



بهینه‌سازی میزان مصرف کود دامی و تراکم بوته در گیاه دارویی نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.) با استفاده از مدل‌سازی سطح- پاسخ

زهرا صادقی^۱، سرور خرم دل^{۲*}، مهدی نصیری محلاتی^۳ و فاطمه پارساپور^۱

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی

دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲ دانشیار، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۳ استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۳

چکیده

سابقه و هدف: بهینه‌سازی مصرف کود و تراکم بوته از جمله راهکارهای زراعی برای بهبود عملکرد میزان مصرف کارایی مصرف نهاده‌ها و کاهش اثرات زیست‌محیطی است. روش سطح- پاسخ (RSM) یکی از روش‌های آماری برای بهینه‌سازی نهاده‌ها است که میزان بهینه را با استفاده از طرح مرکب مرکزی تعیین می‌کند. هدف از این مطالعه، تعیین میزان بهینه کود دامی و تراکم بوته برای عملکرد اندام‌های رویشی و اسانس گیاه دارویی نعنای فلفلی با استفاده از مدل‌سازی سطح- پاسخ بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه بر اساس طرح مرکب مرکزی با ۱۳ تیمار و دو تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. سطوح پایین و بالای تراکم بوته (به ترتیب برابر با ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع) و کود دامی (به ترتیب صفر (شاهد) و ۷۰ تن در هکتار) به عنوان تیمار مدنظر قرار گرفتند. وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک برگ، وزن خشک کل و درصد اسانس در دو نوبت نمونه‌برداری و دو چین به‌عنوان متغیر وابسته مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند و تغییرات آن‌ها با استفاده از مدل رگرسیونی ارزیابی شد. به منظور ارزیابی کیفیت و بسندگی مدل از آزمون عدم برازش و آنالیز واریانس استفاده شد. معادله چند جمله‌ای درجه دوم کامل برای تعیین معنی‌داری مدل و اجزای مدل (خطی، درجه دوم و اثر متقابل) و ضریب تبیین (R^2) برای ارزیابی کیفیت مدل برازش شده مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثر جزء خطی و درجه دوم بر تمام صفات مورد مطالعه نعنای فلفلی در چین‌های اول و دوم معنی‌دار بود. اثر متقابل کود دامی و تراکم بوته تنها در چین دوم بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. آزمون عدم برازش در مورد هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشد که نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دوم کامل بود. دامنه R^2 برای صفات رویشی برابر با ۸۴/۶۲ - ۶۴/۲۰ درصد و برای عملکرد اندام‌های رویشی و درصد اسانس در چین‌های اول و دوم برابر با ۶۳/۰۶ - ۲۷/۳۶ درصد محاسبه شد. بالاترین عملکرد اندام‌های رویشی مشاهده شده و پیش‌بینی شده به‌ترتیب برای تراکم ۱۲/۵ بوته در مربع و ۳۵ تن کود دامی در هکتار (۷۵۵۱۳ گرم در مترمربع) و ۱۵ بوته در مربع و ۳۵ تن کود دامی در هکتار (۳۱۹۹۲ گرم در مترمربع) به‌دست آمد. عملکرد اندام‌های رویشی در چین دوم بالاتر از چین اول بود. بر اساس سناریوی اقتصادی، مقدار بهینه تراکم بوته و کود

* نویسنده مسئول: khorrandel@um.ac.ir

دامی و درجه مطلوبیت برای عملکرد زیست توده به ترتیب با ۱۰ بوته در مترمربع، ۲۳ تن در هکتار و $d=0.94$ و برای عملکرد زیست توده و درصد اسانس برابر با ۱۰ بوته در مترمربع، ۴۹ تن در هکتار و $d=0.96$ محاسبه گردید.

نتیجه گیری: به طور کلی، بهینه سازی میزان مصرف منابع با استفاده از مدل سازی سطح - پاسخ می تواند به عنوان راهکاری مطلوب در تولید پایدار گیاهان دارویی جهت افزایش تولید و بهبود کیفیت مد نظر قرار گیرد.

واژه های کلیدی: درجه مطلوبیت، عدم برازش، عملکرد اندام های رویشی، مدل رگرسیون درجه دوم کامل.

مقدمه

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)، گیاه علفی، چندساله از تیره نعنائیان (۲۳) و از گیاهان مهم دارویی است که به دلیل اثرات دارویی ضدسرطانی و استفاده در صنایع غذایی، از دیرباز مورد توجه محققان بوده است (۲۱).

در سال های گذشته برای تأمین غذای مورد نیاز، تولیدکنندگان به استفاده از سموم، کودها، علف کش ها و آفت کش های شیمیایی روی آورده اند، بدون توجه به اینکه کاربرد این عوامل چه پیامدهای زیست محیطی روی انسان و سایر اجزای اکوسیستم به دنبال خواهد داشت (۲۸). استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی باعث ایجاد خسارات جبران ناپذیری به محیط زیست، سلامت انسان و اقتصاد جامعه گردیده است؛ در حالی که تعیین میزان بهینه مصرف کودها علاوه بر کاهش هزینه های تولید، همراه با دستیابی به عملکرد قابل قبول، باعث کاهش بروز آلودگی های زیست محیطی می شود (۱۹). با توجه به موارد فوق، می توان استنباط کرد که کودهای آلی به عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی نقش مثبت و غیرقابل انکاری در مدیریت پایدار خاک و در نهایت، پایداری سیستم های تولیدی دارند. مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه علاوه بر حفظ محیط زیست، کاهش فرسایش خاک و حفظ تنوع زیستی، با اجتناب از کاربرد غیرضروری و بی رویه عناصر غذایی، هزینه ها را به حداقل رسانده و کارایی استفاده از نهاده ها را افزایش می دهد (۲۶).

بروسارد (۸) اظهار داشت که افزودن ماده آلی به خاک باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود قابلیت جذب آنها شده و افزایش تعادل نیتروژن و کارایی جذب فسفر را نیز به دنبال دارد. مصرف کود دامی در خاک ضمن تأمین مقادیر عناصر غذایی، باعث بهبود ساختمان، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، تهویه بهتر و بهبود شرایط برای رشد و توسعه سیستم ریشه ای، افزایش رشد سبزینگی، بهبود کیفیت و افزایش عملکرد گیاهان می شود.

انتخاب تراکم بهینه یکی دیگر از اساسی ترین عوامل مدیریت زراعی در تولید محسوب می شود. به طوری که اگر تراکم کم تر از حد بهینه باشد، از امکانات محیطی از جمله نور، آب و مواد غذایی به نحو مطلوب استفاده نمی شود و از طرف دیگر، اگر تراکم بیشتر از حد بهینه باشد، به علت رقابت بر سر جذب منابع قابل دسترس به ویژه نیتروژن کاهش عملکرد حاصل می گردد. تعیین تراکم بهینه برای استفاده مطلوب از نهاده ها مانند زمین، آب، نور و عناصر غذایی نقش مؤثری دارد و موجب افزایش کمی و کیفی محصول می شود (۱۶). هاشمی و هربرت (۱۹۹۲) گزارش کردند که کاهش فراهمی عناصر قابل دسترس در سطوح بالای تراکم بوته و همچنین کاهش نور، موجب کاهش عملکرد می شود (۱۶). درازیک و پالوویچ (۲۰۰۵) نیز نشان دادند که عملکرد نعناع فلفلی تحت تأثیر معنی دار تراکم کاشت قرار نگرفت، زیرا عملکرد این گیاه به تعداد گره ها در

۱۵۰۰ و ۳۵۰۰ متر مکعب) و تراکم (۱۸ و ۱۰) بوته در مترمربع) در گیاه دارویی موسیر ایرانی دریافتند که افزایش کود نیتروژن و سطوح آبیاری باعث افزایش عملکرد غده موسیر و تلفات نیتروژن گردید، در صورتی که افزایش تراکم باعث افزایش عملکرد و کاهش تلفات نیتروژن شد. در سناریوی اقتصادی-زیست محیطی ۱۶۹ کیلوگرم کود اوره در هکتار، ۲۰۲۵ متر مکعب آب در هکتار و ۱۷/۷ بوته در مترمربع بالاترین عملکرد و کمترین تلفات نیتروژن به دست آمد (۲۴). بنابراین هدف از این تحقیق، تعیین میزان بهینه مصرف کود دامی و تراکم گیاه نعنای فلفلی و اثر متقابل این عوامل جهت دستیابی به بالاترین رشد و عملکرد اندام‌های رویشی و اسانس در شرایط آب و هوایی مشهد با استفاده از مدل‌سازی سطح-پاسخ (RSM)^۲ بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸ متری از سطح دریا، در قالب طرح مرکب مرکزی با دو تکرار اجرا شد. ترکیب تیماری با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$t = 2^k + 2K + r \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، k : نشان‌دهنده تعداد فاکتور و t : تعداد تکرار تیمار در سطح میانگین می‌باشد (۳، ۷). بر این اساس، ۱۳ تیمار با توجه به سطوح پایین و بالای تراکم (به ترتیب ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع) و سطوح پایین و بالای کود دامی (به ترتیب صفر (شاهد) و ۷۰ تن در هر هکتار) تعیین شد که در جدول ۱ ارائه شده است.

