Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Evaluation of the effect of different urea fertilizer levels on yield stability of two rainfed lentil cultivars in the Maragheh region

Yaser Azimzadeh[1*], Arash Mohammadzadeh[2], Mozhgan Tabrizivand Taheri[3]

[1*] Corresponding author, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran, Email: y.azimzadeh@areeo.ac.ir

[2] Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran, Email: a.mohammadzadeh@areeo.ac.ir

[3] Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran, Email: tabrizivand@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
2025-10-01
2025-11-22

Keywords:
Biological nitrogen fixation
Drought stress
Starter fertilizer
Sustainable yield

ABSTRACT

Background and objectives: Lentil plays a crucial role in food security, while nitrogen fertilization is key to achieving stable yields in dryland cropping systems. Determining the optimal nitrogen rate for sustainable lentil production under climate variability in semi-arid regions is therefore essential. Although lentil is considered a low-nitrogen-input crop due to its ability to form symbiotic relationships with nitrogen-fixing bacteria, the application of starter nitrogen fertilizer becomes critical in soils with low organic matter content – a common characteristic of most Iranian drylands – to ensure proper crop establishment and yield potential realization. However, the response of lentil to nitrogen under dryland conditions is significantly influenced by annual rainfall fluctuations, and multi-year studies on this topic remain limited in Iran. Accordingly, this study was designed and conducted to evaluate the effects of different urea fertilizer levels on yield stability of two rainfed lentil cultivars (Sana and Bilehsavar) in response to annual climatic variability in the Maragheh region.

Materials and methods: The experiment was conducted as a split-plot arrangement within a randomized complete block design with three replications at the Maragheh Dryland Agricultural Research Station over two growing seasons (2023-2025). Main plots were assigned to lentil cultivars (Sana and Bilehsavar), while sub-plots consisted of nitrogen levels (0, 25, 50, 75, and 100 kg urea ha^{-1}). Following field preparation using minimum tillage with a composite tiller, spring planting was carried out in 10 × 30 m plots using a three-unit ASKE seeder at a planting depth of 5 cm with 17.5 cm row spacing. Urea fertilizer was applied simultaneously with planting through band placement at 5-6 cm depth beneath the seed.

Results: Combined analysis of variance revealed significant ($p < 0.01$) effects of year, cultivar, and urea levels on all studied traits except harvest index. Significant year × cultivar interactions were observed for grain yield and harvest index, while year × urea interactions affected plant height and biological yield. During the first year with favorable precipitation (381 mm), maximum grain yields of 766 kg ha^{-1} for Sana

and 603 kg ha^{-1} for Bilehsavar were recorded. However, under reduced rainfall (280 mm) in the second year, yields declined to 622 and 520 kg ha^{-1} for Sana and Bilehsavar, respectively. Quadratic regression models indicated optimal urea rates ranging between 45-50 kg ha^{-1} for Sana and 47 kg ha^{-1} for Bilehsavar to achieve maximum grain yield. Notably, Sana demonstrated significantly higher rain water productivity (1.93 kg ha^{-1} mm^{-1}) compared to Bilehsavar (1.59 kg ha^{-1} mm^{-1}).

Conclusion: In summary, the Sana cultivar demonstrated superior adaptation to the variable climatic conditions of the Maragheh region, exhibiting higher yield stability, improved harvest index (44%), and enhanced rain water productivity (1.93 kg ha^{-1} mm^{-1}). Based on the research findings, the application of 45-50 kg urea ha^{-1} for the Sana cultivar is recommended as an optimal strategy for achieving sustainable and economic yields in dryland lentil production systems.

Cite this article: Azimzadeh, Y., Mohammadzadeh, A., Tabrizivand Taheri, M. 2026. Evaluation of the effect of different urea fertilizer levels on yield stability of two rainfed lentil cultivars in the Maragheh region. *Crop Production Journal*, 18 (4), 103-118.

© The author(s)

10.22069/ejcp.2026.24127.2714

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

ارزیابی تأثیر سطوح مختلف کود اوره بر پایداری عملکرد دو رقم عدس دیم در منطقه مراغه

یاسر عظیم‌زاده[1*]، آرش محمدزاده[2]، مژگان تبریزی‌وند طاهری[3]

[1*] نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران، رایانامه: y.azimzadeh@areeo.ac.ir

[2] مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران، رایانامه: a.mohammadzadeh@areeo.ac.ir

[3] مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران، رایانامه: tabrizivand@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۹/۲

