



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد بیست و پنجم، شماره سوم، ۱۳۹۷

<http://jopp.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jopp.2018.14248.2276

اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن کنگد با استفاده از طرح مرکب مرکزی

هدا لطیفی^۱، * سرور خرم‌دل^۲، مهدی نصیری‌محلاتی^۳ و محمودرضا فرزانه‌بلگردی^۴

^۱ دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، آدانشیار گروه آگروتکنولوژی،

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

^۴ کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۸/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۹

چکیده

سابقه و هدف: کنگد با نام علمی *Sesamum indicum* L. به دلیل محتوی بالای روغن در دانه (۶۰-۵۰ درصد) به عنوان پادشاه گیاهان دانه روغنی شناخته شده است. نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی در بوم‌نظام‌های کشاورزی محسوب می‌شود. کاربرد بیش از حد این عنصر باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن می‌شود. بهینه‌سازی نیتروژن و تراکم بوته یکی از راهکارهای مدیریتی برای حفاظت از منابع طبیعی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی محسوب می‌باشد. مدل سطح پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از روش‌های آماری مورد استفاده برای بهینه‌سازی نهاده‌های تولید به‌شمار می‌آید. RSM یک روش آماری برای بهینه‌سازی چند عامل است که با استفاده از ترکیب طرح‌های آزمایشی، شرایط بهینه عوامل تولید را تعیین می‌کند. در این مطالعه، اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن کنگد با استفاده از طرح مرکب مرکزی (CCD) برای مدل سطح پاسخ بررسی شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش با استفاده از طرح مرکب مرکزی با ۱۳ تیمار و ۲ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. تیمارها بر اساس سطح پایین و بالای تراکم بوته (به ترتیب با ۱۰ و ۴۰ بوته در مترمربع) و نیتروژن (به ترتیب با صفر و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) تعیین شدند. عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، کارایی جذب نیتروژن، کارایی تبدیل نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن به عنوان متغیر وابسته مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند و تغییرات این متغیرها با استفاده از یک مدل رگرسیونی ارزیابی شد. به منظور بررسی کیفیت مدل برازش شده، از آزمون عدم برازش استفاده شد. بسندگی مدل با استفاده از تجزیه واریانس مورد ارزیابی قرار گرفت. به طور کلی، معادله چندجمله‌ای درجه دوم کامل برای تعیین معنی‌داری مدل و اجزای مدل (خطی، درجه دو و اثر متقابل) مورد بررسی قرار گرفت. کیفیت مدل برازش شده با استفاده از ضریب تبیین (R^2) ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثر جزء خطی بر تمام صفات مورد مطالعه به جز کارایی تبدیل نیتروژن معنی‌دار بود. اثر جزء درجه دو کامل تمام صفات را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. اثر متقابل کود نیتروژن و تراکم بوته تنها بر کارایی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود. آزمون عدم برازش در مورد هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشد که این امر نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیونی

* مسئول مکاتبه: khorrandel@um.ac.ir

درجه دو کامل بود. بیش‌ترین عملکرد دانه مشاهده شده و پیش‌بینی شده به ترتیب برای تراکم ۲۵ بوته در مترمربع و ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار (۱۳۲۱ کیلوگرم در هکتار) و تراکم ۲۵ بوته در مترمربع و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار (۱۲۷۲ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب به دست آمد. بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن مشاهده شده و پیش‌بینی شده ۱۱/۴۱ و ۱۱/۲۸ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع و عدم مصرف نیتروژن محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: شیب عملکرد دانه با افزایش تراکم تا ۲۵ بوته در مترمربع افزایش یافت. با افزایش مصرف نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت. بهینه‌سازی میزان مصرف منابع شامل کود نیتروژن و تراکم بوته با استفاده از طرح مرکب مرکزی می‌تواند به‌عنوان راهکاری مطلوب در تولید پایدار کتجد مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آزمون عدم برازش، بهینه‌سازی، ضریب تبیین، طرح مرکب مرکزی، مدل سطح پاسخ

مقدمه

جهت تعیین حد بهینه عوامل کنترل‌کننده رشد، استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی ریاضی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. به عبارت دیگر، جهت بهینه‌سازی^۱ عوامل مؤثر بر تولید، استفاده از مدل‌ها و روابط رگرسیونی، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد (۳). به منظور دستیابی به عملکرد قابل قبول و کاهش هم‌زمان آلودگی‌های زیست‌محیطی، نهاده‌های مورد استفاده باید با توجه به عملکرد مورد انتظار به صورت بهینه مصرف شوند. یکی از روش‌های آماری برای حصول مقادیر بهینه نهاده‌ها، استفاده از روش سطح پاسخ^۲ می‌باشد (۶ و ۳۱).

مدل سطح پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از روش‌های آماری مورد استفاده برای بهینه‌سازی نهاده‌های تولید به‌شمار می‌آید (۱۰ و ۴۷). مدل سطح پاسخ یک روش آماری برای بهینه‌سازی چند عامل است که با استفاده از ترکیب طرح‌های آزمایشی شرایط بهینه عوامل تولید را تعیین می‌کند (۱۶). روش سطح پاسخ ابزاری قدرتمند برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی منابع می‌باشد که می‌تواند با کاهش تعداد آزمایشات و تعداد تکرارهای آزمایش منجر به کاهش هزینه، زمان و

افزایش هم‌زمان اطلاعات استخراج شده گردد (۱۴ و ۲۵).

طرح مرکب مرکزی^۳ یکی از انواع طرح‌های آماری مورد استفاده برای مدل‌سازی سطح پاسخ است که به‌عنوان جایگزینی مناسب برای آزمایش‌های فاکتوریل محسوب می‌شود. این طرح توسط باکس و ویلسون (۱۹۵۱) مطرح و توسط باکس و هانتز (۱۹۵۷) تکمیل گردید (۹ و ۱۰). با استفاده از طرح مرکب مرکزی می‌توان حداکثر اطلاعات را با استفاده از کم‌ترین اجرا از طریق توزیع نقاط آزمایشی در محدوده مورد نظر استخراج کرد (۳۴). کوچکی و همکاران (۱۳۹۵) با برآورد مقادیر بهینه کود نیتروژن (صفر و ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار) و آبیاری (۲۵۰۰ و ۵۰۰۰ مترمکعب) در زراعت گندم^۴ در قالب طرح مرکب مرکزی بیان نمودند که افزایش مصرف کود نیتروژن و آبیاری اثر مثبتی بر افزایش عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و کارایی مصرف آب داشت ولی، افزایش آبیاری منجر به کاهش کارایی مصرف نیتروژن و افزایش تلفات نیتروژن گردید (۲۸).

