، مشاهده شد. نکته مهم آنکه در حالی که کوکوپیت نیز در این بررسی قرار داشت، اما برای کشت این نوع گیاه بستر مناسبی نبود (۲).

الیاف سلولزی درخت نخل خرما (*Phoenix dactilifera*) از جمله موادی هستند که شباهت زیادی به الیاف کوکوپیت دارند. در ایران و به خصوص در استان کرمان، بالغ بر صدها هزار هکتار از اراضی زیر کشت محصول خرما بوده و هر ساله مقادیر زیادی از این الیاف تولید و به دلیل بلااستفاده بودن سوزانیده می‌شوند، که می‌توان با اندکی تغییرات از آنها به عنوان جایگزینی برای کوکوپیت استفاده نمود.

پژوهشی نیز درباره یافتن جایگزینی برای بستر کشت پیت ماس به‌وسیله سایر ضایعات سلولزی و با استفاده از گیاه برگ زینتی آگلونما انجام شده که نشان داد تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در بستر کشت کوکوپیت به طور معنی‌داری بیشتر از بستر کشت الیاف خرما می‌باشد. اما بیشترین سطح برگ، طول ساقه و تعداد پاگیاه در هر دو بستر از لحاظ آماری مشابه بودند. همچنین، این تحقیق نشان داد که بیشتر خصوصیات بستر کشت الیاف خرما، از جمله EC، ظرفیت تبادل کاتیونی، pH، وزن مخصوص ظاهری و درصد خلل و فرج کل، اختلاف معنی‌داری با بستر کوکوپیت نداشته و تنها ظرفیت نگهداری رطوبت در الیاف خرما کمتر از کوکوپیت است (۳).

از آنجایی که منابع پیت ماس و کوکوپیت در ایران محدود بوده و با هزینه بسیار زیاد وارد کشور می‌گردند، در این پژوهش سعی شد امکان استفاده از الیاف خرما به عنوان یک بستر کشت و جایگزینی برای کوکوپیت از لحاظ نگهداشت رطوبت مورد بررسی قرار گیرد. بدین جهت، در ابتدا قابلیت نگهداری آب توسط الیاف خرما، کوکوپیت، پیت ماس، پرلیت و خاک مورد مطالعه قرار گرفت. سپس، قابلیت نگهداری رطوبت توسط ترکیب الیاف خرما با پیت ماس و پرلیت با ترکیب کوکوپیت، پیت ماس و پرلیت در دو گروه مقایسه و جهت پیدا کردن بهترین تیمار در هر گروه، با استفاده از روش پاسخ سطح و تابع مطلوبیت بهینه‌سازی انجام شد. در نهایت، تیمارهای بهینه شده از لحاظ قابلیت نگهداشت رطوبت با تیمارهای به‌کار رفته در

دیگر پژوهش‌ها با استفاده از طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی مقایسه شدند.

مواد وروش‌ها

مواد اولیه

الیاف خرمای مورد استفاده در این آزمایش از درختان نخل کشت شده در نخلستان‌های شهرستان بم واقع در استان کرمان تهیه شد. این الیاف به هم تنیده شده بوده و جهت جدا نمودن آلودگی‌های سطحی، ابتدا با آب گرم شستشو شده و مقابل نور آفتاب خشک گردیدند. سپس، توسط آسیاب برقی به قطعات کوچک خرد شدند. ضایعات کوکوپیت مورد نیاز نیز از بلوک‌های فشرده شدهٔ این محصول و پیت ماس لازم از بسته‌های تولید شده این محصول در کشور آلمان فراهم شد. مقداری خاک نیز از مزرعهٔ دانشگاه شهید باهنر تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه خرد گردیده و نوع بافت آن با استفاده از روش هیدرومتری، لوم شنی تعیین گردید.

مقادیر خاک، الیاف خرما، کوکوپیت و پیت ماس مورد نیاز در این آزمایش جهت یکنواخت بودن مواد، از الک شماره ۱۶ با سوراخ‌هایی به قطر ۱/۱۸ میلی‌متر عبور داده شدند و به‌همراه پرلیت جهت تعیین مقدار رطوبت اولیه و از دست دادن این رطوبت، به‌طور جداگانه درون آون ۱۰۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند (۶). درصد رطوبت اولیه الیاف خرما، کوکوپیت، خاک، پیت ماس و پرلیت طبق رابطه ۱ و بر اساس وزن تر به‌ترتیب ۳/۷۰، ۱۳/۸۹، ۸/۹۳، ۶۷/۴۵ و ۰/۵۷ درصد به‌دست آمد.

$$M_c = \frac{W_w - W_d}{W_w} \times 100 \qquad [۱]$$

در این رابطه، M_c محتوای رطوبت بر اساس وزن تر (٪)، W_w وزن ماده مرطوب (kg) و W_d وزن ماده خشک (kg)، می‌باشد.

برای انجام آزمایش‌ها از گلدان‌های پلاستیکی یک لیتری، با ارتفاع ۲۵ و قطر ۱۵ سانتی‌متر استفاده شد. در هر مرحله از آزمایش، مقادیر مشخصی از مواد اولیهٔ خشک شده در آون، به‌صورت منفرد یا در ترکیب‌های مشخص با یکدیگر، درون گلدان‌ها ریخته و مقداری آب تا اشباع نمودن کامل آنها به گلدان‌ها اضافه و درب آنها بسته شد. گلدان‌ها جهت جذب کامل رطوبت و اشباع شدن از آب در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند. در ادامهٔ آزمایش، درب گلدان‌ها باز شده و جهت خارج نمودن آب سطحی و جذب نشده، مواد برای مدتی درون کاغذ صافی ریخته شده و سپس به گلدان‌ها باز گردانده و در محیط آزمایشگاه با دمای ۲۷ تا ۳۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۱۱ تا ۱۵ درصد قرار گرفتند. وزن گلدان‌ها هر ۲۴ ساعت یکبار توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد.

بررسی قابلیت جذب و نگهداشت رطوبت در مواد اولیه

جهت تعیین و مقایسهٔ قابلیت جذب و نگهداری رطوبت، مقدار ۳۰ گرم ماده اولیهٔ فاقد رطوبت از الیاف خرمای خرد شده، الیاف خرمای خرد نشده با طول تقریبی ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر، خاک، پرلیت، پیت ماس و کوکوپیت، در ۳ تکرار درون گلدان‌ها قرار گرفته و پس از اشباع نمودن از آب، قابلیت جذب، نگهداشت و خارج شدن تمامی رطوبت از آنها مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش تا خارج شدن همه رطوبت از تمامی گلدان‌ها ادامه یافت و در هر روز درصد رطوبت وزنی مواد با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۶).

بهینه‌سازی ترکیب مواد و بررسی قابلیت جذب و نگهداری رطوبت آن

به‌منظور بررسی ترکیب مواد با یکدیگر و مقایسه قابلیت جذب و نگهداری رطوبت در الیاف‌های خرد شده خرما و کوکوپیت، این دو ماده به‌صورت جداگانه در محدودهٔ ۶۰ تا ۸۰ درصد وزنی، با پیت ماس در محدودهٔ ۵ تا ۲۵ درصد وزنی و پرلیت در باقیمانده این ترکیب مخلوط شدند. شرط اولیه در ترکیب و بهینه‌سازی، استفاده از هر سه ماده در هر گروه بود تا بتوان از خواص مفید پیت ماس و پرلیت نیز استفاده نمود، اما از وابستگی بسترهای کشت به درصدهای وزنی زیاد این مواد،

بخصوص کوکوپیت، نیز کاست. این آزمایش در یک بازهٔ زمانی ۵ روزه و بر اساس طرح آزمایش مرکب مرکزی چرخشی (Central composite rotatable design, CCRD) و در سه بلوک انجام پذیرفت. برای سهولت بیشتر، این مواد در دو گروه به نام‌های گروه الیاف شامل الیاف خرما، پیت ماس و پرلیت و گروه کوکوپیت شامل کوکوپیت، پیت ماس و پرلیت تقسیم‌بندی شدند.