واژه‌های کلیدی:
تثبیت زیستی
تنش خشکی
کود آغازگر
عملکرد پایدار

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به اهمیت عدس در تأمین امنیت غذایی و نقش مهم کود نیتروژن در دستیابی به عملکرد پایدار در نظام‌های کشت دیم، تعیین سطح بهینه کود نیتروژن برای دستیابی به عملکرد پایدار تحت شرایط تغییرپذیری اقلیمی در مناطق نیمه‌خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اگرچه عدس به دلیل توانایی ایجاد رابطه همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، به‌عنوان گیاهی کم‌نیاز به نیتروژن شناخته می‌شود، اما در خاک‌های فقیر از ماده آلی مانند اغلب اراضی دیم ایران، مصرف کود آغازگر نیتروژنی برای استقرار اولیه و تحقق پتانسیل عملکرد ضروری است. با این حال، پاسخ عدس به نیتروژن در شرایط دیم تحت‌تأثیر نوسانات بارندگی سالانه قرار داشته و مطالعات در این زمینه در ایران محدود است. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر سطوح مختلف کود اوره بر پایداری عملکرد دو رقم عدس دیم «سنا» و «بیله‌سوار» در پاسخ به تغییرپذیری اقلیمی سالانه در منطقه مراغه طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در طی ۲ سال زراعی از ۱٤۰۲ تا ۱٤۰٤ اجرا شد. تیمارها شامل ارقام سنا و بیله‌سوار در کرت‌های اصلی و سطوح نیتروژن (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) در کرت‌های فرعی بودند. پس از آماده‌سازی زمین به‌روش کم‌خاکورزی (خاکورز مرکب)، کشت به صورت بهاره در کرت‌های ۳۰ × ۱۰ متر، با عمق کشت ۵ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌های ۱۷/۵ سانتی‌متر توسط کارنده آسکه سه‌محوره انجام شد. کود اوره هم‌زمان با کشت به‌صورت جایگذاری در عمق ۵-٦ سانتی‌متری زیر بذر اعمال شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال، رقم و سطوح کود اوره بر کلیه صفات مورد مطالعه به‌جز شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سال × رقم بر عملکرد دانه و شاخص برداشت و اثر متقابل سال × کود اوره بر ارتفاع بوته و عملکرد زیستی معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد دانه در سال اول با بارندگی مطلوب (۳۸۱ میلی‌متر)

به میزان ۷٦٦ کیلوگرم در هکتار برای رقم سنا و ٦۰۳ کیلوگرم در هکتار برای رقم بیله‌سوار حاصل شد؛ در حالی که در سال دوم با کاهش بارندگی (۲۸۰ میلی‌متر)، عملکرد هر دو رقم به‌ترتیب به ٦۲۲ و ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. برازش مدل‌های رگرسیونی درجه دوم نشان داد که سطوح بهینه کود اوره برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه در رقم سنا بین ٤۵ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار و در رقم بیله‌سوار ٤۷ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. بهره‌وری آب باران در رقم سنا (۱/۹۳ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) به‌طور معنی‌داری بالاتر از رقم بیله‌سوار (۱/۵۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) بود.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، رقم سنا با برخورداری از پایداری عملکرد بالاتر، شاخص برداشت مطلوب‌تر (٤٤ درصد) و بهره‌وری آب باران بیشتر (۱/۹۳ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر)، به عنوان رقم سازگارتر برای کشت دیم در شرایط متغیر اقلیمی منطقه مراغه شناخته شد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، مصرف ٤۵ تا ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار برای رقم سنا می‌تواند به عنوان توصیه بهینه برای دستیابی به عملکرد پایدار و اقتصادی در سیستم‌های کشت دیم عدس مورد توجه قرار گیرد.

استناد: عظیم‌زاده، یاسر؛ محمدزاده، آرش؛ تبریزی‌وند طاهری، مژگان. (۱٤۰٤).ارزیابی تأثیر سطوح مختلف کود اوره بر پایداری عملکرد دو رقم عدس دیم در منطقه مراغه. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۸ (٤)، ۱۱۸-۱۰۳.

© نویسندگان
ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

10.22069/ejcp.2026.24127.2714

مقدمه

عدس (*Lens culinaris* Medik.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حبوبات در تغذیه انسان، به دلیل دارا بودن مقادیر قابل‌توجهی از پروتئین، کربوهیدرات، فیبر و عناصر معدنی، جایگاه ویژه‌ای در سبد غذایی انسان و تأمین امنیت غذایی دارد (۱). کشت دیم این محصول در مناطق نیمه‌خشک ایران، از جمله استان آذربایجان شرقی، به دلیل سازگاری با شرایط کم‌آبی و نقش مؤثر آن در تناوب زراعی با غلاتی مانند گندم، از اهمیت اقتصادی و اکولوژیکی قابل‌توجهی برخوردار است. از این رو، عدس در ایران با سطح زیر کشت بیش از ۱۵۵ هزار هکتار، عمدتاً به صورت دیم کشت می‌شود. با این حال، عملکرد متوسط آن در شرایط دیم (٤٧٦ کیلوگرم در هکتار) به‌طور قابل‌توجهی کمتر از سیستم آبی (۱۱۹۵ کیلوگرم در هکتار) است. این کاهش عملکرد در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور عمدتاً ناشی از محدودیت‌هایی مانند کمبود مواد آلی خاک، بارندگی ناکافی و توزیع نامناسب آن، حاصلخیزی ضعیف خاک و مدیریت نامناسب کوددهی است (۲). در بوم‌نظام‌های دیم مناطق گرم و خشک، کمبود نیتروژن به دلیل معدنی‌شدن سریع مواد آلی و کمبود بقایای گیاهی تشدید می‌شود؛ به‌طوری‌که محتوای نیتروژن اولیه خاک قادر به تأمین نیازهای غذایی گیاه نیست. این عدم تعادل غذایی نه‌تنها عملکرد محصول را کاهش می‌دهد، بلکه می‌تواند در جذب سایر عناصر غذایی توسط گیاه نیز اختلال ایجاد کند. از این‌رو، مدیریت بهینه مصرف نیتروژن از طریق کاربرد مناسب کودهای نیتروژنی می‌تواند با جبران بخشی از کمبود مواد آلی خاک، نقش مؤثری در بهبود عملکرد عدس در شرایط دیم ایفا نماید (۳).