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و تغییر در الگوی غذایی جوامع، مصرف روغن‌های گیاهی نیز در

3- Central Composite Design

4- *Triticum aestivum*

1- Optimization

2- Response-Surface Methodology

زیست توده می‌باشد (۴۱)، درک صحیح سازوکارهای مؤثر بر تنظیم کارایی نیتروژن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش تولید در واحد سطح داشته باشد. علاوه بر این، آگاهی از واکنش گیاهان براساس شرایط محیطی به سطوح و یا منابع تأمین‌کننده این عنصر ضروری می‌باشد (۲۶). در آزمایش جویبان و همکاران (۲۰۱۱) در کنگد گزارش شد که بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن (۵/۴۶ کیلوگرم بذر بر کیلوگرم نیتروژن) در سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد که ۸۷/۶ درصد بیش‌تر از کارایی مصرف نیتروژن در سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۲/۹۱ کیلوگرم بذر بر کیلوگرم نیتروژن) بود (۲۴).

یکی دیگر از عوامل مهم و تعیین‌کننده در عملکرد گیاهان زراعی تراکم بوته در واحد سطح است چرا که در تراکم‌های بیش از تراکم مطلوب، بروز رقابت درون‌گونه‌ای باعث کاهش عملکرد شده و در تراکم‌های کم‌تر از حد مطلوب، از امکانات محیطی اعم از نور، فضا، آب و خاک به نحو مطلوب استفاده نشده که در نهایت، سبب کاهش عملکرد می‌گردد (۳۵). بین تراکم بوته و تعداد کپسول در واحد سطح در گیاه کنگد همبستگی مثبت و معنی‌داری گزارش شده است (۱۳). کاراسان و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی فاصله ردیف‌های مختلف کنگد گزارش کردند که با کاهش فاصله ردیف، عملکرد دانه افزایش ولی تعداد کپسول در بوته کاهش یافت (۲۷). نورکا و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که با کاهش فاصله بین بوته‌ها از ۲۰ به ۱۵ و ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع بوته، ارتفاع نخستین شاخه کپسول‌دار و عملکرد دانه و روغن افزایش یافت (۳۸).

هدف از اجرای این پژوهش تعیین میزان بهینه کود نیتروژن، تراکم بهینه کنگد و اثر متقابل این عوامل جهت حصول بالاترین میزان عملکرد دانه و

حال افزایش است بنابراین، با توجه به این‌که تقریباً بیش از نود درصد از روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات تأمین می‌گردد، افزایش تولید و بهبود کیفیت دانه‌های روغنی در داخل کشور بسیار دارای اهمیت می‌باشد (۳۶). کنگد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) به دلیل محتوی بالای روغن در دانه (۶۰-۵۰ درصد) به عنوان پادشاه گیاهان دانه روغنی شناخته شده است. دانه‌ها و روغن کنگد بیش از ۶۰۰۰ سال است به عنوان یک منبع غذایی مهم استفاده می‌شود. دانه‌های کنگد حاوی آنتی‌اکسیدان‌هایی چون سسامین^۱ و سسامولین^۲ می‌باشند. این ترکیبات در دیگر دانه‌های روغنی خوراکی یافت نمی‌شوند (۲۳ و ۴۶).

کودهای شیمیایی اگرچه ممکن است باعث افزایش تولید و عملکرد شوند (۱۹) ولی، بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی، آبشویی نیتروژن، تخریب ساختمان خاک، کاهش تنوع زیستی و اختلال در کارکردهای بوم‌سازگان را نیز به دنبال دارند (۱ و ۴۴). مدیریت صحیح کودهای حاوی نیتروژن به منظور بهبود کارایی مصرف این عنصر می‌تواند افزایش بهره‌وری بوم‌نظام‌های زراعی را امکان‌پذیر سازد (۴).

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی در کشت بوم‌های تولید گیاهی محسوب می‌شود (۳۳). کاربرد بیش از حد این عنصر باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن می‌شود. گزارش شده که کم‌تر از ۳۳ درصد نیتروژن مصرفی توسط گیاه جذب می‌شود، در حالی که باقی‌مانده از دسترس خارج شده و باعث تشدید بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (۴۳). از آنجایی که کارایی مصرف نیتروژن نشان‌دهنده بازدهی گیاه در تبدیل نیتروژن قابل دسترس در خاک به عملکرد دانه و یا

1- Sesamin
2- Sesamol

مرکب مرکزی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۶ و ۹).

$$t = 2^k + 2k + r \quad (1)$$

که در آن، k نشان‌دهنده تعداد عامل و r تعداد تکرار تیمار در سطح میانگین می‌باشد. بر این اساس، ترکیب تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پائین تراکم (۱۰ و ۴۰ بوته در مترمربع) و سطوح بالا و پائین کود اوره (۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار) تعیین شد (جدول ۱).

بهبود شاخص‌های کارایی نیتروژن با استفاده از طرح مرکب مرکزی در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا با دو تکرار اجرا شد. تعداد تیمارهای طراحی شده در طرح

جدول ۱- ضرایب و مقادیر تیمارها بر اساس طرح مرکب مرکزی.

Table 1. Coefficients and rates for treatments based on central composite design.

تیمارها Treatments		ضرایب* Coefficients*		Runs
سطح کود اوره Urea fertilizer rate (kg. ha ⁻¹)	تراکم بوته Plant density (No.m ⁻²)	X ₂	X ₁	
0	10	-1	-1	1
0	40	-1	+1	2
100	10	+1	-1	3
100	40	+1	+1	4
50	10	0	-1	5
50	40	0	+1	6
0	25	-1	0	7
100	25	+1	0	8
50	25	0	0	9
50	25	0	0	10
50	25	0	0	11
50	25	0	0	12
50	25	0	0	13

X₁ و X₂: به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل نیتروژن و تراکم بوته هستند.

X₁ and X₂: indicate independent variables of nitrogen and plant density, respectively.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد. نتایج آزمون خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

در مرحله آماده‌سازی زمین و پیش از کاشت، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به صورت تصادفی تهیه و جهت تعیین

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 2. Physical and chemical properties of soil.