ساقه اصلی بستگی دارد (۱۲). در گیاه نعنای فلفلی تعداد گره تحت تاثیر تراکم کاشت تغییر می‌یابد و بیشترین تعداد گره در تراکم کمتر حاصل می‌گردد. البته دی‌لالوز و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که در تراکم کم‌تر عملکرد ماده خشک افزایش می‌یابد (۹).

یکی از معمول‌ترین روش‌های مورد استفاده جهت بهینه‌سازی عوامل مختلف تولید، استفاده از طرح مرکب مرکزی (CCD)^۱ است (۳۰) که نسبت به آزمایشات فاکتوریل، امکان استخراج اطلاعات بیش‌تر با تعداد کم‌تر تیمار و تکرار و امکان تعیین ترکیب‌های مختلف متغیر مستقل را فراهم می‌کند (۳). یکی از معمول‌ترین روش‌های مورد استفاده جهت بهینه‌سازی عوامل مختلف تولید، استفاده از طرح مرکب مرکزی (CCD) است (۳۰) که نسبت به آزمایشات فاکتوریل، امکان استخراج اطلاعات بیش‌تر با تعداد کم‌تر تیمار و تکرار را فراهم می‌کند و موجب تعیین ترکیب‌های مختلف متغیر مستقل در آزمایش می‌گردد (۳). با اجرای طرح مرکب مرکزی و بهینه‌سازی فاکتورهای آزمایشی علاوه بر دستیابی به عملکرد قابل قبول، آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از استفاده منابع مورد استفاده در مزرعه و هزینه‌های تولید نیز کاهش خواهد یافت (۲۲).

نصیری محلاتی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثر متقابل تراکم بانه (۵۰ و ۲۵۰ بانه در متر مربع) و وزن بانه مادری (کمتر از ۴ و ۸-۴ گرم) در زعفران با استفاده از طرح مرکب مرکزی بیان داشتند که افزایش وزن بانه و تراکم بانه اثر مثبتی بر افزایش عملکرد اقتصادی، قطر بانه، تعداد بانه دختری، تعداد بانه اصلی، تعداد گل و وزن تر گل داشت (۲۷). همچنین، منصوری و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی کود نیتروژن (۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار)، آبیاری

جدول ۱- ضرایب و مقادیر تیمارها با توجه به طرح مرکب مرکزی.

Table 1- Rates and coefficients for treatments based on central composite design.

تیمار Treatment	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
تراکم بوته (تعداد در مترمربع) Plant density (No.m ⁻²)	10	15	10	15	10	15	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
کود دامی (تن در هکتار) Cow manure (t.ha ⁻¹)	0	0	70	70	35	35	0	70	35	35	35	35	35

تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

در مرحله آماده‌سازی زمین و پیش از کاشت، نمونه‌ای مرکب از سه نقطه مختلف از عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک به صورت تصادفی تهیه و جهت

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی متر).

Table 2- Physical and chemical properties of the soil (0 – 30 cm depth)

بافت Texture	پخشیم قابل دسترس (میلی گرم بر کیلوگرم) Available K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل دسترس (میلی گرم بر کیلوگرم) Available P (mg.kg ⁻¹)	نیترژن کل (درصد) Total N (%)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی (دستی زمینس بر سانتی متر) EC (dS.cm ⁻¹)	شاخص واکنش pH
لوم سیلتی Silty loam	186	29.2	0.058	1.07	0.62	0.58	7.92

روی ردیف به ترتیب ۲۰، ۱۶ و ۱۳ سانتی متر برای تراکم‌های ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ بوته در متر مربع انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بنا به ضرورت به شیوه نشتی با استفاده از سیفون و به صورت جداگانه برای هر کرت (با توجه به ماهیت تیمارها) انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز در طول فصل رشد به صورت وجین دستی انجام گرفت.

عملیات برداشت دستی به وسیله قیچی باغبانی در دو چین (اول خرداد و اواخر مرداد ماه) انجام گرفت. در این زمان وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک برگ و وزن خشک کل بوته اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین وزن خشک گیاه، ابتدا برگ‌ها از ساقه هر نمونه جدا و سپس درون پاکت‌های کاغذی قرار داده و به

مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق در تابستان همان سال قبل از اجرای آزمایش انجام شد. پس از آن، دو نوبت دیسک عمود بر هم و یک نوبت لولر به منظور آماده‌سازی زمین انجام گرفت. ردیف‌های کاشت با فاصله ۵۰ سانتی متر به وسیله فاروئر ایجاد شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۳×۲/۵ مترمربع و شامل پنج ردیف در هر کرت بود. فاصله بین کرت‌ها جهت جلوگیری از اختلاط اثر تیمارهای کود دامی در هر تکرار یک متر (در این نکاشت) در نظر گرفته شد.

کاشت دستی ریزوم‌های مناسب (با طول ۱۵-۱۰ سانتی متر، دارای حداقل ۳ تا ۵ برگ) و ریشه‌های جانبی مطلوب (با حداقل طول ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر و ۳ تا ۴ جوانه) در پنجم مهر ماه سال ۱۳۹۶ با فواصل

که در این رابطه، a و b : به ترتیب عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون و P_i : مقادیر پیش‌بینی شده و O_i : مقادیر مشاهده شده می‌باشند.

در نهایت، بهینه‌سازی سطوح فاکتورها برای صفات عملکرد اندام‌های هوایی و درصد و عملکرد اسانس براساس روش مورد استفاده در نرم‌افزار Minitab ver. 17 با انجام و سطوح بهینه فاکتورها با توجه به میزان مطلوبیت (d) انتخاب گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab ver. 17 تجزیه و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Minitab ver. 17 و Excel ver. 16 ترسیم شدند.

نتایج و بحث

انتخاب مدل رگرسیون: نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دوم کامل برای متغیرهای وابسته مورد مطالعه برای هر دو چین در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج نشان داد که اثر جزء خطی و درجه دوم در هر دو چین بر تمام صفات رویشی مورد مطالعه نعنای فلفلی معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود. اثر متقابل دو عامل کود دامی و تراکم بوته در چینول بر هیچ یک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبود، ولی در چیندوم بر تمام صفات رویشی مورد مطالعه معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود. در هر دو چین‌آزمون عدم برازش در مورد هیچ کدام از صفات مورد مطالعه گیاه دارویی نعنای فلفلی معنی‌دار نشد که این امر نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دوم کامل بود (جدول ۳).

مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس درون آون گذاشته شد. قابل ذکر است نیمی از هر کرت به نمونه برداری تخریبی در طول فصل رشد و نیم دیگر به عملکرد اختصاص داده شد. به منظور استخراج اسانس موجود در برگ از دستگاه اسانس‌گیر^۱ استفاده شد (۲۴).

به منظور انتخاب مدل مناسب، مدل درجه دوم کامل با اثرات متقابل بین فاکتورها برازش داده (رابطه ۲) و سپس بر اساس معیارهای آماری تجزیه رگرسیون (مقادیر F ، P value و R) و آزمون عدم برازش^۲ بهترین مدل انتخاب شد.

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_1^2 + a_4 X_2^2 + a_5 X_1 X_2 \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این رابطه، Y : متغیر وابسته، X_1 : متغیر مستقل کود دامی، X_2 : متغیر مستقل تراکم بوته و a_1 تا a_5 : ضرایب معادله می‌باشند. در نهایت، نتایج داده‌های برازش شده با داده‌های مشاهده شده مورد مقایسه قرار گرفت و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از آزمون‌های آماری میانگین جذر مربعات خطا (رابطه ۳) و مقایسه رگرسیون خطی با خط یک به یک ارزیابی شد.

$$RMSE (\%) = \frac{100}{\bar{o}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۳:}$$

که در این رابطه، \bar{O} : میانگین مشاهدات، P_i : مقادیر برازش شده و O_i : مقادیر مشاهده شده و n : تعداد مشاهده می‌باشد.