در سیستم‌های کشت دیم، دستیابی به عملکرد پایدار در گرو مدیریت بهینه عناصر غذایی، به‌ویژه نیتروژن است. اگرچه عدس به‌عنوان یک گیاه از خانواده بقولات، قادر به برقراری رابطه همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (ریزوبیوم) در گره‌های ریشه بوده و بخش قابل‌توجهی از نیتروژن مورد نیاز خود را از این طریق تأمین می‌کند، اما این فرآیند طبیعی ممکن است به‌تنهایی برای دستیابی به پتانسیل کامل عملکرد کافی نباشد. نیاز کلی نیتروژن در عدس در مقایسه با غلات کمتر است، با این وجود، دوره بحرانی آغاز رشد و استقرار گیاهچه تا زمان تشکیل و فعالیت مؤثر گره‌های ریشه‌ای، نیازمند دسترسی بهینه به این عنصر است (٤). این موضوع به‌ویژه در خاک‌های دیم مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران که عموماً از نظر ماده آلی فقیر بوده و ظرفیت تثبیت زیستی نیتروژن نیز در آنها محدود است (۵)، از اهمیت بیشتری برخوردار است. در چنین شرایطی، مصرف مقادیر متعادل کود نیتروژنی در ابتدای فصل رشد به‌عنوان کود آغازگر می‌تواند با تضمین دسترسی گیاه به نیتروژن در مراحل حساس، موجب استقرار بهتر، رشد اولیه قوی‌تر و در نهایت، بهبود عملکرد دانه شود (٦). به‌عنوان مثال، سیدشریفی و سیدشریفی (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد مقادیر کم نیتروژن به‌عنوان کود آغازگر می‌تواند استقرار گیاهچه، تعداد گره‌های ریشه و عملکرد دانه عدس را در شرایط دیم به‌طور معنی‌دار افزایش دهد. آنان همچنین نشان دادند که مرحله آغازین رشد عدس نیازمند دسترسی سریع به نیتروژن معدنی است تا پیش از شروع فعالیت تثبیت زیستی، رشد اولیه به خوبی شکل گیرد (۷). والی و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که مقادیر کم نیتروژن آغازگر (تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار) موجب تحریک تثبیت زیستی نیتروژن شد، درحالی‌که مقادیر بیشتر اثر بازدارنده داشت (۸). بنایان اول و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که مصرف ٤٠ کیلوگرم اوره در هکتار موجب افزایش طول دوره رشد، شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک در عدس شد. آنان سطح

٤٠ کیلوگرم اوره در هکتار را برای کشت عدس در شرایط خشک و نیمه‌خشک توصیه کردند (۳).

تعیین مقدار بهینه کود نیتروژنی به عنوان استارتر در کشت عدس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چرا که خاک‌های مناطق دیم‌خیز ایران عموماً از محتوای ماده آلی پایین و در نتیجه، ذخیره نیتروژن اولیه ناکافی برخوردارند. این کمبود می‌تواند تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه را در مراحل اولیه رشد، پیش از استقرار کامل همزیستی ریزوبیومی و آغاز فرآیند تثبیت زیستی نیتروژن با محدودیت مواجه ساخته و در نهایت به کاهش عملکرد منجر شود. از سوی دیگر، مصرف مقادیر فراتر از سطح بهینه کود نیتروژنی نیز علاوه‌بر صرف هزینه بیشتر، می‌تواند پیامدهای نامطلوبی به همراه داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش غیرضروری هزینه‌های تولید، مهار تثبیت زیستی نیتروژن ناشی از افزایش غلظت نیتروژن معدنی در ناحیه ریزوسفر، اختلال در تعادل جذب سایر عناصر غذایی، ایجاد شوری موضعی و نیز تحریک رشد رویشی بیش از حد اشاره نمود. رشد سریع رویشی می‌تواند با افزایش تعرق، اتلاف آب را تسریع کرده و گیاه را در مواجهه با تنش خشکی به‌ویژه در مراحل بحرانی رشد، با آسیب بیشتری روبرو سازد. علاوه‌بر این، وجود نیتروژن سهل‌الوصول در خاک می‌تواند با تحریک رشد علف‌های هرز، رقابت برای منابع محدود آب و عناصر غذایی را تشدید نماید که این خود رقابت برای منابع محدود آب و مواد غذایی را تشدید می‌کند (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲). در این رابطه، بنایان و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که پاسخ ارقام عدس به سطوح مختلف کود نیتروژن متفاوت بوده و افزایش مصرف نیتروژن تا سطح مشخصی، عملکرد دانه و اجزای عملکرد (مانند تعداد غلاف و دانه در بوته) را بهبود بخشید اما کاربرد بیش از حد نیتروژن، کارایی مصرف این عنصر را کاهش داده و در برخی شرایط بر پایداری عملکرد اثر منفی گذاشت (۱۳).