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)
لوم سیلتی	7.92	0.58	0.62	0.058	29.2	186

۲ در هزار) در دو مرحله با فاصله یک هفته استفاده شد. برداشت محصول در مرحله رسیدگی کپسول‌ها و هم‌زمان با زرد شدن بوته‌ها در ۱۱ مهرماه انجام شد. پس از حذف حاشیه‌های نیم‌متری کرت‌ها، برداشت از سطح سه متر مربع (۱/۵×۲ متر) انتهای هر کرت انجام شد. در هنگام برداشت، در سطح مذکور همه بوته‌ها از محل طوقه توسط داس جدا شد. پس از خشک شدن بوته‌ها، دانه با استفاده از الک از کاه و کلش، کاملاً جدا و تمیز شد. دانه‌های برداشت شده به‌طور جداگانه با ترازوی دقیق توزین شدند. برای تعیین محتوی نیتروژن خاک و گیاه از دستگاه میکروکجلدال استفاده شد.

درصد بازیافت نیتروژن^۱ (NUpE) بر اساس نسبت بین عملکرد نیتروژن در گیاه (کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در هکتار) بر کل مقدار نیتروژن در خاک (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد (رابطه ۲) (۲۱).

$$NUpE = \frac{\text{plant N content}}{N_{\text{fertilizer}} + N_{\text{initial}}} \quad (2)$$

که در آن، plant N content نیتروژن اندام‌های هوایی (کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در هکتار)، $N_{\text{fertilizer}} + N_{\text{initial}}$ نیتروژن موجود در خاک در ابتدای فصل رشد (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) + نیتروژن مصرفی از طریق کود اوره (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) می‌باشد.

بذر کنگد مورد استفاده جهت کاشت قبل از شروع آزمایش از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه شد. بذر لاین شماره پنج، در گروه متوسط رس قرار دارد. این لاین، چند شاخه، کم کرک، بذر قهوه‌ای رنگ و محتوی روغن حدود ۴۹ درصد می‌باشد. پس از آماده‌سازی زمین، عملیات کاشت دستی در ۴ خردادماه ۱۳۹۵ در عمق ۲-۳ سانتی‌متری انجام شد. کود نیتروژن مصرفی (به‌صورت کود اوره با ۴۶ درصد نیتروژن) برای هر کرت و بر اساس جدول ۱ به سه قسمت مساوی تقسیم شد که یک سوم آن در زمان کاشت اعمال گردید. بخش دوم کود نیتروژن یک ماه پس از کاشت (در مرحله استقرار) و بخش سوم، دو ماه پس از کاشت (در مرحله گلدهی) توزیع شد.

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی تا پایان رشد محصول، به شیوه نشتی و با استفاده از سیفون به‌صورت هفتگی انجام شد. به‌منظور جلوگیری از اختلاط اثر تیمارهای کودی، انتهای کرت‌ها مسدود و آبیاری کرت‌ها به‌صورت جداگانه انجام شد. وجین علف‌های هرز از هفته سوم و به‌صورت مستمر و تا بسته شدن تاج‌پوشش گیاهی به‌صورت دستی انجام شد. برای حصول تراکم نهایی در هر کرت، تنک شدن در سه مرحله پس از استقرار بوته‌ها و حصول اطمینان از سبز شدن مناسب بوته‌ها انجام گردید. در مرحله تشکیل کپسول‌ها، آفت کرم غوزه مشاهده شد که برای جلوگیری از طغیان آفت، از مبارزه شیمیایی به‌صورت سم تیودی‌کارب (با نسبت

1- Nitrogen recovery

2- Nitrogen uptake efficiency

که در آن، Y متغیر وابسته (که پاسخ به عملکرد دانه، زیست‌توده و سایر صفات تحت بررسی بودند)، x_1 متغیر مستقل کود نیتروژن، x_2 متغیر مستقل تراکم و a_1 تا a_5 ضرایب معادله می‌باشند.

در نهایت، نتایج پیش‌بینی با داده‌های مشاهده شده مورد مقایسه قرار گرفتند و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از جذر میانگین مربعات خطا^۵ انجام شد (رابطه ۶).

$$RMSE (\%) = \frac{100}{O} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (6)$$

که در آن، \bar{O} میانگین مشاهدات، P_i مقادیر پیش‌بینی شده و O_i مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

RMSE به صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود و بر اساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی که RMSE کم‌تر از ۱۰ درصد باشد، عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد، خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد، متوسط و بالاتر از ۳۰ درصد، ضعیف برآورد می‌شود (۲۸).

جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Minitab ver.17 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل برای هر کدام از متغیرهای وابسته شامل عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن کنجد در جدول ۳ ارائه شده است.

کارایی تبدیل نیتروژن (NUeE)^۱ بر اساس نسبت بین عملکرد دانه (کیلوگرم دانه در هکتار) بر نیتروژن اندام‌های هوایی (کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در هکتار) محاسبه شد (رابطه ۳) (۱۲).

$$NUeE = \frac{Y_s}{\text{plant N content}} \quad (3)$$

که در آن، Y_s عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و plant N content نیتروژن اندام‌های هوایی (کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در هکتار) می‌باشد.

جهت محاسبه کارایی مصرف نیتروژن (NUE)^۲ از رابطه ۴ استفاده شد (۲۱).

$$NUE = \frac{Y_s}{N_{\text{fertilizer}} + N_{\text{initial}}} \quad (4)$$

که در آن، Y_s عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، $N_{\text{fertilizer}} + N_{\text{initial}}$ نیتروژن موجود در خاک در ابتدای فصل رشد (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) + نیتروژن مصرفی از طریق کود اوره (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) می‌باشد.

به‌منظور انتخاب مدل مناسب، مدل درجه دو کامل^۳ با اثرات متقابل بین عوامل برازش داده شد (رابطه ۵). سپس بر اساس معیارهای آماری تجزیه رگرسیون (مقادیر F ، P و R^2) و آزمون عدم برازش^۴ بهترین مدل انتخاب و از این مدل برای بهینه‌سازی استفاده گردید (۲۸ و ۲۹).

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1^2 + a_4x_2^2 + a_5x_1x_2 \quad (5)$$

- 1- Nitrogen utilization efficiency
- 2- Nitrogen use efficiency
- 3- Full quadratic regression
- 4- Lack of-fit

5- RMSE: Root mean square error

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل رگرسیونی درجه دو کامل.

Table 3. Variance analysis (mean of squares) of the full quadratic regression model.

کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	کارایی تبدیل نیتروژن Nitrogen utilization efficiency	بازیافت نیتروژن Nitrogen uptake efficiency	عملکرد زیست توده Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V.
8.7379**	1.17786**	543.43**	915263**	79835**	6	مدل Model
0.0042 ^{ns}	0.06036 ^{ns}	0.46 ^{ns}	66 ^{ns}	1100 ^{ns}	1	تکرار Replication
21.6181**	0.41058 ^{ns}	1153.81**	1565937**	147573**	2	خطی Linear
19.1456**	0.74614*	1172.72**	3044012**	292459**	1	تراکم Density
24.0926**	0.07502 ^{ns}	1134.89**	87862 ^{ns}	2688 ^{ns}	1	نیتروژن Nitrogen
4.4212**	3.04505**	471.63**	1175793**	91121**	2	درجه ۲ Square
8.8301**	2.72519**	850.33**	2100814**	166720**	1	تراکم × تراکم Density × Density
1.0595*	1.13884**	4.82 ^{ns}	7948 ^{ns}	1628 ^{ns}	1	نیتروژن × نیتروژن Nitrogen × Nitrogen
0.3445**	0.09552 ^{ns}	9.21 ^{ns}	8052 ^{ns}	519 ^{ns}	1	اثر متقابل Interaction
0.3445**	0.09552 ^{ns}	9.21 ^{ns}	8052 ^{ns}	519 ^{ns}	1	تراکم × نیتروژن Density × Nitrogen
0.2323	0.12854	13.52	31012	3026	19	خطا Error
0.3267 ^{ns}	0.15709 ^{ns}	18.04 ^{ns}	36218 ^{ns}	3859 ^{ns}	11	عدم برازش Lack of-fit
0.1024	0.08930	7.31	23854	1880	8	خطای خالص Pure error
3.12	1.00	3.09	2.37	2.72	-	RMSE (%)
-	-	-	-	-	25	کل Total

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان دهنده غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد است.

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

مطلوب مدل رگرسیون درجه دو کامل می‌باشد. مقدار پایین RMSE نشان‌دهنده برازش خوب مدل می‌باشد (جدول ۳).

تجزیه رگرسیون و ضریب تبیین برای برازش روابط بین متغیرهای نیتروژن و تراکم بوته با هریک از متغیرهای وابسته در جدول ۴ ارائه شده است.

نتایج نشان داد که اثر جزء خطی بر تمام صفات مورد مطالعه به‌جز کارایی تبدیل نیتروژن معنی‌دار بود. اثر جزء درجه دو کامل تمام صفات را به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر قرار داد. اثر متقابل دو عامل نیتروژن و تراکم بوته تنها بر کارایی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود. آزمون عدم برازش در مورد هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشد که این امر نشان‌دهنده برازش

جدول ۴- ضرایب رگرسیون و تبیین برای مدل درجه دو کامل: $Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$

Table 4. Regression coefficients and R^2 for full quadratic model: $Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$.

R ²	مقادیر ضرایب Coefficient values						
	a ₅	a ₄	a ₃	a ₂	a ₁	a ₀	
90.31	-0.0423	0.0152	-2.741	1.25	105.6	2793	عملکرد زیست‌توده Biological yield
89.28	-0.0107	0.00687	-0.772	-0.12	28.74	1006.5	عملکرد دانه Seed yield
92.7	0.00143	0.000374	-0.05514	-0.2676	2.027	64.79	بازیافت نیتروژن Nitrogen uptake efficiency
74.32	0.000146	0.000182	0.003122	-0.02339	-0.1467	15.363	کارایی تبدیل نیتروژن Nitrogen utilization efficiency
92.24	0.000277	0.000175	-0.005619	-0.0528	0.1829	10.014	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency

X₁ و X₂: به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل تراکم بوته و نیتروژن هستند.

X₁ and X₂: indicate independent variables such as nitrogen and plant density, respectively.

۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و تراکم ۲۵ بوته در مترمربع و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌دست آمد و کم‌ترین عملکرد دانه مشاهده شده و بیش‌بینی شده ۹۰۴/۵۵ و ۹۱۰/۶۸ کیلوگرم در هکتار برای تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵).

مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، بازیافت نیتروژن، کارایی تبدیل نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن کنجد در جدول ۵ نشان داده شده است.

نتایج نشان داد بیش‌ترین عملکرد دانه مشاهده شده و پیش‌بینی شده با ۱۳۲۰/۵۲ و ۱۲۷۲/۴۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب برای تراکم ۲۵ بوته در مترمربع و

جدول ۵ - مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده‌شده عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن کبجد تحت تأثیر سطوح نیتروژن و تراکم بوته.

Table 5. A comparison between observed vs. predicted values of yield and nitrogen efficiency indices for sesame affected as nitrogen and plant density levels.

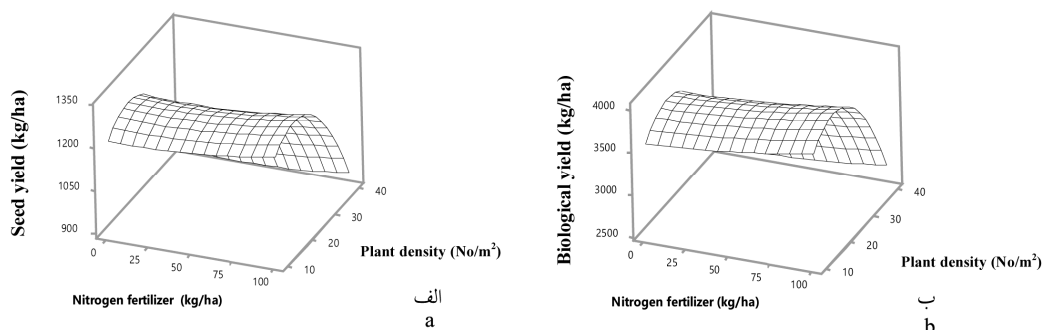
پیش‌بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	کارایی تبدیل نیتروژن (کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن گیاه)		بازایات نیتروژن (درصد)		عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار)		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		X ₂	X ₁
		Nitrogen utilization efficiency (kg seed on kg N in plant)	Nitrogen uptake efficiency (%)	Biological yield (kg.ha ⁻¹)	Seed yield (kg.ha ⁻¹)						
11.28	11.41	14.21	14.3	79.55	79.76	3574	3574	1217	1232	0	10
8.34	8.21	14.49	14.48	57.65	56.64	2631	2611	920	913	0	40
8.03	8.39	13.84	13.9	57.96	60.37	3809	3850	1263	1297	100	10
5.92	6.02	14.56	14.51	40.35	41.54	2739	2760	934	946	100	40
9.22	8.73	13.57	13.41	67.82	65.17	3654	3612	1223	11732	50	10
6.69	6.73	14.07	14.12	48.06	47.81	2647	2643	910	904	50	40
11.07	11.08	13.65	13.56	81	81.76	3719	3739	1243	1234	0	25
8.24	7.79	13.49	13.47	61.56	57.9	3891	3826	1272	1226	100	25
9.22	9.17	13.11	12.9	70.35	71.07	3767	3733	1240	1232	50	25
9.22	9.82	13.11	13.23	70.35	74.25	3767	3999	1240	1321	50	25
9.22	9.09	13.11	13.28	70.35	68.52	3767	3742	1240	1222	50	25
9.22	9.25	13.11	12.9	70.35	71.75	3767	3791	1240	1243	50	25
9.22	9.21	13.11	13.36	70.35	68.95	3767	3611	1240	1237	50	25