طرح آزمایش و آنالیز آماری

متغیرهای مستقل این پژوهش شامل الیاف خرما یا کوکوپیت (X_1)، پیت ماس (X_2) و زمان (X_3) بود که تأثیرات آنها بر متغیر وابسته، یعنی درصد رطوبت بر اساس وزن تر (M) با استفاده از روش پاسخ سطح (Response surface methodology, RSM) بررسی شد. در این روش، یک تابع رگرسیون چند متغیره مانند رابطه ۲ بین متغیرهای مستقل (x) و متغیرهای وابسته (y) ایجاد و با استفاده از معادلات چند جمله‌ای درجه ۱ و ۲ و پارامترهای تأثیرات متقابل (Interactions effects models) بین متغیرهای مستقل بیان می‌شود (0 و 0).

$$y_m = \beta + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^{k} \beta_{ij} x_i x_j \qquad [۲]$$

در این رابطه، β عرض از مبدأ، β_i ،β_{ii} و β_{ij} ضرایب رگرسیون، x_i و x_j متغیرهای مستقل i و jام، k تعداد متغیرهای مستقل و m تعداد متغیرهای وابسته می‌باشد. در این پژوهش، از نرم‌افزار آماری Minitab، نسخه ۱۶، برای محاسبه و تخمین ضرایب این تابع وابستگی و برای تعیین معنی‌دار بودن پارامترها از آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده شد. چنانچه مقدار عدد احتمال (Probability value) در آنالیز واریانس از مقدار α مشخص شده (در این پژوهش ۰/۰۵) کمتر باشد، ضرایب رگرسیونی در تابع وابستگی معنی‌دار می‌باشند.

طرح مرکب مرکزی یکی از مهمترین طرح‌ها در روش پاسخ سطح به شمار می‌آید. این طرح ترکیبی از 2^k نقاط عاملی (Factorial point)، $2k$ نقاط محوری (Axial point) و n_c نقاط مرکزی (Central point) و دلخواه بوده و تعداد آزمایش‌های مورد نیاز (N) طبق رابطه ۳ تعیین می‌شود (۱۸). در این آزمایش، با داشتن ۳ متغیر مستقل (k=۳)، تعداد ۲۰ عدد آزمایش در هر گروه لازم است.

$$N = 2^k + 2k + n_c \qquad [۳]$$

در روش پاسخ سطح، بایستی در ابتدا مقادیر متغیرهای مستقل کدگذاری شده و سپس در نرم‌افزار وارد گردند. در طرح مرکب مرکزی، نقاط مرکزی، عاملی و محوری به ترتیب دارای فاصله (کد) صفر، ۱± و یا α± از مرکز مختصات می‌باشند که مقدار دقیق α به تعداد متغیرهای مستقل (k) در تابع وابستگی (رابطه ۱) بستگی داشته و از رابطه ۴ تعیین می‌شود:

$$\alpha = (2^k)^{1/4} = (2^3)^{1/4} = 1.682 \qquad [۴]$$

بایستی توجه داشت که پس از دادن یک مقدار حقیقی به نقطه مرکزی (X_0)، قدر مطلق اختلاف عددی این نقطه تا نقطهٔ عاملی بعدی (ΔX_i) و نقطهٔ عاملی تا نقطهٔ محوری بعد از آن مساوی یکدیگر می‌باشند. پس هر یک از متغیرهای مستقل این آزمایش دارای یکی از کدهای صفر، ۱± و یا ۱/۶۸۲± می‌باشند که در جدول ۱ مقادیر حقیقی و کدگذاری شده هر یک از متغیرها نشان داده شده است.

بهینه سازی توابع وابستگی

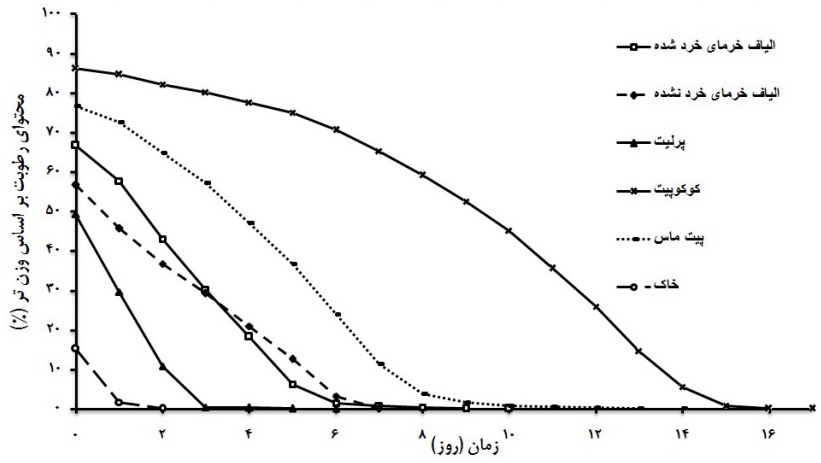
در این پژوهش از روش توابع مطلوبیت (Desirability function methodology) به منظور بهینه‌سازی تابع وابستگی استفاده گردید (۹ و ۱۱). در این روش، برای بیشینه‌سازی متغیرهای تابع مطلوبیت از رابطه ۵ استفاده می‌شود:

$$d_i(y_i) = \begin{cases} 0 & y_i(x) < L_i \\ \left(\dfrac{y_i(x) - L_i}{T_i - L_i}\right)^s & L_i \le y_i(x) \le T_i \\ 1 & y_i(x) > T_i \end{cases} \qquad [۵]$$

در رابطه فوق، L_i و T_i به ترتیب حد پایین و مقدار مطلوب هر متغیر وابسته می‌باشند. چنانچه s=۱ باشد، تابع هدف به صورت خطی به سمت T_i افزایش می‌یابد که موجب افزایش در مقدار $d_i(y_i(x))$ می‌شود. اگر s<۱ یا s>۱ باشد، شکل توابع به‌ترتیب

جدول ۱. مقادیر حقیقی و کدگذاری شده مربوط به هر یک از متغیرهای مستقل

نام متغیر مستقل	عامل متغیر مستقل		سطوح حقیقی و کدگذاری شدهٔ متغیرهای مستقل				
	حقیقی	کدگذاری شده	$(+\alpha)$ ۱/۶۸۲	۱	۰	−۱	$(-\alpha)$−۱/۶۸۲
کوکوپیت یا الیاف خرما (٪)	X_1	x_1	۸۰	۷۵	۷۰	۶۵	۶۰
پیت ماس (٪)	X_2	x_2	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
زمان (روز)	X_3	x_3	۶	۵	۴	۳	۲



شکل ۱. قابلیت جذب و از دست دادن رطوبت در مواد مختلف

محدب یا مقعر خواهد شد. بهینه‌سازی این تابع توسط نرم‌افزار Design Expert (نسخه ۸.۰.۵.۲) انجام شد. در این نرم‌افزار، پس از وارد کردن کدهای متغیرهای حقیقی و مقادیر واقعی از متغیرهای وابسته، در هر دو گروه ابتدا متغیر وابسته رطوبت و سپس همزمان دو متغیر زمان و رطوبت، به‌منظور پیدا کردن بهترین کدهای بهینه از متغیرهای مستقل بیشینه شدند. برای یافتن مقادیر حقیقی و برگرداندن آنها از مقادیر کدگذاری شده (و یا بالعکس) نیز بایستی از رابطه ۶ استفاده نمود (۷ و ۱۳):

$$\begin{cases} x_i = \dfrac{2X_i - (X_{imax} + X_{imin})}{(X_{imax} - X_{imin})/2} & -1 \le x_i \le +1 \\ x_i = \dfrac{\alpha\,(2X_i - (X_{imax} + X_{imin}))}{(X_{imax} - X_{imin})} & \begin{cases} -\alpha \le x_i < -1 \\ +1 < x_i \le +\alpha \end{cases} \end{cases} \qquad [۶]$$