با این حال، پاسخ گیاه به کود نیتروژن در شرایط دیم بسیار پیچیده بوده و به‌شدت تحت‌تأثیر توزیع و مقدار بارش قرار دارد. بنابراین، تعیین سطح بهینه کود اوره که بتواند نیاز غذایی اولیه گیاه را بدون ایجاد اختلال در فرآیند تثبیت زیستی نیتروژن تأمین نماید، به‌عنوان یک چالش مدیریتی در نظام‌های کشت دیم عدس مطرح می‌باشد. با وجود شناخت کلی از اهمیت نیتروژن، پاسخ ارقام مختلف عدس دیم به سطوح متفاوت کود اوره در شرایط اقلیمی متغیر ایران به خوبی مطالعه نشده است. بسیاری از پژوهش‌های پیشین در این حوزه، محدود به یک سال زراعی بوده و یا در شرایط آبیاری انجام شده‌اند که نمی‌توانند بازتاب دقیقی از واکنش این گیاه در سیستم‌های دیم و تحت نوسانات بارندگی سالانه باشند. این کمبود، لزوم انجام مطالعات دو یا چندساله را برای درک بهتر اثر متقابل ژنوتیپ، محیط و مدیریت کودی بر پایداری عملکرد عدس بیش از پیش آشکار می‌سازد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف تعیین پاسخ دو رقم عدس دیم (سنا و بیله‌سوار) به سطوح مختلف کود اوره تحت شرایط متفاوت بارندگی سالانه در منطقه مراغه طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در طی ۲ سال زراعی (۱٤۰۲ تا ١٤٠٤) اجرا شد. تیمارها شامل ارقام سنا و بیله‌سوار در کرت اصلی و سطوح نیتروژن (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) در کرت فرعی بودند. پیش از کشت، نمونه‌های خاک از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری به‌روش مرکب جمع‌آوری و

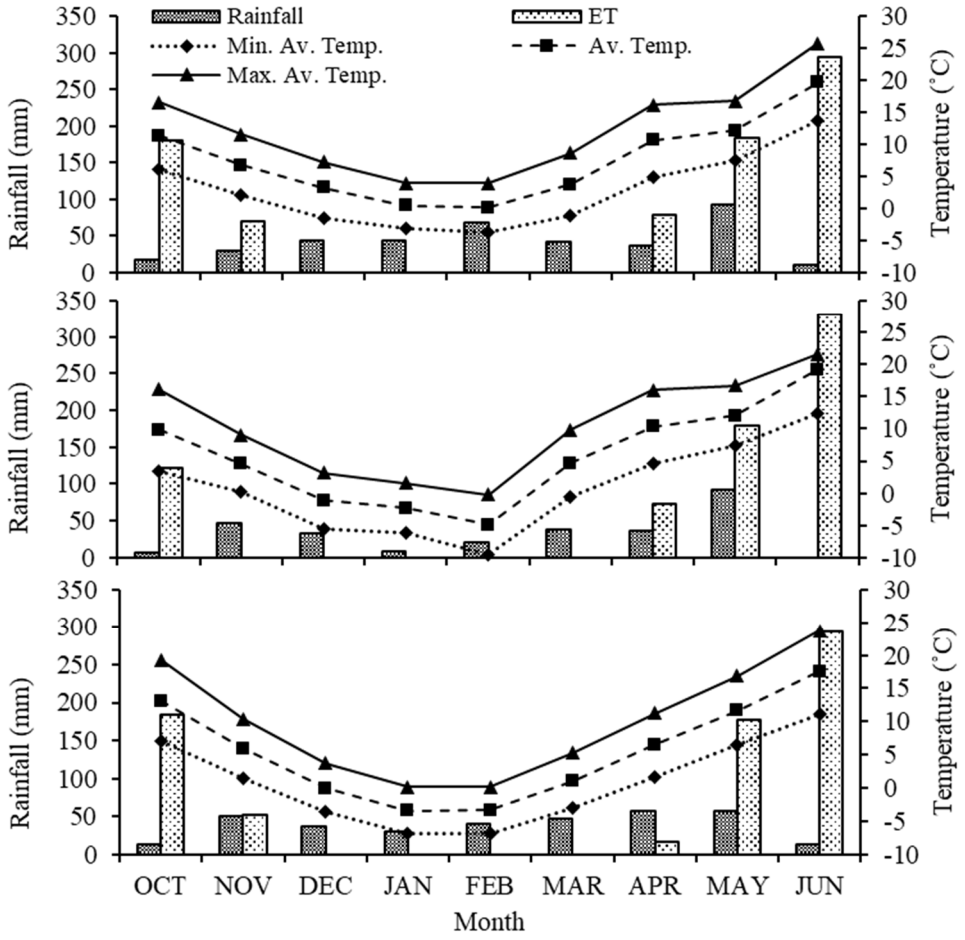
ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن با روش‌های استاندارد تجزیه شد (۱٤ و ۱۵). برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک برداشت شده از مزرعه مورد مطالعه در جدول ۱ و داده‌های هواشناسی منطقه در شکل ۱ ارائه شده است. با توجه به این که پتاسیم قابل‌استفاده خاک مورد مطالعه بیشتر از حد بحرانی (۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود، نیازی به مصرف کود پتاسیم نبود؛ با این حال، فسفر قابل‌استفاده خاک کمتر از حد بحرانی (٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود (۱٦). بنابراین، قبل از کاشت، مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل با استفاده از کارنده بدون بذر و در جهت عمود بر خطوط کاشت، به‌صورت جایگذاری در عمق حدود ۱۰ سانتی‌متری خاک اعمال شد. بر اساس داده‌های هواشناسی ارائه‌شده، سال اول آزمایش (۱٤۰۳) از نظر الگوی بارش، سالی نرمال تا نسبتاً پرباران بود، به‌طوری که مجموع بارندگی فصل رشد حدود ۳۸۱ میلی‌متر بود که توزیع مناسبی نیز در طول فصل داشت. در مقابل، سال دوم (۱٤۰٤) با مجموع بارندگی ۲۸۰ میلی‌متر و توزیع نامناسب آن، یک سال خشک و همراه با تنش دمایی بود. بر اساس گزارش‌ها، عدس دیم معمولاً در مناطقی با میانگین بارش سالانه حدود ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر عملکرد اقتصادی و پایدار دارد، در حالی که بارش‌های کمتر از حدود ۲۵۰–۲۰۰ میلی‌متر برای رشد آن نامناسب تلقی می‌شود (۱۷).