هم‌چنین برای ارزیابی مدل از نمودار مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر برازش شده استفاده شد (رابطه ۴).

$$P_i = a + b O_i \quad \text{رابطه ۴:}$$

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل رگرسیونی درجه دوم کامل روی اثر تراکم و کود دامی بر صفات رویشی نغاع فلغلی در نوبت اول و دوم نمونه برداری.
 Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for the full quadratic regression model on the effects of plant density and cow manure on vegetative traits of peppermint at the first and second cuttings.

منابع تغییر S.O.V.	df	چین اول The first cutting						چین دوم The second cutting					
		وزن تر ساقه Fresh weight of stem	وزن خشک ساقه Dried weight of stem	وزن خشک برگ Dried weight of leaves	وزن خشک کل Total dried weight	وزن تر ساقه Fresh weight of stem	وزن خشک ساقه Dried weight of stem	وزن تر برگ Fresh weight of leaves	وزن خشک برگ Dried weight of leaves	وزن خشک کل Total dried weight			
مدل Model	6	1.000**	1.253**	0.001**	0.004**	0.020**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	
تکرار Replication	1	0.000ns	0.006ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	
خطی Linear	2	2.269**	2.641**	0.002**	0.010**	0.016**	0.00001**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	
تراکم Density (D)	1	2.373**	2.373**	0.002**	0.010**	0.008**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	
کود دامی Cow manure (M)	1	2.166**	2.910**	0.002**	0.009**	0.007**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	
درجه ۲: :Square	2	0.731**	1.114*	0.000**	0.002**	0.004**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	
تراکم×تراکم D×D	1	1.367**	1.454*	0.000*	0.003*	0.002*	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	
کود دامی×کود دامی M×M	1	0.025ns	0.125ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000**	0.000*	
اثر متقابل: :Interaction	1	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	
تراکم×کود دامی D×M	1	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	
خطا: :Error	19	0.133	0.220	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
عدم برازش Lack of fit	11	0.111ns	0.243ns	0.000ns	0.000ns	0.005ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	0.000ns	
خطای خاص Pure error	8	0.163	0.189	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
میانگین جدار مربعات خطا (درصد) RMSE (%)		32.698	42.107	43.083	43.196	43.575	56.237	56.953	48.582	43.283	49.534		

ns, * and **: represent non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

زهرا صادقی و همکاران

آنالیز رگرسیون و ضرایب تبیین برای برآزش روابط بین متغیرهای مستقل کود دامی و تراکم بوته با هریک از متغیرهای وابسته شامل وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک برگ و وزن خشک کل گیاه

جدول ۴- ضرایب رگرسیون و تبیین برای مدل درجه دوم کامل روی صفات رویشی نعناع فلفلی در دو چین.

Table 4- Regression coefficient and R^2 for full quadratic model on vegetative traits of peppermint for two cuttings.

چین‌ها Cuttings	صفات Traits	R^2	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0
اول The first	وزن تر ساقه Fresh weight of stem	70	-0.000	0.010	-0.000	-0.098	0.042	3.82
	وزن خشک ساقه Dried weight of stem	64	-0.000	-0.024	-0.000	0.803	0.043	-3.77
	وزن تر برگ Fresh weight of leaves	72	-0.000	-0.000	-0.000	0.031	0.001	-0.319
	وزن خشک برگ Dried weight of leaves	72	-0.000	-0.001	-0.000	0.057	0.003	-0.612
	وزن خشک کل Total dried weight	71	-0.000	-0.001	-0.000	0.045	0.002	-0.507
	دوم The second	وزن تر ساقه Fresh weight of stem	85	-0.000013	-0.000099	-0.000001	0.00333	0.000297
وزن خشک ساقه Dried weight of stem		84	-0.000067	-0.000535	-0.000008	1.01817	0.001637	-0.1726
وزن تر برگ Fresh weight of leaves		73	-0.000004	-0.000070	-0.000000	0.002070	0.000095	-0.01681
وزن خشک برگ Dried weight of leaves		84	-0.000021	-0.000474	-0.000001	0.01340	0.000438	-0.1023
وزن خشک کل Total dried weight		77	-0.000016	-0.000226	-0.000002	0.00682	0.000371	-0.0570

X_1 و X_2 : به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل کود دامی و تراکم بوته می‌باشند.

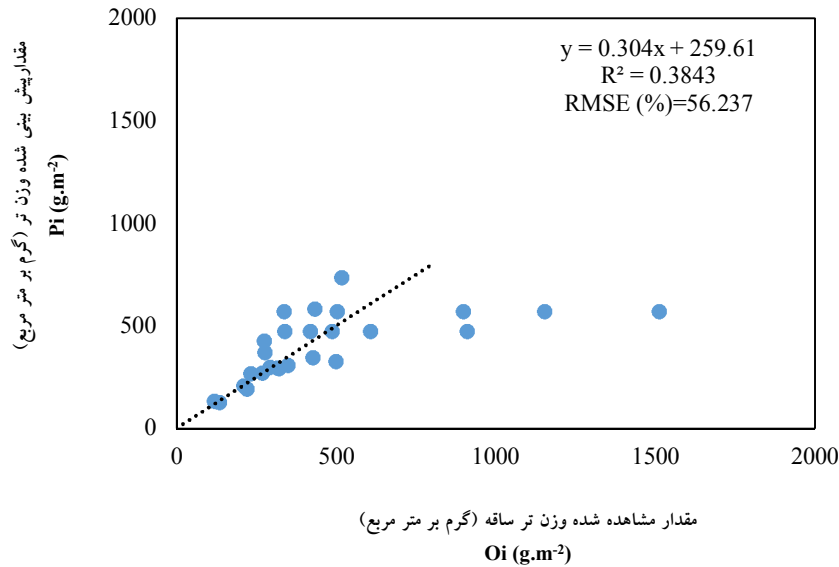
X_1 and X_2 : represent independent variables such as cow manure and plant density, respectively.

نعناع فلفلی را تحت تأثیر متغیرهای مستقل کود دامی و تراکم بوته نشان داد (جدول ۴). همچنین ضریب تبیین نشان می‌دهد به طور نسبی بخش زیادی از تغییرات شاخص‌های عملکرد رویشی نعناع فلفلی وابسته به متغیرهای مستقل می‌باشد.

ضریب تبیین (R^2) درصد توصیف تغییرات متغیرهای وابسته تحت تأثیر متغیر مستقل را نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج، در نوبت‌های اول و دوم نمونه‌برداری مدل درجه دوم کامل به ترتیب بین ۷۱/۵۳-۶۴/۲۰ و ۸۴/۶۲-۷۲/۶۶ درصد از توصیف تغییرات متغیرهای وابسته مربوط به صفات رویشی

شده و مشاهده شده برای وزن تر ساقه گیاه نعناع
فلغلی در شکل ۱ نشان داده شده است.

تعیین اعتبار مدل رگرسیون
وزن تر ساقه: نمودار رگرسیون خطی مقادیر پیش‌بینی

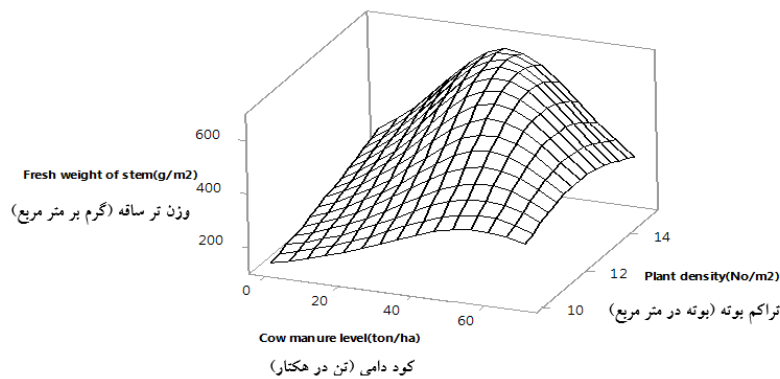


شکل ۱- معادله خط رگرسیون مقادیر پیش‌بینی شده (Pi) و مشاهده شده (Oi) در مورد وزن تر ساقه نعناع فلغلی و درصد RMSE بر اساس مدل رگرسیون درجه دوم کامل.