X₁ و X₂: به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل تراکم (بوته در مترمربع) و نیتروژن (کود اوره در هکتار) هستند.

X₁ and X₂: indicate independent variables such as nitrogen and plant density, respectively.

افزایش تراکم تا ۲۵ بوته در مترمربع، عملکرد دانه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت است (شکل ۱).

نتایج سطح پاسخ اثر تراکم بوته و نیتروژن بر عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده نشان داد با



شکل ۱- مدل سطح پاسخ عملکرد دانه (الف) و عملکرد زیست‌توده (ب) کنجد تحت تأثیر سطوح تراکم و کود نیتروژن.

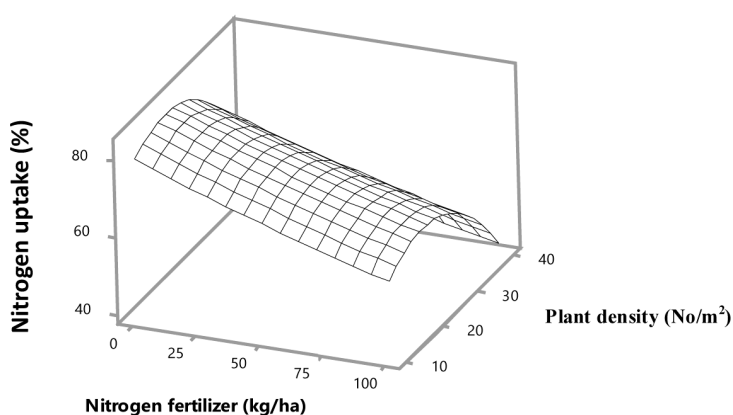
Figure 1. Response surface model for seed (A) and biological yield (B) of sesame affected as plant density and nitrogen fertilizer.

و ماده خشک بیشتری برای شاخه‌زایی در اختیار گیاه قرار گرفت. همچنین، در تراکم‌های پایین، رقابت کم‌تری برای جذب آب و عناصر غذایی بین بوته‌ها وجود دارد. از سوی دیگر، چنین به‌نظر می‌رسد که در تراکم‌های کم به‌دلیل رقابت کم‌تر و نفوذ نور بیشتر، گل‌های بیشتری تبدیل به کپسول شده و در نهایت، تعداد کپسول باقی‌مانده در زمان برداشت نیز بیشتر گردید. در تراکم‌های بالا نفوذ نور به درون تاج پوشش کاهش یافت که سبب ایجاد محدودیت در نفوذ نور به پایین بوته گردید و بنابراین، تعداد کم‌تری کپسول در گره‌های پایین گیاه تشکیل شد و گاه گره‌های پایین بدون کپسول بودند. همچنین، افزایش تعداد بوته در واحد سطح تا حد معینی سبب افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌گردد، ولی فراتر از آن به‌دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای و کاهش فضای لازم برای رشد تک‌بوته ممکن است باعث کاهش عملکرد گردد. در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع، فضای کافی و مطلوبی برای رشد و ایجاد شاخه فراهم شد و موجب گردد که بیش‌ترین عملکرد حاصل گردد.

کالیسیکان و همکاران (۲۰۰۴)، چیمان‌شیت و دوپل (۱۹۹۲) و ماجومادر و روی (۱۹۹۲) گزارش نمودند که در کنجد با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، عملکرد دانه افزایش پیدا کرد (۱۱، ۱۳ و ۳۲). نتایج این آزمایش نیز نشان داد که با افزایش تراکم از ۱۰ به ۲۵ بوته در مترمربع، عملکرد دانه افزایش و سپس با افزایش تراکم، مقدار آن کاهش یافت که با نتایج پژوهش‌های بهروز و همکاران (۱۳۸۸) و رضوانی‌مقدم و همکاران (۱۳۸۴) مطابقت نداشت (۸ و ۴۰). بیش‌ترین عملکرد دانه در آزمایش‌های فوق در تراکم‌های ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد. نتایج این مطالعه با نتیجه پژوهش پاپری‌مقدم‌فرد و بحرانی (۱۳۸۴) که تراکم‌های ۱۰، ۱۶/۶ و ۲۵ بوته در مترمربع را مورد آزمایش قرار دادند، مطابقت داشت (۳۹). همچنین شارما و همکاران (۱۹۹۸) نیز گزارش نمودند که بین تراکم‌های ۳۰۰ و ۶۰۰ هزار بوته در هکتار اختلاف معنی‌داری در عملکرد دانه کنجد به وجود نیامد (۴۲). رقم کشت شده در پژوهش حاضر رقم چند شاخه بود که در تراکم‌های کم‌تر به‌دلیل وجود فضای کافی، رشد رویشی بیش‌تری داشت

شد (جدول ۵). نتایج سطح پاسخ شاخص بازیافت نیتروژن به تراکم بوته و نیتروژن نشان داد که با افزایش تراکم تا ۲۵ بوته در مترمربع، این شاخص ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. با افزایش نیتروژن روندی کاهشی در مقدار بازیافت نیتروژن مشاهده شد (شکل ۲).

نتایج نشان داد بیشترین شاخص بازیافت نیتروژن مشاهده شده و پیش‌بینی شده به ترتیب معادل ۸۱/۷۶ و ۸۱ درصد برای تراکم ۲۵ بوته در مترمربع و عدم مصرف نیتروژن به دست آمد و کمترین شاخص بازیافت نیتروژن مشاهده شده و پیش‌بینی شده به ترتیب ۴۱/۵۴ و ۴۰/۳۵ درصد برای تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار حاصل



شکل ۲- مدل سطح پاسخ شاخص بازیافت نیتروژن کنجد تحت تأثیر سطوح تراکم و کود نیتروژن.