مقایسه ترکیب‌های بهینه‌سازی شده با مقادیر حاصل از سایر پژوهش‌ها

به منظور بررسی تأثیر ترکیب مواد به‌کار رفته در بسترهای مختلف کشت بر قابلیت نگهداری رطوبت، از یک طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۱ تیمار و در سه تکرار استفاده گردید. این طرح جهت مقایسه مقادیر بهینه‌سازی شده توسط نرم‌افزار با ترکیب‌های مختلف پرلیت، پیت ماس، کوکوپیت یا الیاف خرما (به‌صورت درصد) در قالب تیمارهای (۰–۰–۱۰۰)، (۰–۱۰۰–۰)، (۱۰۰–۰–۰)، (۰–۰–۵۰)، (۰–۵۰–۰)، (۵۰–۰–۰)، (۲۵–۰–۷۵)، (۵۰–۳۰–۲۰)، (۵۰–۲۰–۳۰)، (۱۵–۱۵–۷۰) به‌کار گرفته شده در آزمایش‌های دیگر پژوهشگران (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) در دو گروه کوکوپیت و الیاف خرما و در بازه‌های زمانی ۳ و ۵ روزه از شروع آزمایش انجام شد. آنالیز واریانس داده‌ها (درصد رطوبت بر اساس وزن تر) توسط نرم‌افزار آماری Minitab، نسخه ۱۶، انجام گردید و اختلاف آماری بین میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌دار ۵٪ انجام شد.

جدول ۲. مقادیر کدگذاری شدهٔ متغیرهای مستقل و مقادیر حقیقی و پیش‌بینی شده از متغیر وابسته درصد رطوبت

شماره آزمایش	سطوح کد گذاری شده متغیرهای مستقل			درصد رطوبت (بر اساس وزن تر)			
	کوکوپیت یا الیاف خرما (٪)	پیت ماس (٪)	زمان (روز)	گروه کوکوپیت (آزمایش)	گروه کوکوپیت (پیش‌بینی)	گروه الیاف (آزمایش)	گروه الیاف (پیش‌بینی)
۱	-۱	-۱	-۱	۷۲/۴۸	۷۲/۸۰	۳۸/۹۰	۳۶/۶۶
۲	-۱	۱	-۱	۷۳/۳۵	۷۳/۸۹	۵۲/۴۶	۴۹/۸۹
۳	-۱	۱	۱	۶۲/۷۸	۶۳/۵۰	۲۳/۸۶	۲۲/۲۰
۴	-۱	-۱	۱	۵۹/۵۷	۵۹/۵۹	۱۵/۲۵	۱۳/۳۵
۵	۱	-۱	۱	۶۴/۷۹	۶۵/۲۳	۲۵/۷۴	۲۴/۳۷
۶	۱	۱	۱	۶۸/۹۱	۶۹/۵۷	۱۰/۹۸	۹/۲۸
۷	۱	-۱	-۱	۷۵/۶۵	۷۵/۹۱	۴۴/۹۵	۴۲/۶۷
۸	۱	۱	-۱	۷۶/۴۷	۷۷/۴۳	۳۴/۰۱	۳۱/۹۷
۹	-۱/۶۸۲	۰	۰	۶۶/۹۴	۶۶/۲۵	۳۱/۱۹	۳۵/۳۴
۱۰	۱/۶۸۲	۰	۰	۷۵/۰۹	۷۳/۹۷	۲۵/۹۷	۲۹/۵۳
۱۱	۰	-۱/۶۸۲	۰	۶۸/۱۱	۶۷/۷۵	۲۱/۸۸	۲۵/۶۸
۱۲	۰	۱/۶۸۲	۰	۷۳/۷۸	۷۲/۳۳	۲۰/۲۱	۲۴/۱۲
۱۳	۰	۰	-۱/۶۸۲	۷۸/۶۰	۷۷/۶۳	۴۲/۸۶	۴۷/۴۵
۱۴	۰	۰	۱/۶۸۲	۶۰/۷۵	۵۹/۹۱	۵/۶۶	۸/۷۷
۱۵	۰	۰	۰	۶۸/۰۱	۶۷/۹۸	۲۰/۴۱	۲۳/۱۸
۱۶	۰	۰	۰	۶۸/۵۰	۶۷/۹۸	۲۰/۰۱	۲۳/۱۸
۱۷	۰	۰	۰	۶۸/۳۳	۶۷/۹۸	۲۴/۳۴	۲۳/۱۸
۱۸	۰	۰	۰	۶۷/۹۰	۶۷/۹۸	۲۴/۹۰	۲۳/۱۸
۱۹	۰	۰	۰	۶۷/۷۰	۶۷/۹۸	۲۵/۰۱	۲۳/۱۸
۲۰	۰	۰	۰	۶۷/۴۰	۶۷/۹۸	۲۴/۵۰	۲۳/۱۸

نتایج و بحث

بیشترین قابلیت جذب و نرخ تبخیر رطوبت از مواد مختلف مورد آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. همانگونه که مشهود است، کوکوپیت و خاک به ترتیب دارای بیشترین و کمترین پتانسیل جذب رطوبت بوده و پیت ماس و الیاف خرد شده خرما در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که هر ۱ گرم از مواد کوکوپیت، پیت ماس، الیاف خرمای خرد شده، الیاف خرمای خرد نشده، پرلیت و خاک می‌توانند به ترتیب ۶/۲۷۲، ۳/۳۰۱، ۲/۰۰۲، ۱/۵۲۸، ۰/۹۷۳ و ۰/۱۷۸ برابر وزن خشک خود رطوبت جذب کند.

بررسی نرخ خارج شدن رطوبت مشخص می‌کند که این سرعت در کوکوپیت کمتر بوده و این ماده قابلیت نگهداری رطوبت بیشتری نسبت به سایر مواد و بخصوص الیاف خرما را دارد. همچنین، نکته قابل توجه این است که با اینکه آسیاب کردن الیاف خرما باعث جذب رطوبت بیشتر در آنها می‌شود، الیاف خرمای خرد نشده رطوبت را مدت زمان بیشتری در خود حفظ می‌کنند.

جهت مقایسه قابلیت جذب و نگهداری رطوبت در دو ماده کوکوپیت و الیاف خرما، این مواد در دو گروه دسته‌بندی و کدگذاری شدند. جدول ۲ حاوی سطوح کدگذاری شدهٔ متغیرهای مستقل، مقادیر حقیقی و پیش‌بینی شده از متغیر وابستهٔ درصد رطوبت، حاصل از انجام ۲۰ آزمایش در هر گروه می‌باشد.

جدول ۳. ضرایب رگرسیون توابع وابستگی دو گروه الیاف خرما و کوکوپیت، مجموع مربعات و مقدار احتمال هر ضریب

عامل	رطوبت گروه کوکوپیت (٪ بر اساس وزن تر)			رطوبت گروه الیاف خرما (٪ بر اساس وزن تر)		
	ضریب	مجموع مربعات	مقدار احتمال	ضریب	مجموع مربعات	مقدار احتمال
β	۶۷/۹۸۳	---	<۰/۰۰۰۱	۲۳/۱۸۴	---	<۰/۰۰۰۱
x_1	۲/۲۹۵	۷۱/۹۵	<۰/۰۰۰۱	−۱/۷۲۶	۴۰/۶۸	<۰/۰۰۰۱
x_2	۱/۳۵۹	۲۵/۲۱	<۰/۰۰۰۱	−۰/۴۶۴	۲/۹۴	۰/۰۴۷۱
x_3	−۵/۲۶۶	۳۷۸/۷۵	<۰/۰۰۰۱	−۱۱/۵۰۰	۱۸۰۶/۰۹	<۰/۰۰۰۱
x_1^2	۰/۷۵۱	۸/۱۳	۰/۰۰۱۴	۳/۲۶۹	۱۵۳/۸۵	<۰/۰۰۰۱
x_2^2	۰/۷۲۷	۷/۶۰	۰/۰۰۱۷	۰/۶۰۵	۵/۲۶	۰/۰۱۳۹
x_3^2	۰/۲۷۸	۱/۱۱	۰/۱۱۵۲	۱/۷۴۱	۴۳/۶۶	<۰/۰۰۰۱
x_1x_2	۰/۱۰۸	۰/۰۹۲	۰/۶۲۳۸	−۵/۹۸۴	۲۸۶/۴۴	<۰/۰۰۰۱
x_1x_3	۰/۶۳۳	۳/۲۰	۰/۰۱۷۱	۱/۲۵۱	۱۲/۵۳	۰/۰۰۱۳
x_2x_3	۰/۷۰۵	۳/۹۸	۰/۰۱۰۲	−۱/۰۹۶	۹/۶۱	۰/۰۰۲۸
R^2 (آزمایش)		٪۹۹/۴۳			٪۹۹/۸۲	
R^2 (پیش بینی)		٪۹۵/۰۱			٪۹۸/۱۷	