Figure 1- Equation of the regression line for predicted (Pi) and observed (Oi) of stem fresh weight of peppermint and RMSE percent based on full degree regression model.

کود دامی، با افزایش تراکم تا ۱۲/۵ بوته ارتفاع بوته
افزایش یافت. همچنین، با افزایش میزان مصرف کود
دامی تا حدود ۶۰ تن در هکتار وزن ساقه نیز افزایش
یافت (شکل ۲).

همانطور که مشاهده شد، مقدار RMSE (۵۶/۲۴)
درصد) بالاتر از ۳۰ محاسبه شد که نشان‌دهنده
پیش‌بینی ضعیف مدل است (شکل ۱). بر اساس نتایج
سطح- پاسخ، وزن تر ساقه در پاسخ به تراکم بوته و



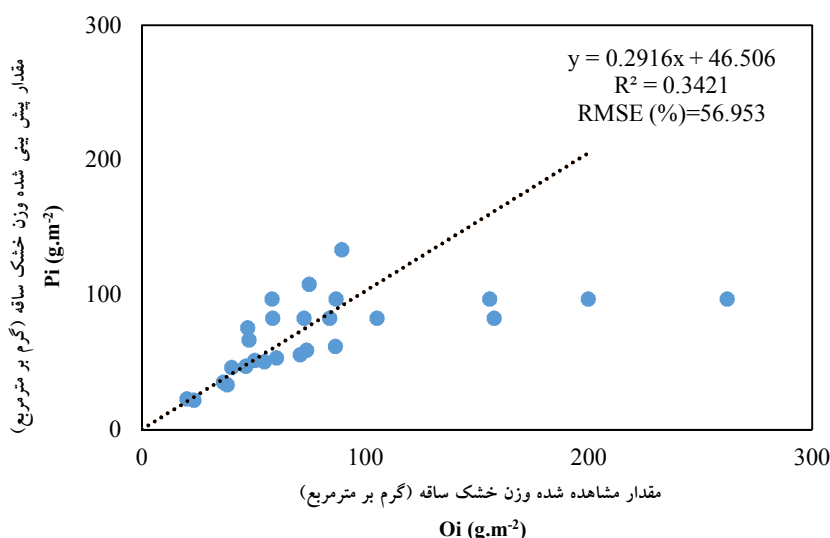
شکل ۲- مدل سطح- پاسخ وزن تر ساقه نعناع فلغلی تحت تأثیر سطوح تراکم بوته و کود دامی.

Figure 2- Response - surface model for fresh weight of stem of peppermint affected as plant density and cow manure.

با افزایش تولید مواد فتوسنتزی، میزان عملکرد و ماده خشک تولیدی نیز افزایش می‌یابد. خرم‌دل و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی تأثیر تراکم بوته و کود دامی روی گیاه دارویی فراموش شده وسمه (*Indigofera tinctoria*) افزایش ارتفاع، عملکرد برگ، ساقه و غلاف را تحت تأثیر افزایش تراکم بوته گزارش کردند، اما این محققان بیان داشتند که افزایش تراکم به بالاتر از ۳۰ بوته در مترمربع (بیش از حد مطلوب) به دلیل تشدید رقابت درون گونه‌ای سبب کاهش صفات مذکور در این گیاه گردید (۲۰).

وزن خشک ساقه: نمودار رگرسیون خطی مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده در مورد وزن خشک ساقه گیاه نعناع فلفلی در شکل ۳ ارائه شده است.

رضایی‌نژاد و افیونی (۲۰۰۰) اظهار داشتند که کاربرد کودهای دامی باعث افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک گردید و به دلیل افزایش قابلیت جذب روی، مس، آهن، فسفر، پتاسیم و نیتروژن بهبود رشد گیاه را به دنبال داشت (۳۰). از طرفی، نیتروژن موجود در کودهای آلی نقش اساسی در ساختمان کلروفیل داشته و به‌عنوان مهم‌ترین عنصر در ساخت پروتئین‌ها محسوب می‌شود که کاربرد آن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی، موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد. افزایش پروتئین گیاه موجب افزایش رشد و نمو اندام‌های رویشی مانند سطح برگ، تعداد شاخه‌های فرعی، ارتفاع و قطر ساقه می‌شود که افزایش این صفات تحریک تولید مواد فتوسنتزی را به دنبال دارد.

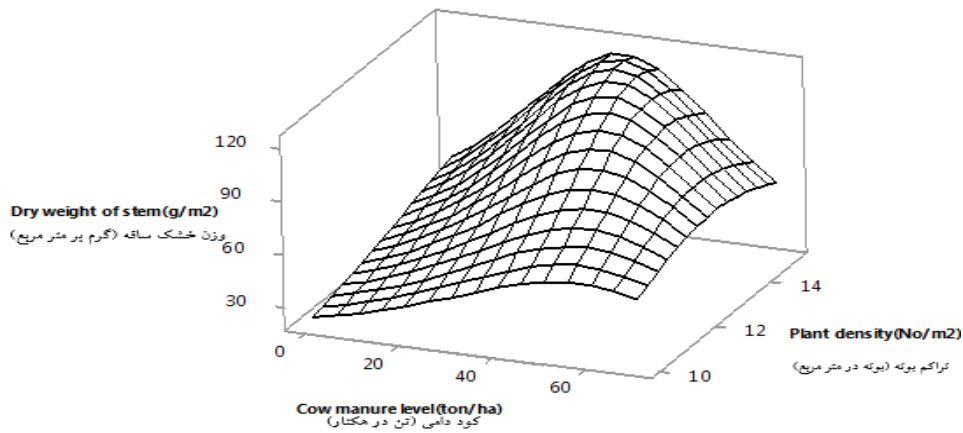


شکل ۳- معادله خط رگرسیون مقادیر پیش‌بینی شده (Pi) و مشاهده شده (Oi) در مورد وزن خشک ساقه نعناع فلفلی و درصد RMSE بر اساس مدل رگرسیون درجه دوم کامل.

Figure 3- Equation of the regression line for predicted (Pi) and observed (Oi) of stem dried weight of peppermint and RMSE percent based on full degree regression model.

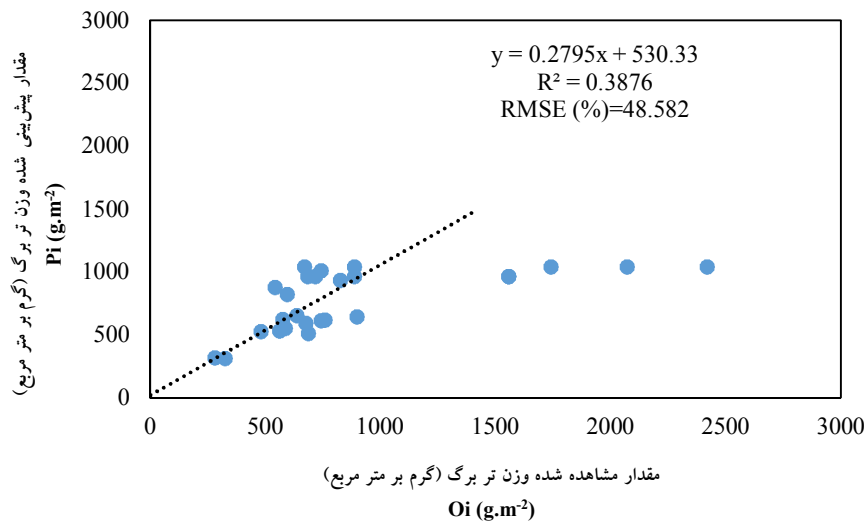
دامی در هکتار به‌دست آمد (شکل‌های ۳ و ۴). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده شد، با افزایش تراکم تا ۱۲/۵ بوته در مترمربع و همچنین، افزایش مصرف کود دامی تا ۳۵ تن در هکتار وزن خشک ساقه نعناع فلفلی افزایش یافت.

بیش‌ترین مقدار مشاهده شده وزن خشک ساقه نعناع فلفلی با ۲۶۱/۸۸ گرم بر مترمربع برای تراکم ۱۲/۵ بوته در مترمربع و ۳۵ تن کود دامی در هکتار و بیش‌ترین مقدار پیش‌بینی شده با ۱۳۳/۵۲ گرم بر مترمربع برای تراکم ۱۵ بوته در مترمربع و ۳۵ تن کود



شکل ۴- مدل سطح- پاسخ وزن خشک ساقه نعناع فلفلی تحت تأثیر سطوح تراکم بوته و کود دامی.
Figure 4- Response - surface model for stem dried weight of peppermint affected as plant density and cow manure.