Figure 2. Response surface model for nitrogen uptake efficiency of sesame affected as plant density and nitrogen fertilizer.

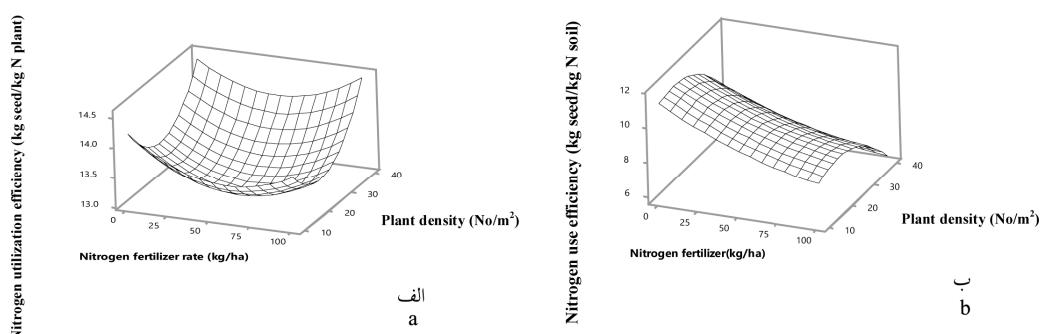
با افزایش سطح تماس ریشه در واحد حجم خاک از تلفات بیش‌تر نیتروژن از خاک کاسته و کارایی جذب و بازیافت را افزایش دادند. استفاده بهینه از نیتروژن در افزایش بهره‌وری و سودمندی بوم‌نظام‌های زراعی و همچنین کاهش خطرات ناشی از اثرات آلاینده‌ی نیتروژن بر محیط زیست نقش مهمی ایفا می‌کند (۱۷). اتلاف مستقیم کودهای نیتروژنی زمانی رخ می‌دهد که این عنصر متحرک بیش از نیاز گیاه زراعی، در زمان و به شکل نامناسب به کار برده می‌شود (۱۵). کاهش بازیافت نیتروژن در پاسخ به افزایش کاربرد کود نیتروژن توسط سایر پژوهشگران نیز تأیید شده است (۱۵ و ۲۲).

کاهش بازیافت نیتروژن با افزایش نیتروژن دور از انتظار نیست. در همین راستا، کوچکی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که در گیاه ذرت با افزایش مصرف نیتروژن شاخص بازیافت آن کاهش یافت و دلیل این امر به افزایش فراهمی نیتروژن نسبت داده شد که آبشویی، باعث افزایش تلفات و کاهش کارایی جذب نیتروژن می‌گردد (۲۹). در پژوهش حاضر، بیش‌ترین مقدار بازیافت نیتروژن در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع حاصل شد که بالاترین میزان عملکرد دانه نیز در این تراکم به دست آمد (جدول ۵). به احتمال زیاد این تراکم نشان‌دهنده تراکم مطلوب در این پژوهش است؛ به طوری که در این تراکم، به دلیل رشد بهتر بوته‌ها و عدم وجود رقابت بین‌گونه‌ای زیاد، بوته‌ها

بوته، کارایی تبدیل نیتروژن ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت، اما کارایی مصرف نیتروژن ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. با افزایش نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن کاهش ولی کارایی تبدیل نیتروژن ابتدا کاهش سپس افزایش یافت. کارایی مصرف نیتروژن در سطوح بالای کودی روند شیب کمتری را دارا بود. به نظر می‌رسد در سطوح بالای کودی، افزایش عملکرد کنگد منجر به بهبود کارایی مصرف نیتروژن شده است (شکل ۳).

نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین کارایی تبدیل نیتروژن مشاهده شده و پیش‌بینی شده با ۱۴/۵۱ و ۱۴/۵۶ کیلوگرم نیتروژن گیاه در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به دست آمد و بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن با ۱۱/۴۱ و ۱۱/۲۸ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع و عدم مصرف نیتروژن حاصل شد (جدول ۵).

نتایج سطح پاسخ کارایی تبدیل و مصرف نیتروژن به تراکم بوته و نیتروژن نشان داد با افزایش تراکم



شکل ۳- مدل سطح پاسخ کارایی تبدیل نیتروژن (الف) و کارایی مصرف نیتروژن (ب) کنگد تحت تأثیر سطوح تراکم و کود نیتروژن.

Figure 3. Response surface model for nitrogen utilization efficiency (A), nitrogen use efficiency (B) of sesame affected as plant density and nitrogen fertilizer.

مخرج کسر و در نتیجه کاهش کارایی تبدیل نیتروژن گردید. نتایج بابایی ابرقویی (۱۳۹۵) روی گیاه کنگد نیز نشان داد که بیش‌ترین میزان کارایی مصرف نیتروژن با ۹/۰۹ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک از تیمار عدم کاربرد کود به دست آمد و کم‌ترین میزان نیز با ۶/۴۸ کیلوگرم نیتروژن دانه بر گرم نیتروژن خاک از تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به دست آمد (۷). نتایج کوچکی و همکاران (۱۳۹۲) بر روی گیاه کلزا نیز نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت و بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن مشاهده شده با

کارایی تبدیل نیتروژن در شرایط مصرف ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار کاهش و سپس اندکی افزایش یافت که با نتایج حقانیان و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت داشت (۲۰). در مخرج کسر کارایی تبدیل نیتروژن، محتوی نیتروژن اندام‌های هوایی گیاه (درصد نیتروژن اندام‌های هوایی × عملکرد اندام‌های هوایی) قرار دارد که در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع و ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه و زیست‌توده مشاهده شده به دست آمد و شرایط مطلوبی در این حالت برقرار بود و نیتروژن جذب شده توسط گیاه از طریق افزایش عملکرد، موجب افزایش

کارایی پایین کود شیمیایی به دلیل کاربرد مقادیر بالای کود شیمیایی است، به خصوص زمانی که نیتروژن معدنی موجود در خاک قبل از کشت و یا نیتروژن معدنی شده در طول فصل رشد نادیده گرفته شود (۵). سایر بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد مقدار بیش‌تر کود نیتروژن از طریق کاهش میزان بازیافت نیتروژن به دلیل افزایش تلفات نیتروژن از طریق دینتریفیکاسیون، تبخیر آمونیومی، رواناب و آبرویی موجب کاهش کارایی مصرف این عنصر می‌گردد (۱۸).