در روابط ۷ و ۸ نیز تابع وابستگی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته (درصد رطوبت) به ترتیب برای گروه کوکوپیت و گروه الیاف خرما نشان داده شده است.

$$\begin{aligned}\%M_{coco} &= 67/938 + 2/295x_1 + 1/359x_2 \\ &\quad - 5/266x_3 + 0/751x_1^2 + \\ &\quad 0/727x_2^2 + 0/278x_3^2 + 0/108x_1x_2 \\ &\quad + 0/633x_1x_3 + 0/705x_2x_3\end{aligned} \quad [۷]$$

$$\begin{aligned}\%M_{palm} &= 23/184 - 1/726x_1 - 0/464x_2 \\ &\quad - 11/500x_3 + 3/269x_1^2 + \\ &\quad 0/605x_2^2 + 1/741x_3^2 - 5/984\ x_1x_2 \\ &\quad - 1/251x_1x_3 - 1/096x_2x_3\end{aligned} \quad [۸]$$

با قرار دادن متغیرهای مستقل کدگذاری شده در این دو تابع، مقادیر پیش‌بینی شدهٔ درصد رطوبت برای هر دو گروه به‌دست می‌آید (جدول ۲). همانطور که مشاهده می‌شود، اعداد به‌دست آمده به مقادیر واقعی بسیار نزدیک می‌باشند که این خود نشان‌دهنده انطباق خوب مدل با داده‌های واقعی حاصل از آزمایش می‌باشد.

در جدول ۳، مقادیر ضرایب رگرسیون تابع وابستگی هر گروه که تخمین زده شده و مجموع مربعات و مقدار احتمال آنها مشاهده می‌شود. بایستی توجه داشت که تغییر در سطوح متغیرهایی که اثر معنی‌دار دارند باعث تغییرات معنی‌دار، که ناشی از تغییرات تصادفی نمی‌باشد، در متغیر وابسته (درصد رطوبت) می‌شود و متغیرهایی که دارای مقدار مجموع مربعات بیشتری نسبت به سایرین می‌باشند، دارای اثر بیشتری بر متغیر وابسته می‌باشند. به‌طور مثال، در گروه کوکوپیت، با توجه به مقادیر مجموع مربعات، به‌ترتیب اثر متغیرهای زمان، کوکوپیت و پیت ماس بر درصد رطوبت کاهش می‌یابد. همچنین، اثر درجه دوم متغیر مستقل زمان (x^2_3) و اثر متقابل درصد کوکوپیت و پیت ماس (x_1x_2) معنی‌دار نبوده و مقدار احتمال آنها از ۰/۰۵ بیشتر می‌باشد. در این جدول، ضرایب تبیین (R^2) حاصل از آزمایش و مقادیر پیش‌بینی برای دو گروه کوکوپیت و الیاف نیز بیان شده که مقدار بزرگ این اعداد (بیشتر از ٪۹۵) نشان دهنده دقت زیاد محاسبهٔ ضرایب و انطباق خوب توابع وابستگی با داده‌های واقعی حاصل از آزمایش می‌باشد.

بهینه‌سازی و بررسی اثر متقابل متغیرها

پس از محاسبهٔ تابع مطلوبیت متغیر وابسته (درصد رطوبت) با

جدول ۴. بهترین شرایط بهینه‌سازی شده توسط تابع مطلوبیت در گروه کوکوپیت، جهت بیشینه‌سازی متغیرهای رطوبت و زمان

شرط بهینه	بیشینه‌سازی درصد رطوبت					بیشینه‌سازی درصد رطوبت و زمان				
	کوکوپیت	پیت ماس	زمان	پرلیت	رطوبت	کوکوپیت	پیت ماس	زمان	پرلیت	رطوبت
	$x_1(X_1)$	$x_2(X_2)$	$x_3(X_3)$	(٪)	(٪)	$x_1(X_1)$	$x_2(X_2)$	$x_3(X_3)$	(٪)	(٪)
۱	۱ (۷۵)	۱ (۲۰)	−۱ (۳)	(۵)	۷۷/۴۳	۱ (۷۵)	۱ (۲۰)	۱ (۵)	(۵)	۶۹/۵۷
۲	۱ (۷۵)	۱ (۲۰)	(۳/۰۱) −۰/۹۹	(۵)	۷۷/۳۸	۱ (۷۵)	۱ (۲۰)	۰/۹۹ (۴/۹۹)	(۵)	۶۹/۶۱
۳	۰/۹۸ (۷۴/۹۰)	۱ (۲۰)	−۱ (۳)	(۵/۱)	۷۷/۳۸	۰/۹۹ (۷۴/۹۵)	۱ (۲۰)	۱ (۵)	(۵/۰۵)	۶۹/۵۴
۴	۱ (۷۵)	۱ (۲۰)	(۳/۰۲) −۰/۹۸	(۵)	۷۷/۳۴	۱ (۷۵)	۰/۹۹ (۱۹/۹۵)	۱ (۵)	(۵/۰۵)	۶۹/۵۲
۵	(۷۴/۸۵) ۰/۹۷	۱ (۲۰)	−۱ (۳)	(۵/۱۵)	۷۷/۳۴	۱ (۷۵)	۰/۹۸ (۱۹/۹۰)	۱ (۵)	(۵/۱)	۶۹/۴۸

مقادیر داخل و بیرون پرانتز به ترتیب مقادیر حقیقی و کدگذاری شده می‌باشند.