وزن تر برگ: نمودار رگرسیون خطی مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده در مورد وزن تر برگ نعناع فلفلی در شکل ۵ نشان داده شده است.

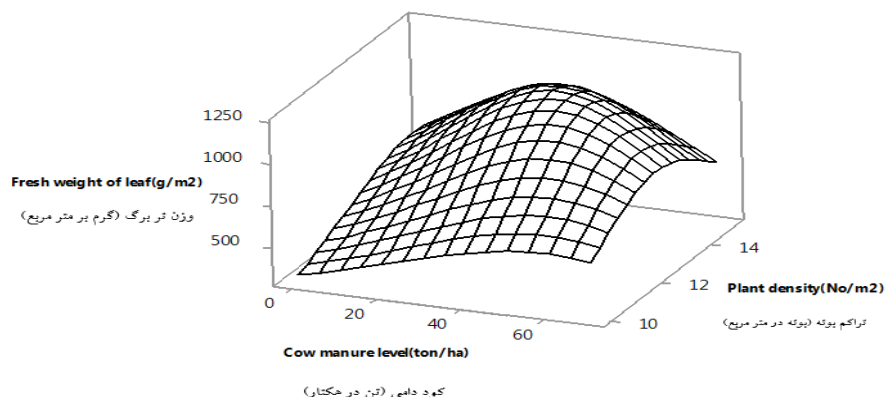


شکل ۵- معادله خط رگرسیون مقادیر پیش‌بینی شده (Pi) و مشاهده شده (Oi) در مورد وزن تر برگ نعناع فلفلی و درصد RMSE بر اساس مدل رگرسیون درجه دوم کامل.

Figure 5- Equation of the regression line for predicted (Pi) and observed (Oi) of leaf fresh weight of peppermint and RMSE percent based on full degree regression model.

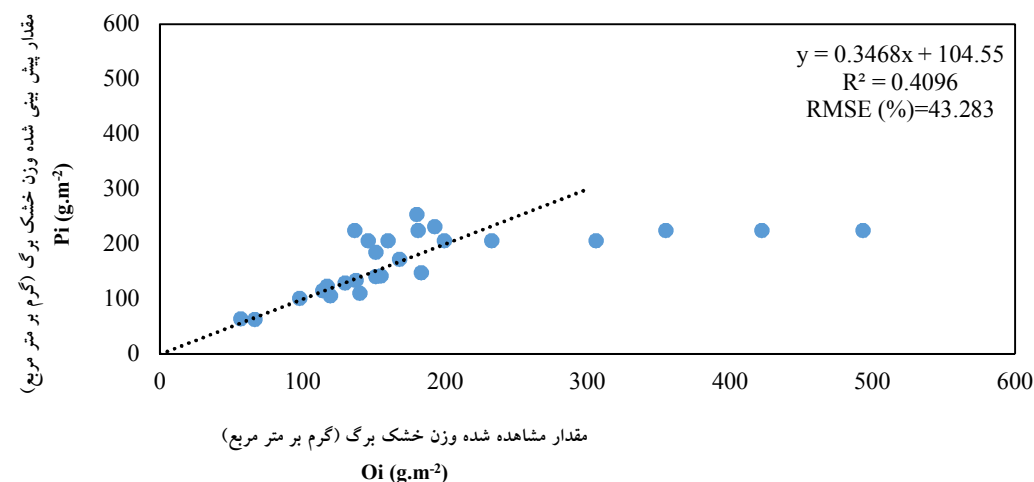
بوته و مصرف مقادیر کود دامی بیش از ۷۰ تن در هکتار وزن تر برگ کاهش یافت (شکل‌های ۵، ۶). بدلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) نیز افزایش وزن برگ گیاه دارویی بادرشبو تحت تأثیر استفاده از کودهای دامی در نتیجه تحریک رشد اندام‌های فتوسنتزی را گزارش کردند (۶).

بیش‌ترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده وزن تر برگ نعناع فلفلی به‌ترتیب با ۲۴۱۷/۸۴ و ۱۰۴۲/۹۷ گرم بر مترمربع برای تراکم ۱۲/۵ بوته در مترمربع و ۳۵ تن کود دامی در هکتار به‌دست آمد. افزایش تراکم و کود دامی تا حد معینی (به‌ترتیب ۱۲/۵ بوته در مترمربع و ۵۵ تن در هکتار) سبب افزایش وزن تر برگ شد و در تراکم‌های بالاتر از ۱۵



شکل ۶- مدل سطح- پاسخ وزن تر برگ نعناع فلفلی تحت تأثیر سطوح تراکم بوته و کود دامی.
Figure 6- Response - surface model for leaf fresh weight of peppermint affected as plant density and cow manure.

وزن خشک برگ: نمودار رگرسیون خطی مقادیر
پیش‌بینی شده و مشاهده شده در مورد وزن خشک

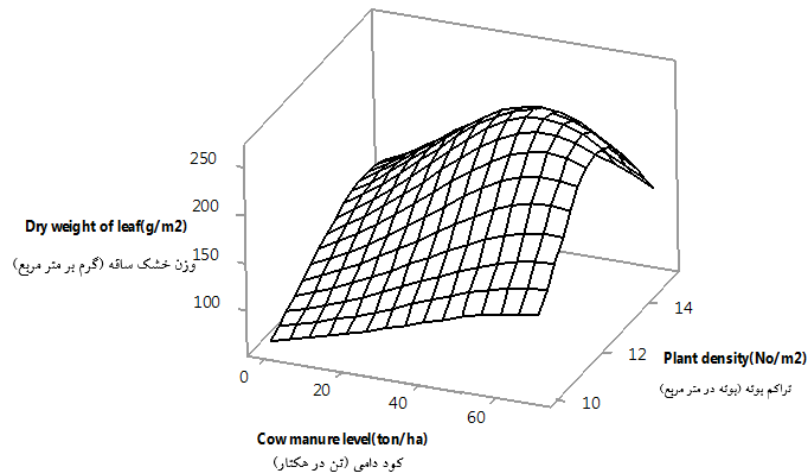


شکل ۷- معادله خط رگرسیون مقادیر پیش‌بینی شده (Pi) و مشاهده شده (Oi) در مورد وزن خشک برگ نعناع فلفلی و درصد RMSE بر اساس مدل رگرسیون درجه دوم کامل.

Figure 7- Equation of the regression line for predicted (Pi) and observed (Oi) values of leaf dried weight of peppermint and RMSE percent based on full degree regression model.

تغییرات وزن تر برگ بود (شکل ۶). به عبارت دیگر، افزایش تراکم و کود دامی تا حد معینی (به ترتیب حدود ۱۲/۵ بوته در متر مربع و ۵۵ تن در هکتار) سبب افزایش وزن خشک برگ شد و در تراکم‌های بالاتر از ۱۵ بوته در متر مربع و مصرف سطوح بالا بر کود دامی از ۷۰ تن در هکتار کاهش وزن خشک برگ نعناع فلفلی مشاهده شد (شکل ۸).

بیش‌ترین مقدار مشاهده شده وزن خشک برگ نعناع فلفلی با ۴۹۳/۲ گرم بر متر مربع برای تراکم ۱۲/۵ بوته در متر مربع و ۳۵ تن کود دامی در هکتار و بالاترین مقدار پیش‌بینی شده با ۲۵۴/۲ گرم بر متر مربع برای تراکم ۱۲/۵ بوته در متر مربع و ۷۰ تن کود دامی در هکتار به‌دست آمد (شکل‌های ۷، ۸). بر اساس نتایج سطح- پاسخ تغییرات وزن خشک برگ در پاسخ به تراکم بوته و مصرف کود دامی، مشابه با



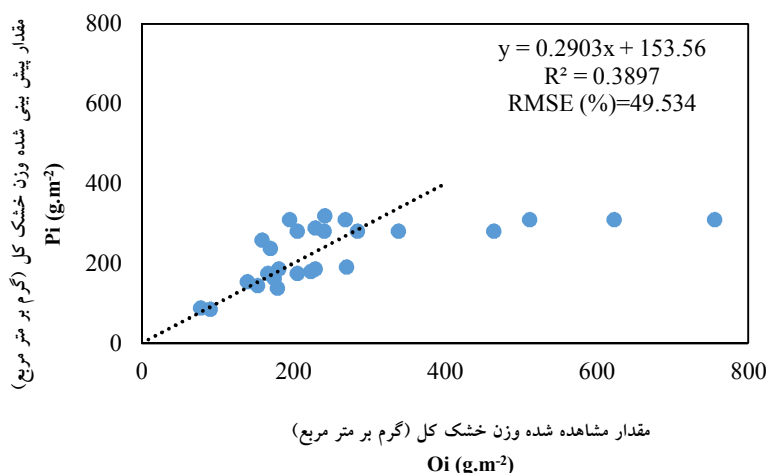
شکل ۸- مدل سطح- پاسخ وزن خشک برگ نعناع فلفلی تحت تأثیر سطوح تراکم بوته و کود دامی.
Figure 8- Response - surface model for leaf dried weight of peppermint affected as plant density and cow manure.