پس از آماده‌سازی زمین به‌روش کم‌خاکورزی (خاکورز مرکب)، کشت به صورت بهاره در ۲۵ اسفند ۱٤۰۲ در کرت‌های ۳۰ × ۱۰ متر، با عمق کشت ۵ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌های ۱۷/۵ سانتی‌متر توسط کارنده آسکه سه‌محوره انجام شد. کود اوره هم‌زمان با کشت به‌صورت جایگذاری در عمق ۵–٦ سانتی‌متری زیر بذر اعمال شد. طی دوره رشد، عملیات زراعی شامل کنترل آفات و علف‌های هرز (وجین دستی) به‌صورت کامل انجام شد. پس از رسیدگی محصول و بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای، برداشت در تاریخ ۱۱ تیر ۱٤۰۳ به صورت دستی و از کل سطح کرت انجام شد. برای حذف اثرات حاشیه‌ای، ردیف‌های کناری و ۵۰ سانتی‌متر از دو انتهای کرت‌ها کنار گذاشته شد و سپس ارتفاع بوته، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و عملکرد ماده خشک اندازه‌گیری شد. از تقسیم عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)، شاخص برداشت (درصد) محاسبه شد و شاخص بهره‌وری آب باران (کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) از تقسیم عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر مجموع بارندگی سالانه (میلی‌متر) محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/٤ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Some physical and chemical properties of the studied farm soil

سال Year	بافت Texture	اسیدیته pH	فسفر قابل‌استفاده Ava. P	پتاسیم قابل‌استفاده Ava. K	مواد خنثی شونده TNV	کربن آلی OC	قابلیت هدایت الکتریکی EC_e
			($mg\ kg^{-1}$)		(%)		($dS\ m^{-1}$)
2024	Clay loam	7.78	4.4	603	8	0.57	0.864
2025	Clay loam	7.75	4.1	560	9	0.63	0.816



شکل ۱- تغییرات زمانی میانگین دما، بارش و تبخیر-تعرق ماهانه در منطقه مراغه برای سال‌های ۱۴۰۳-۱۴۰۲ (بالا)، ١٤٠٤-١٤٠٣ (وسط) و دوره بلندمدت (پایین)

Figure 1- Temporal variations of monthly mean temperature, precipitation, and evapotranspiration in the Maragheh region for the years 2023-2024 (top), 2024-2025 (middle), and the long-term period (bottom)

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر اصلی سال بر صفات ارتفاع بوته، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱ درصد و بر بهره‌وری آب باران در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، اما بر شاخص برداشت تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۲) که احتمالاً ناشی از تغییرات مشابه در افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی بین سال‌ها بوده است. با توجه به این که شاخص برداشت، نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی را نشان می‌دهد، اگر تغییرات سالانه هر دو صفت (عملکرد دانه و عملکرد زیستی) تقریباً متناسب باشد، شاخص برداشت به تغییرات سال حساس نبوده و در نتیجه اثر سال بر آن معنی‌دار نخواهد بود. اثر رقم نیز بر تمامی صفات، به‌جز شاخص برداشت، معنی‌دار شد که بیانگر تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام در واکنش به شرایط محیطی و تغذیه نیتروژنی است. کاربرد سطوح مختلف کود اوره نیز بر ارتفاع بوته، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه اثر معنی‌دار داشت. علاوه‌بر این، برهم‌کنش سال × رقم بر عملکرد دانه، شاخص برداشت و بهره‌وری آب باران در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد که نشان می‌دهد واکنش ارقام به تغییرات اقلیمی سالانه متفاوت بوده و حساسیت آن‌ها

به شرایط محیطی یکسان نیست. همچنین اثر متقابل سال × اوره بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد که بیانگر تغییر پاسخ گیاه به مصرف کود اوره در سال‌های مختلف است. اثر متقابل رقم × اوره بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱ درصد و اثر سه‌گانه سال × رقم × اوره بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. با این حال، اثر متقابل رقم × اوره و اثر سه‌گانه سال × رقم × اوره به‌جز ارتفاع بوته بر سایر صفات مورد بررسی معنی‌دار نشد که نشان‌دهنده ثبات نسبی واکنش ارقام مورد مطالعه به سطوح مختلف کود نیتروژن در طول سال‌های مورد بررسی است.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف کود اوره بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم عدس دیم در دو سال ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴

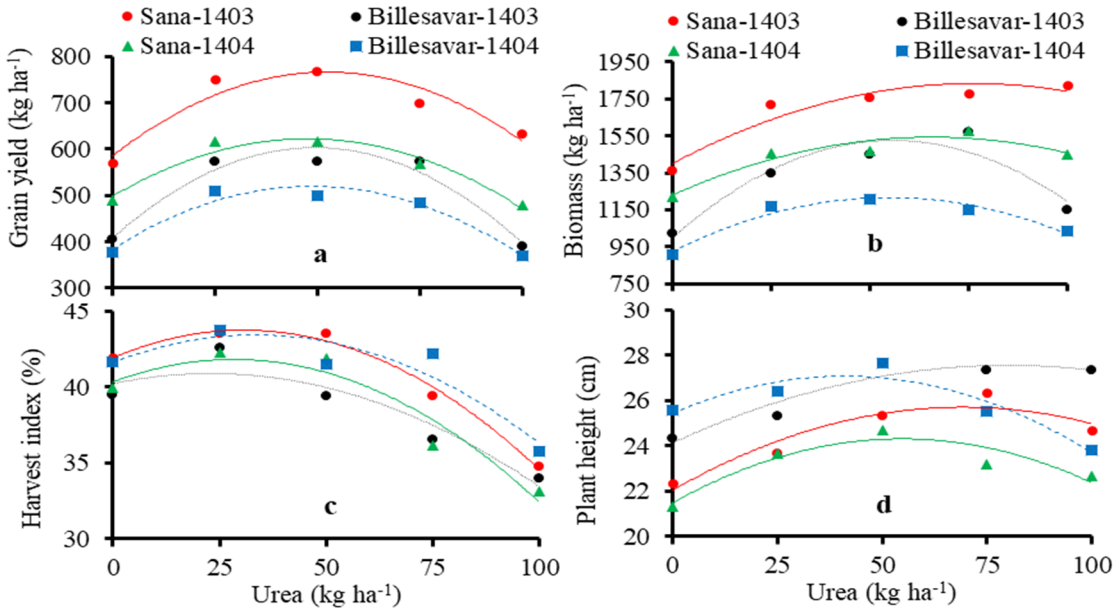
Table 2. Combined analysis of variance (mean squares) of the effect of different urea fertilizer levels on yield and yield components of two rainfed lentil cultivars in two years (2024, 2025)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزاردانه 1000-kernel weight	بهره‌وری آب باران Rain water productivity
سالYear	1	14.66**	828140.01**	128066.40**	1.31	60.56**	0.084*
بلوک (سال) Block (Year)	4	2.37	11154.73	2220.43	6.83	0.20	0.016
رقم Variety	1	79.45**	1954454.01**	305877.60**	0.01	7.70*	2.274**
سال × رقم Variety×Year	1	2.03	5703.75	21660.00**	77.48**	0.10	0.100**
رقم × بلوک (سال) Variety×Block(Year)	4	1.55	24246.33	5972.1	2.34	3.07	0.049
اوره Urea	4	14.72**	279845.72**	70556.33**	134.00**	9.68**	0.533**
سال × اوره Urea×Year	4	6.95**	14287.47	1688.73	0.74	0.96	0.007
رقم × اوره Urea×Variety	4	1.02	31422.14**	2019.01	6.60	0.17	0.014
سال × رقم × اوره Urea×Variety×Year	4	1.46	21192.62*	938.41	4.95	0.40	0.006
خطا Error	32	1.60	6259.68	1697.98	4.37	1.61	0.012
ضریب تغییرات C.V.		10.06	11.58	9.52	5.14	8.03	8.58

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

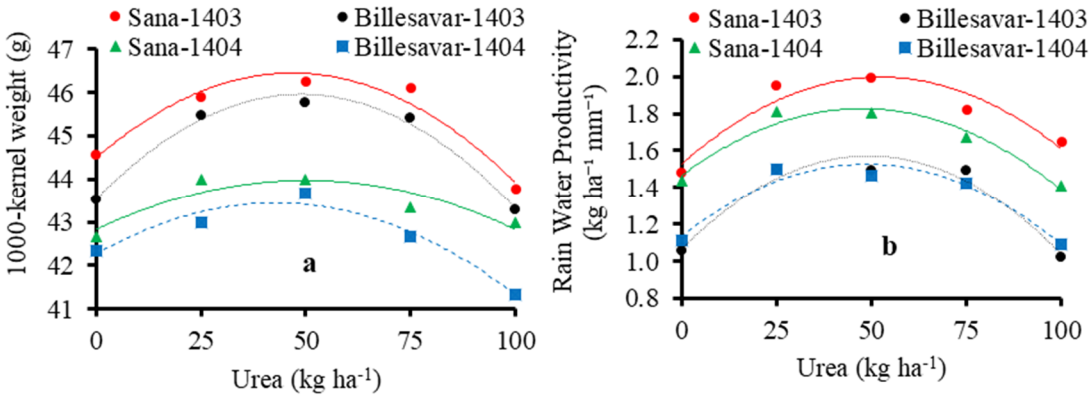
* and ** indicate significance at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