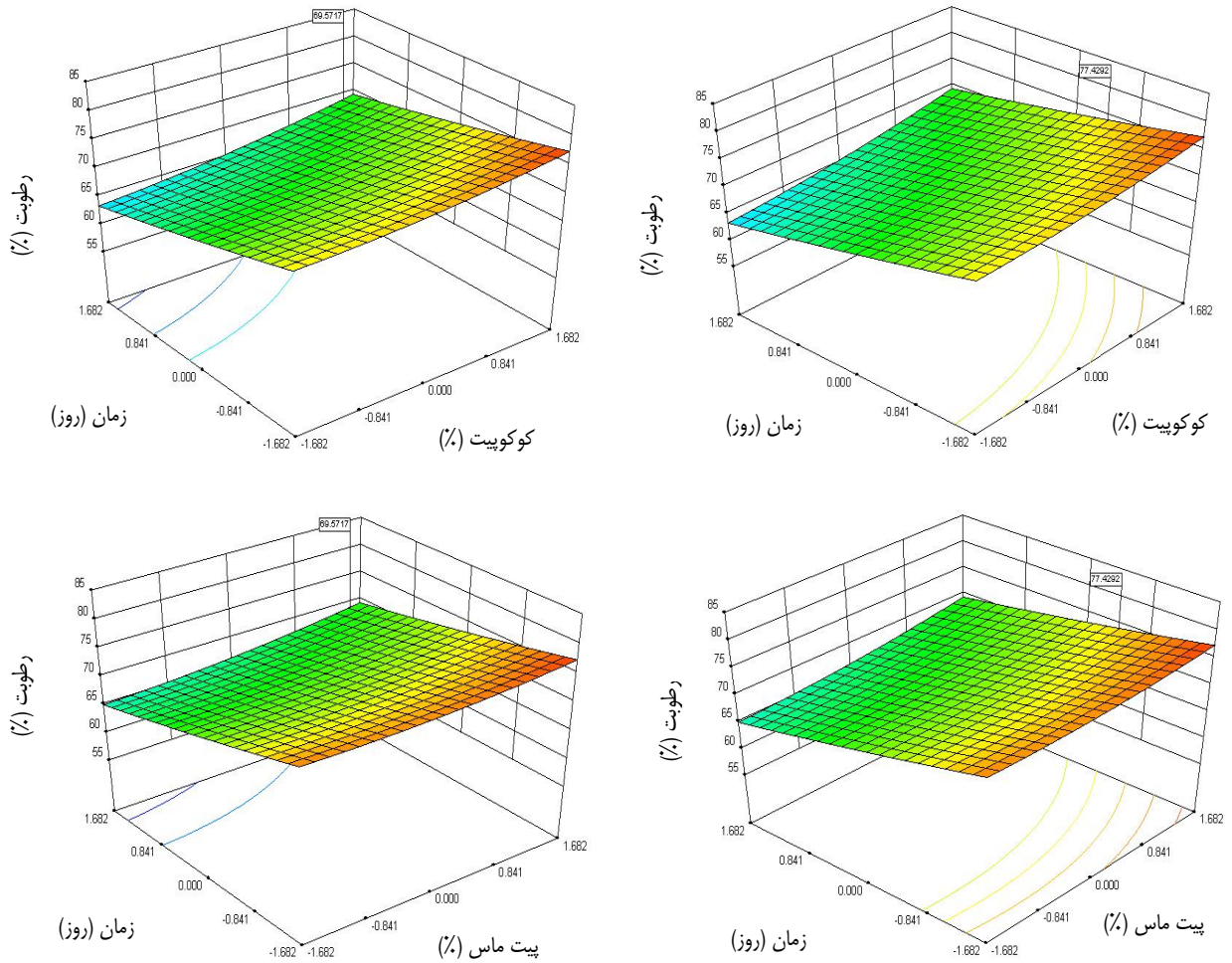
جدول ۵. بهترین شرایط بهینه‌سازی شده توسط تابع مطلوبیت در گروه الیاف خرما، جهت بیشینه‌سازی متغیرهای رطوبت و زمان

شرط بهینه	بیشینه‌سازی درصد رطوبت					بیشینه‌سازی درصد رطوبت و زمان				
	الیاف خرما	پیت ماس	زمان	پرلیت	رطوبت	الیاف خرما	پیت ماس	زمان	پرلیت	رطوبت
	$x_1(X_1)$	$x_2(X_2)$	$x_3(X_3)$	(٪)	(٪)	$x_1(X_1)$	$x_2(X_2)$	$x_3(X_3)$	(٪)	(٪)
۱	−۱ (۶۵)	۱ (۲۰)	−۱ (۳)	۱۵	۴۹/۸۹	۱ (۷۵)	−۱ (۱۰)	۱ (۵)	۱۵	۲۴/۳۷
۲	−۱ (۶۵)	۰/۹۹ (۱۹/۹۵)	−۱ (۳)	۱۵/۰۵	۴۹/۸۰	۱ (۷۵)	−۰/۹۸ (۱۰/۱۰)	۱ (۵)	۱۴/۹۰	۲۴/۲۳
۳	−۰/۹۹ (۶۵/۰۵)	۱ (۲۰)	−۱ (۳)	۱۴/۹۵	۴۹/۷۵	۱ (۷۵)	−۰/۹۵ (۱۰/۲۵)	۱ (۵)	۱۴/۷۵	۲۳/۹۰
۴	−۱ (۶۵)	۰/۹۸ (۱۹/۹۰)	−۱ (۳)	۱۵/۱	۴۸/۷۳	۱ (۷۵)	−۰/۸۸ (۱۰/۶۰)	۱ (۵)	۱۴/۴۰	۲۳/۳۲
۵	−۱ (۶۵)	۱ (۲۰)	−۰/۹۹ (۳/۰۱)	۱۵	۴۸/۷۲	۰/۸۵ (۷۴/۲۵)	−۱ (۱۰)	۱ (۵)	۱۵/۷۵	۲۲/۶۶

مقادیر داخل و بیرون پرانتز به ترتیب مقادیر حقیقی و کدگذاری شده می‌باشند.

استفاده از توابع وابستگی، پنج حالت بهینه با بالاترین درجه مطلوبیت (Desirability) در هر یک از دو حالت: الف) بیشینه‌سازی درصد رطوبت و ب) بیشینه‌سازی درصد رطوبت و زمان، برای متغیرهای مستقل محاسبه شد که نتایج آن برای هر دو گروه به صورت جداگانه در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. مشاهده می‌شود که نتایج هر قسمت تقریباً در یک محدوده بوده و اختلاف ناچیزی با یکدیگر دارند. لازم به ذکر است که مقادیر داخل پرانتز، مقادیر حقیقی و بیرون پرانتز، مقادیر کدگذاری شده می‌باشند.

نتایج نشان می‌دهند که بهترین حالت برای بیشینه‌سازی درصد رطوبت در گروه کوکوپیت استفاده از ۷۵٪ کوکوپیت، ۲۰٪ پیت ماس و ۵٪ پرلیت در مدت زمان ۳ روز بوده و می‌توان از همین ترکیب در مدت زمانی ۵ روزه نیز تنها با کاهش ۷/۸۶ درصدی رطوبت و بدون نیاز به آبیاری مجدد استفاده نمود. این نتایج نشان می‌دهد که اثر فاکتور درصد کوکوپیت، اثر نسبتاً غالبی بوده و با تغییر این فاکتور به تنهایی نیز می‌توان مقدار درصد رطوبت را کنترل نمود. اما این موارد در مورد گروه الیاف خرما صدق نمی‌کند. به‌طوری که بهترین حالت برای بیشینه‌سازی درصد رطوبت در این گروه استفاده از ۶۵٪ الیاف خرما، ۲۰٪ پیت ماس و ۱۵٪ پرلیت در مدت زمان ۳ روز می‌باشد و چنانچه بخواهیم مدت زمان آبیاری را تا ۵ روز افزایش دهیم بایستی مقدار الیاف خرما را افزایش و درصد پیت