عناصر تأثیرگذار در ساختار ماکرومولکول‌هایی هم‌چون پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه و اسیدهای نوکلئیک نسبت داد که از طریق افزایش رشد اندام‌های رویشی بهبود عملکرد را موجب شده است.

وزن خشک کل: نمودار رگرسیون خطی مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده در مورد وزن خشک ساقه گیاه نعناع فلفلی در شکل ۹ نشان داده شده است.

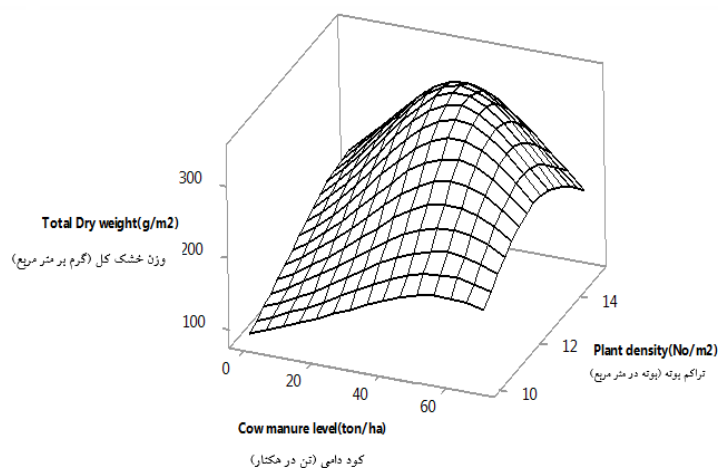
بیش‌ترین مقدار مشاهده شده وزن خشک کل نعناع فلفلی با ۷۵۵/۱۳ گرم بر متر مربع برای تراکم ۱۲/۵ بوته در متر مربع و ۳۵ تن کود دامی در هکتار و بالاترین مقدار پیش‌بینی شده با ۳۱۹/۹ گرم بر مترمربع برای تراکم ۱۵ بوته در مترمربع و ۳۵ تن کود دامی در هکتار به‌دست آمد (شکل‌های ۹ و ۱۰). افزایش تراکم و کود دامی تا حد متوسط (به‌ترتیب ۱۲/۵ بوته در مترمربع و ۵۵ تن در هکتار) بر میزان تجمع ماده خشک تأثیر مثبت داشت و در مقادیر بالاتر احتمالاً به دلیل تشدید رقابت درون گونه‌ای روند کاهش وزن ماده خشک کل گیاه مشاهده شد (شکل ۱۰).

برگ‌ها مهم‌ترین اندام‌های فتوسنتزکننده هستند، استفاده از کودهای آلی با فراهمی عناصر غذایی باعث تحریک رشد اندام‌های رویشی و به تبع آن افزایش سطح برگ و افزایش فتوسنتز می‌شود (۲۸). در طول دوره رشدی گیاهان کاربرد عناصر غذایی مانند مصرف کودهای دامی که حاوی عناصر ریزمغذی مناسب است، سبب افزایش عملکرد برگ شد (۲۹) که این امر می‌تواند به دلیل بهبود عملکرد اندام‌های فتوسنتزکننده، افزایش عملکرد اقتصادی این گیاه را به دنبال داشته باشد. با افزایش مصرف کود دامی، عملکرد ماده خشک برگ و ساقه در واحد سطح افزایش یافت. بر اساس بسیاری از یافته‌ها در توافق با نتایج این مطالعه، مشخص شد که مصرف کود دامی افزایش تعداد و سطح برگ در گیاه دارویی نعناع فلفلی را موجب می‌شود (۱۷). دلایل اثر مثبت مصرف کود دامی بر بهبود رشد اندام‌های رویشی را می‌توان به نقش مثبت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف موجود در کود دامی هم‌چون نیتروژن (۱۷)، منیزیم و آهن موثر در فرآیند فتوسنتز از طریق شرکت در ساختار کلروفیل و همچنین، تولید کربوهیدرات‌های لازم جهت سوخت و ساز و تحریک رشد و نقش این



شکل ۹- معادله خط رگرسیون مقادیر پیش‌بینی شده (Pi) و مشاهده شده (Oi) در مورد وزن خشک کل نعنای فلفلی و درصد RMSE بر اساس مدل رگرسیون درجه دوم کامل.

Figure 9- Equation of the regression line for predicted (Pi) and observed (Oi) values of total dried weight of peppermint and RMSE percent based on full degree regression model.



شکل ۱۰- سطح - پاسخ - سطح وزن خشک کل نعنای فلفلی تحت تأثیر سطوح تراکم بوته و کود دامی.

Figure 10- Response - surface model for total dried weight of peppermint affected as plant density and cow manure.

ایوبی و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مقایسه اثر انواع کمپوست‌های آلی بر خصوصیات کیفی و کمی نعنای فلفلی اظهار داشتند که بالاترین عملکرد اسانس برای تیمار ورمی‌کمپوست مشاهده شد (۵). شفر و همکاران (۱۹۹۳) افزایش میزان زیست‌توده تولیدی در اثر مصرف کودهای آلی در گیاه دارویی بومادران (*Achillea millefolium*) را گزارش نمودند (۳۱). مطالعات نشان داده است که عملکرد ماده خشک با تراکم بوته رابطه‌ای تنگاتنگ دارد (۳۳). به طوری‌که

وزن خشک بوته نشان‌دهنده وضعیت رشدی گیاه است که بهبود این شاخص موفقیت بیشتر گیاه را در فرآیند فتوسنتز و دست‌یابی به عملکرد بالاتر مشخص می‌نماید. تحقیقات نشان داده است که مصرف کودهای مختلف به‌ویژه کودهای آلی از طریق افزایش سطح برگ، فراهمی شرایط برای دریافت انرژی خورشیدی و نیز شرکت در ساختار آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربن، موجب افزایش بازده فتوسنتزی و عملکرد اسانس در گیاهان خانواده نعنای می‌گردد (۱).

basilicum به دلیل کاهش تعداد شاخه جانبی، سبب افت عملکرد اندام‌های هوایی شد (۱۴).
عملکرد کمی و درصد اسانس نعنای فلفلی تحت تأثیر تراکم بوته و کود دامی: منظور از عملکرد کمی (اقتصادی) مجموع عملکرد برگ و سرشاخه‌های گیاه دارویی نعنای فلفلی می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دوم کامل برای متغیرهای وابسته شامل عملکرد کمی اندام‌های رویشی و درصد اسانس در چین‌های اول و دوم نعنای فلفلی در جدول ۵ ارائه شده است.

افزایش تراکم به علت افزایش تعداد بوته در واحد سطح شرایط بهینه‌ای را برای حصول پوشش گیاهی و به تبع آن جذب نور بیشتر و دستیابی به حداکثر راندمان فتوسنتزی فراهم می‌نماید، اما احتمالاً در تراکم‌های بالا رقابت درون گونه‌ای برای جذب نور، آب و مواد غذایی افزایش یافته و اثر منفی افزایش تراکم در گیاه با کاهش تعداد شاخه‌های جانبی و به تبع آن افت عملکرد ماده خشک مشاهده می‌شود. در همین راستا الژندی و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش کردند که افزایش تراکم در گیاه ریحان (*Ocimum*

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل رگرسیونی درجه دوم کامل روی اثر تراکم و کود دامی بر عملکرد کمی و درصد اسانس نعنای فلفلی در دو چین.