نتیجه‌گیری

مدیریت مصرف منابع در بخش کشاورزی می‌تواند باعث تأثیر عمده‌ای در کارایی شاخص‌های عناصر گردد و برای دستیابی به شاخص‌های مناسب در حوزه اقتصاد و تولید پایدار محصولات زراعی، توجه به اصول اولیه بهبود مدیریت انرژی، کارایی مصرف منابع و جلوگیری از هدررفت نهاده‌ها بر مبنای استفاده از مدل‌های آماری همچون طرح مرکب مرکزی امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. نتایج این مطالعه (اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد کمی کنگد با استفاده از طرح مرکب مرکزی) نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه (۱۳۲۱ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع و مصرف ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌دست آمد و همچنین بیش‌ترین میزان کارایی مصرف نیتروژن (۱۱/۴۱ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع و عدم مصرف نیتروژن به‌دست آمد که با افزایش مصرف کود نیتروژن، کارایی مصرف و شاخص بازیافت نیتروژن کاهش یافت که نشان‌دهنده افزایش تلفات نیتروژن از طریق آبرویی است. همچنین، مصرف بیش از مقادیر مورد نیاز نهاده‌ها باعث افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی و هزینه‌ها می‌گردد.

۲۱/۵۹ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم خاک در تراکم ۱۵۰ بوته در مترمربع و عدم مصرف نیتروژن به‌دست آمد (۳۰). آمانولا و همکاران (۲۰۱۴) و جویبان و همکاران (۲۰۱۱) نیز با انجام مطالعات مختلف گزارش نمودند که با افزایش نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت (۲ و ۲۴). حقانیان و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن در کنگد گزارش کردند که بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن (۵۲ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) برای شاهد به‌دست آمد و با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۵۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف نیتروژن از ۵۲ کیلوگرم بر کیلوگرم به ۱۴ کیلوگرم بر کیلوگرم کاهش یافت (۲۰). معمولاً با افزایش مصرف کودهای شیمیایی کارایی مصرف کود کاهش می‌یابد. با توجه به قانون بازده نزولی در مورد مصرف عناصر غذایی مبنی بر این‌که واحدهای اولیه کود مصرفی تأثیر بیش‌تری روی عملکرد دارند، هر قدر مصرف نیتروژن افزایش یابد، کارایی استفاده از آن نیز کاهش می‌یابد (۷).

به عقیده موتمورو و همکاران (۲۰۰۶) دو عامل اساسی در افزایش کارایی مصرف نیتروژن شامل جذب از خاک تا قبل از گلدهی گیاه و همچنین جذب در طی مراحل انتهایی رشد می‌باشند (۳۷). همچنین، ممکن است با افزایش مصرف کود، گیاه نتواند متناسب با این افزایش، از رشد زایشی مطلوبی برخوردار باشد و به دلیل شرایط نامساعد محیطی امکان تشکیل اجزای عملکرد دانه خوبی را نداشته باشد (۷).

هاگینز و پان (۱۹۹۳) دریافتند که در سطوح بالای مصرف کود نیتروژن، جذب آهسته این عنصر افزایش یافت که باعث کاهش کارایی مصرف آن گردید (۲۲).

منابع

1. Adesemoye, A.O., Torbert, H.A. and Kloepper, J.W. 2010. Increased plant uptake of nitrogen from ¹⁵N-depleted fertilizer using plant growth-promoting rhizobacteria. *Appl. Soil Ecol.* 46: 54-58.
2. Amanullah, J., Shahzad, A., Inamullah, A. and Musharaf, A. 2014. Influence of sowing time and nitrogen fertilization on alternaria leaf blight and oil yield of sesame cultivars. *Pure Appl. Biol.* 3: 4. 160-166.
3. Amini, M. 2007. Optimization the conditions for extraction of hydrocolloid compounds of Ballengo-Shirazi seed and studying the effect of its addition on rheological properties and bulk bread quality compared to Gazanthan gum. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
4. Ankumah, R.O., Khan, V., Mwamba, K. and Kpomblekou, A.K. 2003. The influence of source and timing of nitrogen fertilizers on yield and nitrogen use efficiency of four sweet potato cultivars. *Agric Ecosyst. Environ.* 100: 2-3. 201-207.
5. Arregui, L.M. and Quemada, M. 2008. Strategies to improve nitrogen use efficiency in winter cereal crops under rain fed conditions. *Agron. J.* 100: 277-284.
6. 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 coal cleaning. *Fuel.* 86: 769-776.
7. Babaei Abarghouei, G.H. 2016. Effects of sowing date and integrative nitrogen application on nitrogen efficiency, yield and quality criteria of sesame. Ph.D. Thesis, College of Agriculture, University of Ferdowsi. Mashhad. Iran. (In Persian with English Summary)
8. Behrooz, Z., Khodabandeh, N., Madani, H. and Shirzadi, M.H. 2010. Study of bush accumulation and division of nitrogen fertilizer on agronomic characteristic of local sesame in Jiroft region. *New Finding in Agric.* 4: 2. 91-99. (In Persian with English Summary)
9. Box, G.E.P. and Hunter, J.S. 1957. Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. *The Institute of Mathematical Statistics.* Pp: 195-241.
10. Box, G.E.P. and Wilson, K.B. 1951. On the experiment attainment of optimum conditions. *J. Royal Stat. Soc.: Series B.* 13: 1-45.
11. Caliskan, S., Arslan, M., Arioglu, H. and Isler, N. 2004. Effect of planting method and plant population on growth and yield of sesame in a Mediterranean type of environment. *Asian J. Plant Sci.* 3: 610-613.
12. Cassman, K.G., Dobermann A., Walters D.T. and Yang H. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28: 315-358.
13. Chimanshette, T. and Dhoble, M. 1992. Effect of sowing date and plant density on seed yield of sesame varieties. *Indian J. Agron.* 37: 280-282.
14. Cojocar, C. and Zakrzewska-Trznadel, G. 2007. Response surface modeling and optimization of copper removal from aqua solutions using polymer assisted ultrafiltration. *J. Membr. Sci.* 298: 56-70.
15. Dawson, J.C., Huggins, D.R. and Jones, S.S. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agriculture systems. *Field Crops Res.* 107: 89-101.
16. Dean, A. and Voss, D. 2002. *Design and Analysis of Experiments.* Springer Texts in Statistics. New York.
17. Dobermann, D.I. and Cassman, K.G. 2004. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production of United States and Asia. *Plant Soil.* 247: 153-175
18. Eickhout, B., Bouwman, A.F. and van Zeijts, H. 2006. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. *Agric. Ecosys. Environ.* 116: 4-14.