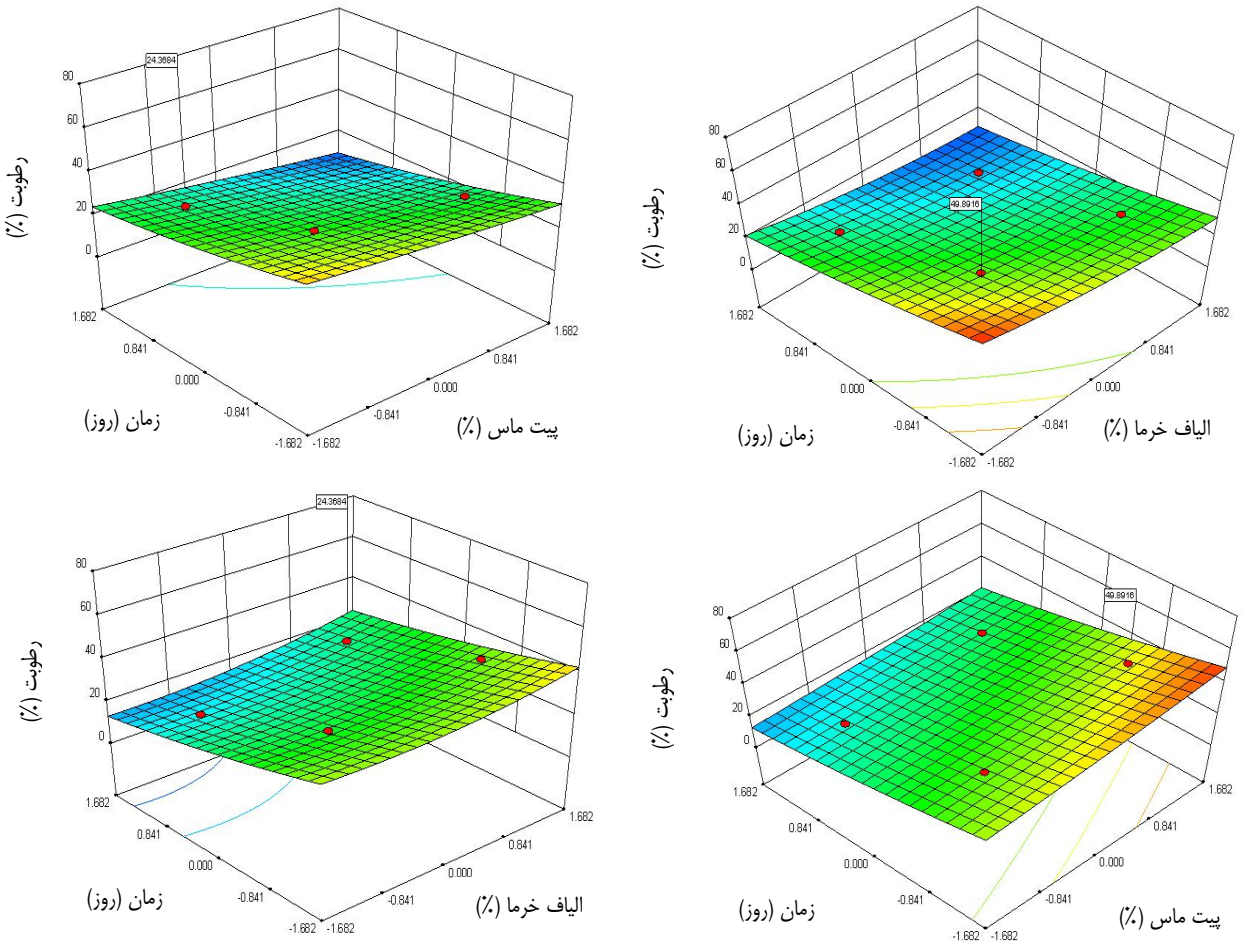


شکل ۲. بیشینه‌سازی درصد رطوبت در گروه کوکوپیت و رابطهٔ اثر متقابل متغیرهای مستقل با درصد رطوبت

ماس را کاهش دهیم. پس، در این حالت بایستی از ترکیب ۷۵٪ الیاف خرما، ۱۰٪ پیت ماس و ۱۵٪ پرلیت استفاده کرد.

در شکل‌های ۲ و ۳ اثر متقابل متغیرهای مستقل گروه کوکوپیت بر یکدیگر و بر درصد رطوبت در هر دو حالت بیشینه‌سازی برای بهترین شرط بهینه نشان داده شده است. می‌توان دید که با افزایش مقدار کوکوپیت و پیت ماس، درصد رطوبت زیاد و با افزایش زمان این مقدار کاهش می‌یابد و همچنین شیب تأثیر مثبت کوکوپیت از پیت ماس بیشتر است. باید توجه داشت که اثر متقابل متغیرهای کوکوپیت و پیت ماس بر یکدیگر (x_1x_2) معنی‌دار نمی‌باشد.

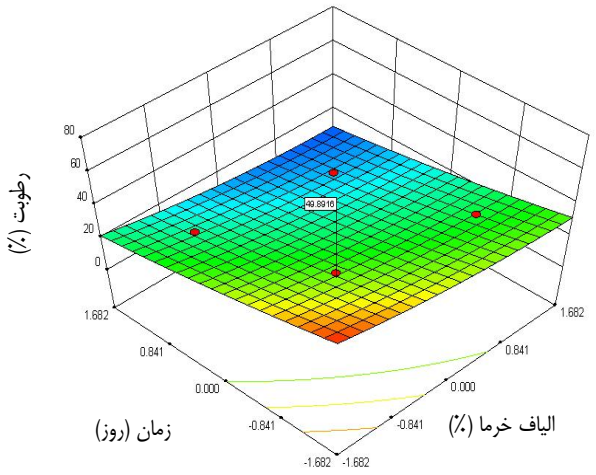
در شکل‌های ۴ و ۵ نیز اثر متقابل متغیرهای مستقل گروه الیاف خرما بر یکدیگر و بر درصد رطوبت در هر دو حالت بیشینه‌سازی برای بهترین شرط بهینه نشان داده شده است. در این گروه نیز با افزایش مقدار الیاف خرما و پیت ماس، درصد رطوبت زیاد و با افزایش زمان این مقدار کاهش می‌یابد. برخلاف گروه کوکوپیت، شیب تأثیرات مثبت پیت ماس از الیاف خرما بیشتر است. به‌طوری که می‌توان دید ترکیب بیشترین درصد الیاف خرما با کمترین درصد پیت ماس درصد رطوبت کمتری را نسبت به حالت بیشترین درصد پیت ماس و کمترین درصد الیاف خرما در بر دارد.

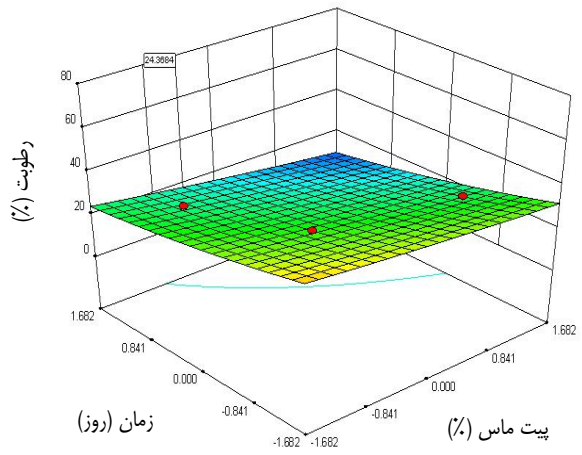


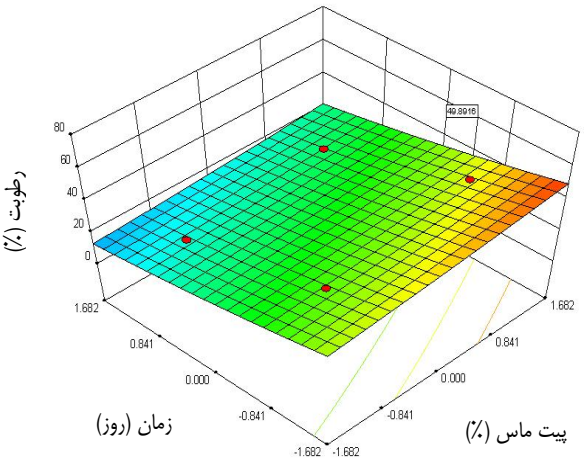
شکل ۳. بیشینه‌سازی درصد رطوبت و زمان در گروه کوکوپیت و رابطهٔ اثر متقابل متغیرهای مستقل با درصد رطوبت

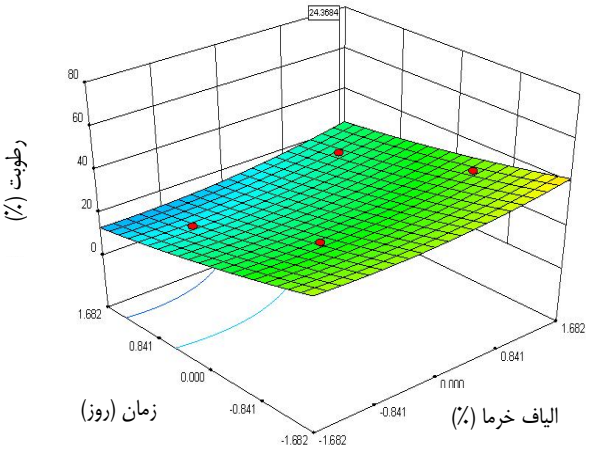
مقایسه ترکیب بستر کشت بهینه‌سازی شده با مقادیر سایر پژوهش‌ها