Table 5- Analysis of variance (mean squares) of complete quadratic regression model for the effects of density and cow manure on biomass yield and essential oil percentage of peppermint in two cuttings.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	چین اول The first cutting		چین دوم The second cutting	
		درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد زیست توده Biomass yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد زیست توده Biomass yield
مدل Model	6	0.028 ^{ns}	0.0001 ^{**}	0.004 ^{ns}	9140.8 ^{**}
تکرار Replication	1	0.102 [*]	0.001 ^{**}	0.004 ^{ns}	5455.8 ^{ns}
خطی: Linear:	2	0.019 ^{ns}	0.0001 ^{**}	0.008 ^{**}	11778.2 ^{ns}
تراکم Density (D)	1	0.033 ^{ns}	0.001 ^{**}	0.002 ^{ns}	10964.4 ^{ns}
کود دامی Cow manure (M)	1	0.006 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.014 [*]	12591.9 ^{ns}
درجه ۲: Square:	2	0.013 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	12854.8 ^{**}
تراکم×تراکم D×D	1	0.023 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.003 ^{ns}	25287.0 ^{**}
کود دامی×کود دامی M×M	1	0.000001 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	6334.1 ^{ns}
اثر متقابل: Interaction:	1	0.001 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.002 ^{ns}	123.2 ^{ns}
تراکم×کود دامی D×M	1	0.001 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.002 ^{ns}	123.2 ^{ns}
خطا: Error:	19	0.023	0.000	0.002	1815.8
عدم برازش Lack of fit	11	0.026 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.002 ^{ns}	1081.3 ^{ns}
خطای خالص Pure error	8	0.020	0.000	0.001	2825.6
میانگین جذر مربعات خطا RMSE (%)		13.429	25.194	10.631	11.245
کل Total	25	-	-	-	-

ns, * and **: به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشند.

ns, * and **: represent non-significant and significant at 1% probability levels, respectively.

اول و دوم معنی‌دار نبود (جدول ۵) که نشان‌دهنده برآزش مطلوب مدل رگرسیون درجه دوم کامل می‌باشد.

آنالیز رگرسیون و ضریب تبیین برای برآزش روابط بین متغیرهای مستقل کود دامی و تراکم بوته با متغیرهای وابسته شامل درصد اسانس و عملکرد زیست‌توده در چین‌های اول و دوم در جدول ۶ ارائه شده و نمودارهای سطح-پاسخ این متغیرهای وابسته نیز بر اساس این ضرایب ترسیم شده است.

نتایج نشان داد که اثر جزء خطی تنها بر عملکرد زیست‌توده در چین اول و درصد اسانس در چین دوم معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود. اثر جزء درجه دوم تنها بر عملکرد زیست‌توده در چین دوم معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۵). اثر متقابل کود دامی و تراکم بوته بر هیچ یک از صفات مربوط به عملکرد کمی و درصد اسانس در چین‌های اول و دوم معنی‌دار نبود (جدول ۵). آزمون عدم برآزش در مورد هیچ کدام از صفات مربوط به عملکرد کمی و درصد اسانس در چین‌های

جدول ۶- ضرایب رگرسیون و تبیین برای مدل درجه دوم کامل در مورد عملکرد زیست‌توده و درصد اسانس نعنای فلفلی در چین‌های اول و دوم.

Table 6- Regression and R^2 coefficients for full quadratic model on biomass yield and essential oil percentage of peppermint in first and second cuttings.

چین‌ها Cuttings	صفات Traits	R^2	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0
اول The first	عملکرد زیست‌توده Biomass yield	63	-0.000048	0.000320	-0.000006	-0.0057	0.001389	-0.073
	درصد اسانس Essential oil percentage	27	0.000142	0.0006	-0.000053	-0.011	0.00347	0.52
دوم The second	عملکرد کمی Biomass yield	61	0.045	5.42	-0.0552	-150.0	4.17	1270
	درصد اسانس Essential oil percentage	37	-0.000207	-0.00076	0.000020	0.0126	0.00078	-0.431

افزایش دهد (۳۲). با توجه به اینکه برگ‌ها اصلی‌ترین اندام‌های فتوسنتزی هستند، فراهمی عناصر غذایی سبب افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش سرعت فتوسنتز می‌شوند (۱۰). علاوه بر این، با افزایش مصرف کود دامی، تولید آسیمیلات‌ها و همچنین جذب آب در گیاه افزایش می‌یابد، همچنین رشد و نمو تاج پوشش گیاهی سرعت بیش‌تری پیدا کرده که افزایش وزن خشک و به تبع آن بهبود عملکرد اقتصادی را به دنبال دارد (۴، ۳۴).

بهینه‌سازی: بهینه‌سازی مقادیر عوامل مستقل تراکم بوته و کود دامی برای صفات رویشی و درصد اسانس گیاه دارویی نعنای فلفلی در جدول ۷ ارائه شده است.

نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل درجه دوم کامل بین $27/36$ تا $36/86$ درصد تغییرات درصد اسانس و بین $61/39$ تا $63/06$ درصد تغییرات عملکرد کمی زیست‌توده را در چین‌های اول و دوم توصیف نمود (جدول ۶). از آنجا که نیتروژن یکی از عناصر غذایی اصلی و مؤثر بر فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و در نتیجه میزان اسانس گیاهان دارویی است، لذا هر عامل مدیریتی که باعث افزایش نسبی فراهمی نیتروژن برای گیاه گردد، در نهایت، منجر به افزایش اسانس می‌شود (۳۲)، در این راستا گزارش شده است که نیتروژن می‌تواند تولید آلکالوئیدها، ترپن‌ها و سایر اجزای تشکیل‌دهنده اسانس را با تحریک آنزیم‌های مؤثر بر بیوسنتز این ترکیبات در گیاهان دارویی

جدول ۷- بهینه‌سازی تراکم بوته و مقدار مصرف کود دامی برای عملکرد عملکرد زیست‌توده و درصد اسانس نعناع فلفلی.

Table 7- Optimization of plant density and cow manure for biomass yield and essential oil percentage of peppermint.

صفات Characteristics	کود دامی (تن در هکتار) Cow manure (t.ha ⁻¹)	تراکم بوته (بوته در مترمربع) Plant density (No.m ⁻²)	d*
عملکرد اندام‌های هوایی Biomass yield	23	10	0.94
عملکرد زیست‌توده و درصد اسانس Biomass yield and essential oil percentage	49	10	0.96
مجموع Total	۳۱	۱۰	0.90

d: نشان‌دهنده درجه مطلوبیت بهینه‌سازی بوده و دامنه آن بین ۰-۱ می‌باشد.

d: indicates desirability of optimization and its range is between zero to 1.

مختلف محسوب می‌شود، لیکن هزینه‌های زیاد مصرف کود، آلودگی‌های زیست‌محیطی و تخریب محیط زیست و خاک، نگران‌کننده است. نتایج این مطالعه روی بهینه‌سازی میزان مصرف کود دامی و تراکم بوته در گیاه دارویی نعناع فلفلی با استفاده از مدل‌سازی سطح-پاسخ، حاکی از تأثیر معنی‌دار این متغیرهای مستقل بر عملکرد زیست‌توده و اسانس این گیاه دارویی در سال اول بود؛ اثر جزء خطی و درجه دوم بر تمام صفات رویشی مورد مطالعه در چین‌های اول و دوم معنی‌دار بود. اثر متقابل کود دامی و تراکم بوته تنها بر صفات رویشی در چین دوم نمونه‌برداری معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد اندام‌های رویشی مشاهده شده و پیش‌بینی شده به ترتیب برای تراکم ۱۲/۵ بوته در مربع و ۳۵ تن کود دامی در هکتار (۷۵۵۱۳ گرم در مترمربع) و تراکم ۱۵ بوته در مربع و ۳۵ تن کود دامی در هکتار (۳۱۹۹۲ گرم در مترمربع) به‌دست آمد. همچنین، عملکرد اندام‌های رویشی در چین دوم بالاتر از چین اول بود. مقدار بهینه تراکم بوته و کود دامی و درجه مطلوبیت برای عملکرد زیست‌توده به ترتیب با ۱۰ بوته در مترمربع و ۲۳ تن در هکتار و $d=0.94$ برای عملکرد زیست‌توده و درصد اسانس، برابر با ۱۰ بوته در مترمربع و ۴۹ تن در هکتار و $d=0.96$ محاسبه گردید. به‌طورکلی، با توجه به میزان و مدت تابش نور خورشیدی در