تحلیل روابط رگرسیونی: برای تحلیل روابط رگرسیونی به‌عنوان مکمل تجزیه واریانس، روابط بین سطوح مختلف کود اوره (متغیر مستقل) و صفات زراعی (متغیر وابسته) در قالب مدل‌های رگرسیون غیرخطی درجه دوم مورد ارزیابی قرار گرفت. روابط رگرسیونی برازش‌یافته بین سطوح کود اوره (x) و صفات مورد مطالعه (y) برای ارقام عدس در دو سال آزمایش در شکل‌های 2 و 3 ارائه شده است. بر اساس نتایج تحلیل‌های رگرسیونی، مشخص شد که تمامی صفات مورد مطالعه در هر دو رقم به مصرف سطوح مختلف کود اوره واکنشی سهمی‌شکل نشان دادند؛ به این صورت که با افزایش تدریجی مصرف نیتروژن تا رسیدن به یک سطح بهینه، روند افزایشی در صفات مشاهده شد، اما پس از عبور از این نقطه، عملکرد و اجزای آن به‌تدریج کاهش یافتند (شکل ۲). این الگوی سهمی‌شکل که با قانون بازده نزولی مطابقت دارد (۱۸)، از پدیده‌های شناخته‌شده در فیزیولوژی گیاهان زراعی بوده و در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (19). این رفتار را می‌توان به دو جنبه فیزیولوژیکی اصلی نسبت داد: نخست آنکه در سطوح پایین نیتروژن، کمبود این عنصر ضروری باعث محدودیت رشد شده و با افزایش تدریجی آن، فتوسنتز و تولید ماده خشک بهبود می‌یابد. دوم آنکه در سطوح بالای کود اوره، اثرات منفی فیزیولوژیک از جمله کاهش تثبیت زیستی نیتروژن (۱۲)، برهم‌خوردن تعادل عناصر غذایی، افزایش شوری موضعی در ناحیه ریشه (۱۰) و رشد رویشی بیش از حد که منجر به افزایش تعرق و تشدید تنش خشکی می‌شود (۱۱)، به کاهش عملکرد منجر می‌شوند. در همین راستا، شیلپا و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که مصرف بیش از حد اوره می‌تواند به علت اختلال در جذب کاتیون‌هایی مانند K^+، Ca^{2+} و Mg^{2+}، موجب محدودیت رشد شود (19).



شکل ۲- روابط رگرسیون درجه دوم برازش‌یافته بین سطوح مختلف کود اوره و عملکرد دانه (a)، زیست‌توده (b)، شاخص برداشت (c) و ارتفاع گیاه (d) دو رقم سنا و بیله‌سوار عدس کشت شده در طی دو سال زراعی ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ در مراغه

Figure 2. Fitted quadratic regression relationships between different urea fertilizer levels and grain yield (a), biomass (b), harvest index (c), and plant height (d) of Sana and Bilehsavar lentil cultivars cultivated during the 2024-2025 and 2025-2026 growing seasons in Maragheh



شکل ۳- روابط رگرسیون درجه دوم برازش‌یافته بین سطوح مختلف کود اوره و وزن هزار دانه (a) و بهره‌وری آب باران (b) دو رقم سنا و بیله‌سوار عدس کشت شده در طی دو سال زراعی ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ در مراغه

Figure 3. Fitted quadratic regression relationships between different urea fertilizer levels and 1000-kernel weight (a)and rain water productivity (b) of Sana and Bilehsavar lentil cultivars cultivated during the 2024-2025 and 2025-2026 growing seasons in Maragheh

تحلیل پارامترهای مدل‌های رگرسیونی: مدل‌های رگرسیون درجه دوم برازش‌یافته بین سطوح کود اوره و صفات عملکردی ارقام عدس در سال‌های ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ در جداول ۳ و ٤ ارائه شده‌اند. علامت مثبت ضرایب خطی (b) در تمامی معادلات بیانگر اثر افزایشی اولیه مصرف اوره بر صفات است، در حالی که ضرایب درجه دوم (c) با علامت منفی تأییدکننده الگوی نزولی و سهموی واکنش‌ها پس از عبور از نقطه بهینه بوده و با رفتار شناخته‌شده گیاهان نسبت به نیتروژن سازگاری کامل دارد (۲۰). نکته قابل‌تأمل در تحلیل ضرایب، نیاز بیشتر کودی برای دستیابی به بیشینه صفات رویشی (نظیر زیست‌توده و ارتفاع بوته) در مقایسه با صفات زایشی (مانند عملکرد دانه و وزن هزاردانه) بود. این موضوع بیانگر آن است که اگرچه تخصیص نیتروژن بیشتر می‌تواند رشد رویشی را تا حد بیشتری تحریک نماید، اما برای نیل به حداکثر عملکرد اقتصادی دانه، سطوح کمتری از کود نیز کفایت می‌کند. بر اساس مطالعات پیشین، نیتروژن به‌عنوان یک عامل کلیدی در فرآیندهای رشدی و توسعهٔ گیاهان شناخته شده است. در حبوبات، این نیاز در مراحل اولیهٔ تشکیل دانه به اوج خود می‌رسد، به طوری که هم از ظرفیت تثبیت زیستی نیتروژن پیشی گرفته و هم از میزان مورد نیاز در مرحلهٔ پرشدن دانه فراتر می‌رود (۲۱).