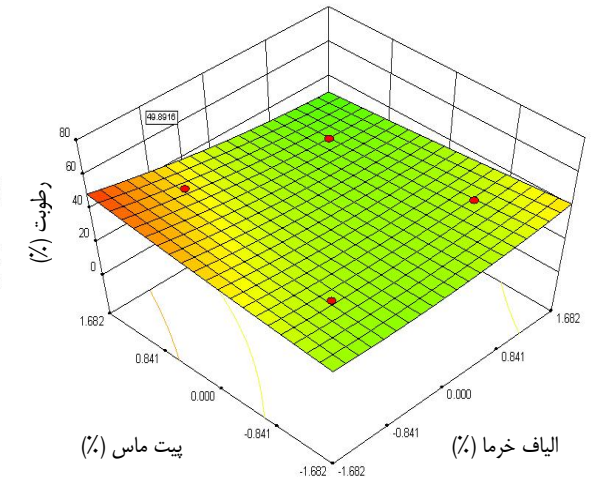
پژوهشگران مختلف ترکیب‌هایی از مواد گوناگون آلی و معدنی را جهت پیدا نمودن بهترین بستر کشت در آزمایش‌های خود استفاده کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به بهره‌گیری از بسترهای کشت حاوی ترکیب‌های کوکوپیت و پرلیت (۵۰٪ – ۵۰٪)، پیت ماس و پرلیت (۵۰٪ – ۵۰٪)، کوکوپیت (۱۰۰٪) و پیت ماس (۱۰۰٪) در کشت گیاه آگلونما (۳)، ترکیب کوکوپیت و پیت ماس (۵۰٪ – ۵۰٪) و پرلیت (۱۰۰٪) در آزمایش اثر بسترهای کشت آلی و معدنی بر رویش گیاه حسن یوسف (۲)، تأثیر بستر ترکیبی کوکوپیت و زئولیت (۷۵٪ – ۲۵٪) بر رشد رز شاخه بریده (۱) و ترکیب کوکوپیت، پیت ماس و پرلیت (۳۰٪ – ۲۰٪ – ۵۰٪)، (۲۰٪ – ۳۰٪ – ۵۰٪) و (۷۵٪ – ۱۵٪ – ۱۵٪) در پژوهشی بر کشت بدون خاک خیار گلخانه‌ای (۵) اشاره کرد. همچنین، آزمایش‌هایی نیز روی بستر حاوی الیاف خرما (۱۰۰٪)، پیت ماس (۱۰۰٪)، الیاف خرما و پیت ماس (۵۰٪ – ۵۰٪)، (۷۵٪ – ۲۵٪) و (۲۵٪ – ۷۵٪) به منظور تعیین اثر ترکیبی بسترهای مختلف بر کیفیت کاشت فلفل دلمه‌ای و کشت گیاه زینتی آگلونما (۳ و ۴) انجام شده است. مقدار جذب رطوبت و نگهداشت آب در بسترهای ترکیبی استفاده شده توسط این پژوهشگران و با ترکیب‌های بهینه‌سازی شده توسط نرم‌افزار در این پژوهش در یک طرح آماری کامل تصادفی مقایسه شد. در شکل‌های ۶ و ۷ اختلاف آماری میانگین‌های

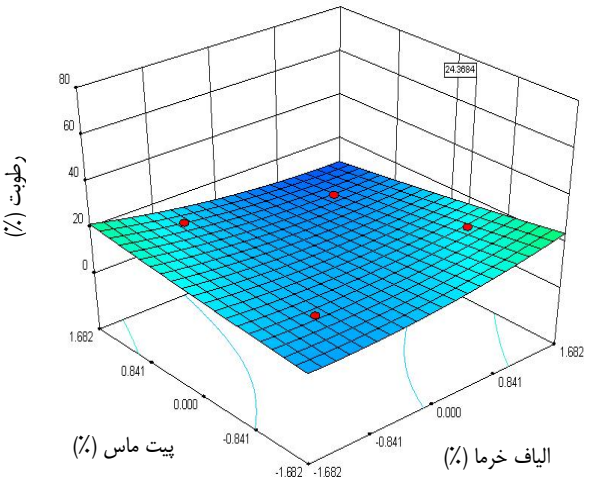






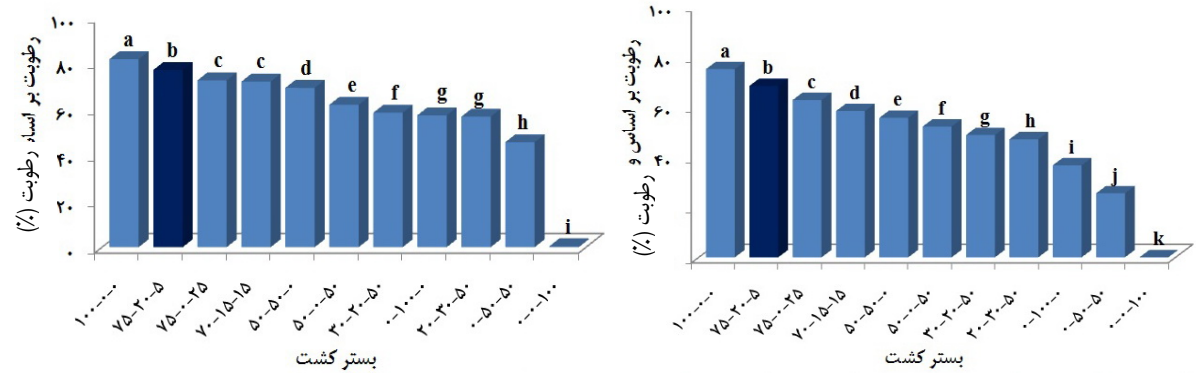




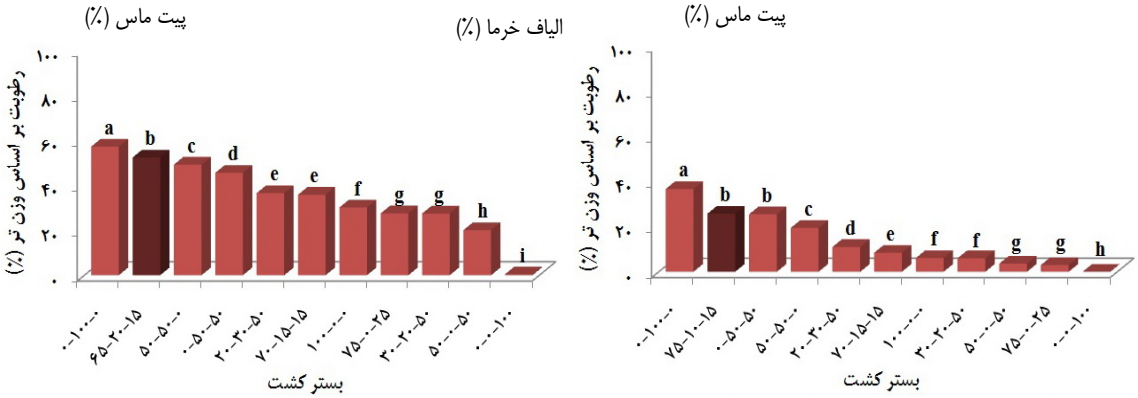


شکل ۴. بیشینه‌سازی درصد رطوبت در گروه الیاف خرما و رابطهٔ اثر متقابل متغیرهای مستقل با درصد رطوبت

شکل ۵. بیشینه‌سازی درصد رطوبت و زمان در گروه الیاف خرما و رابطهٔ اثر متقابل متغیرهای مستقل با درصد رطوبت



شکل ۶. مقایسه میانگین رطوبت بسترهای کشت(از راست: درصد پرلیت، پیت ماس و کوکوپیت)، بعد از گذشت ۳ و ۵ روز



شکل ۷. مقایسه میانگین رطوبت بسترهای کشت(از راست: درصد پرلیت، پیت ماس و الیاف خرما)، بعد از گذشت ۳ و ۵ روز