19. Glendining, M.J., Dailey, A.G., Williams, A.G., Van Evert, F.K., Goulding, K.W.T. and Whitmore, A.P. 2009. Is it possible to increase the sustainability of arable and ruminant agriculture by reducing inputs? *Agric. Sys.* 99: 117-125.
20. Haghanian, S., Yadavi, A., Balouchi, H.R. and Moradi, A. 2016. Grain, oil yield and nitrogen use efficiency in different varieties of sesame (*Sesamum indicum* L.) under nitrogen fertilizer and weed competition. *J. Agric Sci. Sustain. Prod.* 26: 1. 67-81. (In Persian with English Summary)
21. Hatermink A.E., Johnston M.O., Sullivan J.N. and Poloma S. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. *Agric. Ecosyst. Environ.* 79: 271-280.
22. Huggins, D.R. and Pan, W.L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *J. Agron.* 85: 898-905.
23. Jefferson, T. 2003. Sesame a High Value Oil Seed. Growing Sesame Production Tips, Economics and More. Htm, Pp: 1-4.
24. Jouyban, Z., Moosavi, S.G. and Seghatoleslami, M.G. 2011. Seed yield and nitrogen use and agronomic efficiency of sesame as affected by irrigation levels, nitrogen and superabsorbent. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 5: 12. 697-702.
25. Kalavathy, H.M., Regupathib, I., Pillai, M.G. and Miranda, L.R. 2009. Modelling, analysis and optimization of adsorption parameters for H₃PO₄ activated rubber wood sawdust using response surface methodology (RSM). *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 70: 35-45.
26. Kant, S., Bi, Y.M. and Rothstein, S.J. 2011. Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. *J. Exp. Bot.* 62: 4. 1499-1509.
27. Karaaslan, D., Boydak, E., Gercek, S. and Simsek, M. 2007. Influence of irrigation intervals and row spacing on some yield components of sesame growth in Harran region. *Asian J. Plant Sci.* 6: 4. 623-627.
28. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M.B. and Fallah Poor, F. 2016. Optimization of nitrogen fertilizer and irrigation in wheat cultivation by central composite design. *J. Agroecol.* (Under Press). (In Persian with English Summary)
29. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorramdel, S. and Morid Ahmadi, S. 2017. Optimization of plant density and nitrogen use in corn (*Zea mays* L.) by Central Composite Design. *Iran. J. Field Crops Res.* (Under Press). (In Persian with English Summary)
30. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R. and Mansouri, H. 2013. Optimization of water, nitrogen and density in canola cultivation by central composite design. *J. Agroecol.* 3: 1. 1-16. (In Persian with English Summary)
31. Kwak, J.S. 2005. Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process. *Int. J. Mach. Tool Manu.* 45: 327-341.
32. Majumdar, D. and Roy, S. 1992. Response of summer sesame to irrigation, row spacing and plant population. *Indian J. Agron.* 37: 758-762.
33. Maman, N., Lyon, D.J., Mason, S.C., Galusha, T.D. and Higgins, R. 2003. Pearl millet and grain sorghum yield response to water supply in nebraska. *Agron. J.* 95: 1618-1624.
34. Mansouri, H. 2014. Modeling of growth and nitrogen fertilization management in the production of Persian shallot and onion. Ph.D. Thesis, College of Agriculture, University of Ferdowsi. Mashhad. Iran. (In Persian with English Summary)
35. Martin, R.J. and Deo, B. 2000. Effect of plant population on calendula (*Calendula officinalis* L.) flower production. *N. Z. J. Crop Hort. Sci.* 28: 37-44.
36. Mohajer, A.R. 2017. Imports 38 billion dollars of oil and meal over the past 25 years to the country. Interview with the Project Manager of Oil Seeds Project, Ministry of Jihad-e-Agriculture. Mehr News Agency. 5 September 2017. (In Persian)

37. Montemuro, F., Maiorana, M., Ferri, D. and Convertini, G. 2006. Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and source of N fertilization. *Field Crops Res.* 99: 114-421.
38. Noorka, I., Hafiz, S.I. and El-bramawy, A. 2011. Response of sesame to population densities and nitrogen fertilization on newly reclaimed sandy soils. *Indian J. Agron.* 43: 4. 1953-1958.
39. Papari Moghaddam Fard, A. and Bahrani, M.J. 2005. Effect of nitrogen fertilizer rates and plant density on some agronomic characteristics, seed yield, oil and protein percentage in two sesame cultivars. *Iran. J. Agric. Sci.* 36: 1. 129-134. (In Persian with English Summary)
40. Rezvani Moghadam, P., Norooz Poor, G., Nabati, J. and Mohammad Abadi, A. 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame. *Iran. J. Field Crops Res.* 3: 1. 57-68. (In Persian with English Summary)
41. Salvagiotti, F., Castellarín, J.M., Miralles, D.J. and Pedrol, H.M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Res.* 113: 2. 170-177.
42. Sharma, P.B., Parshar, R.R., Ambawatia, G.R. and Pillai, P.V.A. 1998. Response of sesame varieties to plant population and nitrogen levels. *Field Crops Abstr.* 51: 481.
43. Shindo, J., Okamoto, K., Kawashima, H. and Konohira, E. 2009. Nitrogen flow associated with food production and consumption and its effect on water quality in Japan from 1961 to 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.* 55: 532-545.
44. Singh, J.S., Pandey, V.C. and Singh, D.P. 2011. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agric. Ecosys. Environ.* 140: 339-353.
45. Sowers, K.E., Pan, W.L., Miller, B.C. and Smith, J.L. 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen application in soft white winter wheat. *Agron. J.* 86: 942-948.
46. Toan, D.P., Thuy-Duong, T.N.A., Carlsson, S. and Bui, T.M. 2010. Morphological Evaluation of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Varieties from Different Origins. *Aust. J. Crop Sci.* 4: 498-504.
47. Wang, J.P., Chen, Y.Z., Ge, X.W. and Yu, H.Q. 2007. Optimization of coagulation-flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using response surface methodology. *Colloids and Surfaces A: Physico. Eng. Aspects.* 30: 204-210.