بهینه‌سازی صفات رویشی شامل وزن تر ساقه، وزن تر برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ و وزن خشک کل بوته گیاه دارویی نعناع فلفلی تحت تأثیر متغیرهای تراکم بوته و کود دامی انجام و مقادیر بهینه برابر با ۱۰ بوته در مترمربع و ۲۳ تن کود دامی در هکتار و درجه مطلوبیت (d) ۰/۹۴ محاسبه شد. بر مبنای نتایج بهینه‌سازی، عملکرد زیست‌توده و درصد اسانس نعناع فلفلی، حد بهینه این دو متغیر مستقل به ترتیب معادل ۱۰ بوته در مترمربع و ۴۹ تن کود دامی در هکتار با درجه مطلوبیت (d) ۰/۹۶ محاسبه شد. از آنجا که در نتایج ارائه شده سطوح بهینه متغیرهای مستقل صفات رویشی و درصد اسانس متفاوت می‌باشد، لذا نیاز به انجام مطالعات بیش‌تر در درازمدت تحت تأثیر شرایط مختلف آب و هوایی همراه با آنالیز کیفی اجزای اسانس گیاه دارویی در این زمینه می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

امروزه استفاده از سیستم‌های زراعی و اکولوژیک و به‌کارگیری شیوه‌های نوین مدیریت در بهره‌برداری با کارایی بالا از منابع به منظور دست‌یابی به اهداف کشاورزی پایدار اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. هر چند استفاده از کودهای معدنی ظاهراً سریع‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای تأمین نیازهای غذایی گیاهان

سایر گیاهان دارویی در جهت رفع نیازهای صنایع داروسازی داخلی، صادرات این گیاهان در راستای تحقق اهداف اقتصاد مقاومتی و افزایش ارزآوری برای کشور گام برداشت.

شرایط آب و هوایی ایران و نقش بسزای این عامل در تولید محصول نعنای فلفلی با کیفیت بالا به واسطه مصرف مناسب نهاده کود دامی، می‌توان با انتخاب تراکم مطلوب همراه با مصرف بهینه سایر نهاده‌های آن، به منظور گسترش سطح زیر کشت این گیاه و

References

1. Arabaci, O., and Bayram, E. 2004. The effect of nitrogen fertilization and different plant densities on some agronomic and technologic characteristic of basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Agron.* 3: 4. 255-256.
2. Arun, K.S. 2002. A handbook of organic farming publication. Agrobios, India.
3. Aslan, N. 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a multi-gravity separator for chromite concentration. *Powder Technol.* 86: 769-776.
4. Awad, A.E., and Kamel, A.E. 2009. Effect of spacing treatments on the growth and oil yield of *Majorana hortensis*, Zagazing. *Agric. Res.* 4: 3. 109-120.
5. Ayyobi, H., Olfati, J.A., and Peyvast, G.A. 2014. The effects of cow manure vermicompost and municipal solid waste compost on peppermint (*Mentha piperita* L.) in Torbat-e-Jam and Rasht regions of Iran. *Int. J. Recy. Org. Waste Agric.* 3: 4. 147-153.
6. Badlizadeh, A., Rafiei al-Hosseini, M., Danesh Shahraki, A.R., and Ghobadina, M. 2016. Effect of dehydration and different levels of manure, chemical and synthetic fertilizers on yield and some agromorphological traits of medicinal herb. *J. Agric. Res.* 18: 1. 141-156. (In Persian)
7. Box, G.E.P., and Hunter, J.S. 1957. Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. *Inst. Math. Stat.* 195-241.
8. Brussard, L., and Ferrera-Cenato, R. 1997. *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems.* New York: Lewis Publishers, U.S.A, 168 p.
9. De La Luz, L., Fiallo, V., and Ferrada, C.R. 2002. Effect of plant density levels and harvesting management on quality of essential oil in peppermint cultivars. *Indian Perf.* 33: 3. 182-196.
10. Dears, S.G., and Ritchie, G. 2010. Antimicrobial properties of plant essential oils. *Int. J. Microbiol.* 5: 165-180.
11. Deng, J., Ran, J., Wang, Z., Fan, Z., Wang, G., Ji, M., Liu, J., Wang, Y., Liu, J., and Brown, J.H. 2012. Models and tests of optimal density and maximal yield for crop plants. *PNAS.* 109: 39. 15823-15828.
12. Drazic, S., and Pavlovic, S. 2005. Effect of vegetation space on productive traits of peppermint (*Mentha piperita* L.). *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 76: 1. 52-54.
13. Dursun, A., Guvenc, I., and Turan, M. 2002. Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant. *Acta Agrobot.* 56: 2. 81-88.
14. El-Gendy, H. 2001. Sweet basil productivity under different organic fertilization and interplant spacing levels in a newly reclaimed land in Egypt. *Herba Pol.* 52: 22-30.
15. Gezahegn, A.M., Tesfaye, K., Sharma, J.J., and Bebel, M.D. 2016. Determination of optimum plant density for faba bean (*Vicia faba* L.) on vertisols at Haramaya, Eastern Ethiopia. *Soil Crop Sci.* 2: 1224485.
16. Hashemi, D.A., and Herbert, S.J. 1992. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. *Agron. J.* 84: 547-551.

17. Hornok, L. 2006. Effect of different rate of nitrogen on *Mentha piperita* L. Agric. Res. 55: 5. 119-130.
18. Izadi, Z., Ahmadvand, G., Esna-Ashari, M., and Piri, K. 2007. Effect of nitrogen and plant density on dry matter yield and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L.) Agric. Res. (Water, Soil Plant Agric.) 7: 4. 211-224. (In Persian)
19. Kamkar, B., and Mahdavi Damghani, A.M. 2008. Principles of Sustainable Agriculture. Publications University of Mashhad. (In Persian)
20. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Hooshmand, M., and Benhangi, F. 2006. Effect levels different com manure and plant density of yield and grain yield components, leaf of indigo. J. Crop Prod. Res. 23: 4. 117-143. (In Persian).
21. Kumar, A., Samarth, R.M., and Yasmeen, S. 2004. Anticancer and radioprotective potentials of *Mentha piperita* L. BioFactors. 22: 1-4. 87-91.
22. Latifi, H. 2017. Optimization of nitrogen fertilizer and plant density in sesame cultivation using central composite design. Master Thesis in Agroecology. School of Agriculture. Department of Agriculture and Plant Breeding. Mashhad Ferdowsi University. (In Persian)
23. Lewis, K. 1998. Peppermint and spearmint. The Oxford Review, P 1-6.
24. Mansoori, H., Banayan avall, M., Rezvani Moghaddam, P., and Lakziyan, A. 2014. Management of nitrogen fertilization, irrigation and planting density in Iranian shallot medicinal plant using central combined optimization method. Agric. Knowl. Sustain. Prod. 41: 24-60. (In Persian)
25. Mansouri, A.D. 2014 a. Investigation of planting distance and foliar application of micronutrients on yield and some morphological traits of peppermint. J. Agric. Agron. 16: 1. 43-54. (In Persian)
26. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Beheshti, A. 2001. Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Publications. (In Persian)
27. NassiriMahallati, M., Koocheki, A., Amin Ghafouri, A., and Mahluji Rad, M. 2015. Optimizing corm size and density in saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation by central composite design. J. Saffron Agron. Technol 3: 3. 161-177. (In Persian)
28. Niakan, M., Khavarinejhad, R., and Rezai, M.B. 2004. Effect of different ratios of three fertilizers N, P and K on vegetative traits of peppermint. Iran. J. Med. Aromat. Plant. 20: 2. 131-148. (In Persian)
29. Omidbigi, R. 2005. Production and Processing Approaches of Medicinal Plants. Volume One, Thought Publications, 215 p. (In Persian)
30. Rezainejhad, Y., and Afuni, M. 2000. Effect of organic matter on soil chemical properties, elements absorption by Maize and its yield. J. Agric. Sci. Technol. 4: 19-27.
31. Scheffer, M.C., Ronzelli Junior, P., and Koehler, H.S. 1993. Influence of organic fertilization on the biomass, yield and composition of the essential oil of *Achillea millefolium* L. Acta Hort. 331: 109-114.
32. Singh, M., Singh, A., Singh, S., Tripathi, R.S., Singh, A.K., and Patra, D.D. 2010. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. Ind. Crop Prod. 31: 289-293.
33. Tharp, B.E., and Kells, J. 2001. Effect of glufosinate-resistant corn (*Zea mays* L.) population and row spacing on light interception, corn yield, and common lambsquarters (*Chenopodium album* L.) growth. Weed Technol. 15:413-418.
34. Weeden, B.R. 2000. Potential of sugar beet, atherton Table and rural industries research and development corporation. Barton, A.C.T.: RIRDC, c 2000, Publish, No. 167.
35. Wu, C.F.J., and Hamada, M. 2000. Experiments: Planning, Analysis and Parameter Design Optimization. New York, NY: Wiley.