درصد رطوبت باقیمانده در تیمارهای حاصل از سایر آزمایش‌ها با تیمارهای بهینه‌سازی شده در این پژوهش (که به صورت تیره‌تر است) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که درصد رطوبت باقیمانده در بستر کشت تیمارهای بهینه‌سازی شده توسط نرم‌افزار در هر دو گروه کوکوپیت و الیاف خرما، در هر دو بازه زمانی ۳ و ۵ روز سپری شده از شروع آزمایش، بیشتر از درصد رطوبت باقیمانده در بستر ترکیبی در سایر تیمارها است، به غیر از تیماری که از ۱۰۰٪ کوکوپیت (در گروه کوکوپیت) و ۱۰۰٪ پیت ماس (در گروه الیاف خرما) استفاده می‌کند. البته شرط اولیه در بهینه‌سازی، استفاده از هر سه ماده در هر گروه است تا بتوان از خواص مفید پیت ماس و پرلیت نیز در بستر کشت گیاهان استفاده نمود. این نتایج خود اثباتی بر کارآیی روش پاسخ سطح در علوم کشاورزی و گلخانه‌ای و تعیین بهترین ترکیب بستر کشت می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، سعی شد امکان استفاده از الیاف خرما به عنوان بستر کشت و جایگزینی برای کوکوپیت و پیت ماس مورد بررسی قرار گیرد. از آزمایش‌ها و تحلیل‌های انجام شده نتیجه‌های کلی زیر به‌دست می‌آیند:

- کوکوپیت دارای بیشترین پتانسیل جذب رطوبت می‌باشد که این خصوصیت به‌ترتیب در بسترهای کشت پیت ماس، الیاف خرمای خرد شده، پرلیت و خاک کاهش می‌یابد.
- کوکوپیت دارای کمترین نرخ از دست دادن رطوبت بوده و این ماده قابلیت نگهداری رطوبت بیشتری نسبت به الیاف خرما دارا می‌باشد.
- در گروه کوکوپیت، ترکیب ۷۵٪-۲۰٪-۵٪ (کوکوپیت- پیت ماس- پرلیت) تا مدت ۵ روز بهترین حالت برای بیشینه‌سازی درصد محتوای رطوبت بوده و اثر فاکتور درصد کوکوپیت، اثر غالب در کنترل میزان رطوبت می‌باشد.

- در گروه الیاف خرما، ترکیب ۶۵٪-۲۰٪-۱۵٪ (الیاف خرما- پیت ماس- پرلیت) در مدت زمان ۳ روز و ۷۵٪-۱۰٪-۱۵٪ تا ۵ روز بهترین حالت برای بیشینه‌سازی درصد محتوای رطوبت می‌باشد.
- در گروه کوکوپیت، با افزایش مقدار کوکوپیت و پیت ماس، درصد رطوبت زیاد و با افزایش زمان این مقدار کاهش می‌یابد. همچنین، شیب تأثیرات مثبت کوکوپیت از پیت ماس بیشتر است، اما اثر متقابل این دو متغیر بر یکدیگر معنی‌دار نیست.
- در گروه الیاف خرما با افزایش مقدار الیاف خرما و پیت ماس، درصد رطوبت زیاد و با افزایش زمان این مقدار کاهش می‌یابد. اما شیب تأثیرات مثبت پیت ماس از الیاف خرما بیشتر و اثر متقابل این دو متغیر بریکدیگر معنی‌دار است.

منابع مورد استفاده

۱. رضایی، آ.، م. مبلی، ن. اعتمادی، ا. ح. خوشگفتارمنش و ب. بانی نسب. ۱۳۸۸. تأثیر بسترهای مختلف کاشت بر رشد رز شاخه بریده. اولین کنگره ملی هیدروپونیک و تولیدات گلخانه‌ای اصفهان، صفحات ۲۹۸-۲۹۹.

۲. سجادی نیا، ع.، م. خیاط و ح. ر. کریمی. ۱۳۹۰. اثر بسترهای کشت آلی و معدنی بر ویژگی‌های رویشی و اکوفیزیولوژیک گیاه حس یوسف (*Coleus blumei*). علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۵: ۵۵-۶۰.

۳. سمیعی، ل.، ا. خلیقی، م. کافی، س. سماوات و م. ارغوانی. ۱۳۸۴. بررسی امکان بهره‌گیری از ضایعات سلولزی به عنوان جایگزین پیت ماس در بستر کشت گیاه برگ زینتی آگلونما (*Aglaonema commutatum* cv. Silver Queen). علوم کشاورزی ایران ۳۶(۲): ۵۰۳-۵۱۰.

۴. شبانی، ط.، غ. پیوست و ج. الفتی. ۱۳۹۰. بررسی اثر بسترهای کشت بر صفات کمی و کیفی سه رقم فلفل دلمه‌ای در سیستم کشت بدون خاک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ٦: ۱۱-۲۰.

۵. عالی‌فر، ن.، ا. محمدی قهساره و ن. هنرجو. ۱۳۸۹. اثر نوع بستر کشت بر عملکرد و جذب برخی عناصر غذایی به وسیله خیار گلخانه‌ای در کشت بدون خاک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱: ۱۹-۲۴.

6. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
7. Bas, D. and I.H. Boyaci. 2007. Modeling and optimization. I: Usability of response surface methodology. J. Food Eng. 78: 836-845.
8. Chen, Y., Y. Inbar and Y. Hadar. 1988. Composted agricultural wastes as potting media for ornamental plants. Soil Sci. 145(4): 289-303.
9. Corzo, O. and E.R. Gomez. 2004. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. J. Food Eng. 64: 213-219.
10. Cull, D.C. 1981. Alternatives to peat as container media: Organic resources in the UK. Acta Hort. 126: 69-81.
11. Eren, I. and F. Kaymak Ertekin. 2007. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. J. Food Eng. 79: 344-352.
12. Hartmann, H.T., D.E. Kester, F.T. Davies and R.L. Geneve. 1997. Plant Propagation: Principles and Practices. 6th Edition, Prentice-Hall, Inc., USA, 710 p.
13. Kalavathy, H., I. Regupathi, M.G. Pillai and L.R. Miranda. 2009. Modeling, analysis and optimization of adsorption parameters for H_3PO_4 activated rubber wood sawdust using response surface methodology. Colloid. Surface. B. 70: 35-45.
14. Khayyat, M., F. Nazari and H. Salehi. 2007. Effects of different pot mixture on pothos (*Epipremnum aureum* Lindl. and Andre 'Golden Pothos') growth and development. Amer.-Euras. J. Agric. Environ. Sci. 2(4): 341-348.
15. Lemaire, F., L.M. Riviere, S. Stivenard, O. Marfa, S. Gschwander and F. Guiffrida. 1998. Consequences of organic matter biodegradability on the physical, chemical parameters of substrates. Acta Hort. 469: 129-138.
16. Noguera, P., M. Abad, V. Noguera, R. Puchades and A. Maquieira. 2000. Coconut coir waste, a new and viable ecologically friendly peat substitute. Acta Hort. 517: 279-286.

17. Olympios, C.M. 1995. Overview of soilless culture: Advantage, constraints and perspectives for its use in Mediterranean countries. Cahiers Options Mediterr. 31: 307-324.
18. Tan, I.A.W., A.L. Ahmad and B.H. Hameed. 2008. Optimization of preparation conditions for activated carbons from coconut husk using response surface methodology. Chem. Eng. J. 137: 462-470.
19. Urrestarazu, M., M.C. Salas, M.I. Padilla, J. Moreno, M.A. Elorrieta and A. Arrasco. 2001. Evaluation of different composts from horticultural crop residues and their uses in greenhouse soilless cropping. Acta Hort. 549: 147-152.
20. Verdonck, O. and R. Gabriels. 1992. I: Reference method for the determination of physical properties of plant substrates, II: Reference method for the determination of chemical properties of plant substrates. Acta Hort. 302: 169-179.
21. Verdonck, O., D. De Vleeschauwer and M. De Boodt. 1982. The influence of the substrate to plant growth. Acta Hort. 126: 251-258.