نقاط بهینه و پاسخ حداکثر: بررسی روابط ریاضی مدل‌های رگرسیونی برازش‌یافته نشان داد که بیشترین مقدار ارتفاع بوته، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن هزاردانه و بهره‌وری آب باران در سال زراعی ۱۴۰۳ برای رقم سنا و بیله‌سوار به‌ترتیب با مصرف مقادیر ۷٦-۳۱ و ۸۵-۲۲ کیلوگرم اوره در هکتار قابل‌دستیابی است (جدول ۳) و با مصرف این مقادیر بهینه از کود اوره، صفات مورد مطالعه در مقایسه با شاهد (بدون مصرف کود) به‌ترتیب به میزان ۳۱-٤ و ۵۲-۲ درصد افزایش خواهد یافت. در سال زراعی ۱۴۰۴، بیشترین مقدار ارتفاع بوته، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن هزاردانه و بهره‌وری آب باران برای رقم سنا و بیله‌سوار به‌ترتیب با مصرف مقادیر ٦٦-۲۹ و ۵۵-۳٤ کیلوگرم اوره در هکتار قابل‌دستیابی بوده (جدول ٤) و با مصرف این مقادیر بهینه، صفات مورد مطالعه در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به میزان ۲۵-۲ و ۳۵-۳ درصد افزایش خواهد یافت. هومایون و

همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کاربرد مقادیر مناسب نیتروژن، رشد زیست‌توده و عملکرد دانه را افزایش داد (۲۲).

جدول ۳- ضرایب رگرسیون چندجمله‌ای درجه دوم و پارامترهای آماری مدل‌های برازش‌یافته بین سطوح کود اوره و صفات مورفولوژیک-عمکردی ارقام عدس در سال ۱۴۰۳

Table 3. Quadratic polynomial regression coefficients and statistical parameters of fitted models between urea fertilizer levels and morpho-physiological traits of lentil varieties in 2024

		ارتفاع بوته Plant height (cm)	بیومس Biomass (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	وزن هزاردانه 1000-kernel weight (g)	بهره‌وری آب باران Rain water productivity (kg seed ha^{-1} mm^{-1})
Sana سنا							
پارامترهای مدل Model Coeficients	a	22.048	1400.80	586.14	41.921	44.494	1.5268
	b	0.1055	11.35	6.8872	0.1173	0.0838	0.0179
	c	-0.0008	-0.07	-0.0658	-0.0019	-0.0009	-0.0002
R^2		0.903	0.907	0.902	0.989	0.953	0.902
RMSE		0.428	50.51	22.96	0.346	0.213	0.06
Xmax[1]		66	76	52	31	47	45
Ymax[2]		26	1833	766	44	46	1.93
Bilehsavar بیله‌سوار							
پارامترهای مدل Model Coeficients	a	24.13	1000.1	408.64	40.21	43.53	1.0644
	b	0.09	18.818	7.8956	0.0575	0.0995	0.0206
	c	0.00	-0.1687	-0.0801	-0.0013	-0.001	-0.0002
R^2		0.909	0.906	0.948	0.882	0.988	0.948
RMSE		0.4	61.07	19.55	0.998	0.115	0.051
Xmax		85	56	49	22	50	52
Ymax		28	1525	603	41	46	1.59

۱ و ۲: X_{max} مقدار کود مورد نیاز برای دستیابی به بیشترین مقدار صفت مورد بررسی و Y_{max} بیشترین مقدار صفت مورد بررسی که با مصرف X_{max} حاصل می‌شود. هر دو مقدار، با استفاده از رابطه رگرسیونی برازش‌یافته محاسبه شده‌اند.

1, 2: X_{max}: Fertilizer amount to reach maximum trait value; Y_{max}: Maximum trait value obtained with X_{max} (calculated from the fitted regression).

در هر دو سال زراعی، رقم بیله‌سوار در مقایسه با رقم سنا ارتفاع بوته بیشتر اما عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و بهره‌وری آب کمتری داشت. مقادیر پیش‌بینی شده هریک از صفات مورد مطالعه که پتانسیل ذاتی رقم در شرایط عدم مصرف کود اوره را نشان می‌دهد نیز برتری رقم سنا در صفات مورد بررسی را تأیید کرد که نشان می‌دهد رقم سنا حتی بدون مصرف کود نیتروژنی نیز از کارایی مطلوبی در استفاده از نیتروژن خاک در منطقه سردسیر مراغه برخوردار است. در این رابطه، بابر و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که حتی در شرایطی که کود نیتروژن به گیاه داده نشود، عدس می‌تواند بخش قابل‌توجهی از نیاز نیتروژنی خود را از طریق تثبیت زیستی نیتروژن تأمین کند و مقادیر تثبیت نیتروژن در عدس

بسته به عوامل خاکی و اقلیمی متغیر است (٤). کومار و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش کردند که یک رقم عدس ممکن است نسبت به یک رقم دیگر، در برخی از صفات برتری داشته و در برخی دیگر ضعیف‌تر عمل نماید (۲۳). بنابراین، رقم بیله‌سوار (در هر دو سال زراعی مورد مطالعه) در مقایسه با سنا با مصرف کود کمتر، افزایش عملکرد (درصد) بیشتری نشان داد که نشان‌دهنده کودپذیری بهتر این رقم در مقایسه با رقم سنا می‌باشد؛ اگرچه بیشینه عملکرد رقم سنا بیشتر از بیله‌سوار بود. بنابراین، به نظر می‌رسد بیله‌سوار دارای مکانیسم‌های فیزیولوژیکی کارآمدتری در جذب، انتقال یا متابولیسم نیتروژن می‌باشد. این یافته‌ها با نتایج گزارش‌شده توسط بنایان و همکاران (۲۰۱۹) همسو است؛ آن‌ها نشان دادند که عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف عدس در واکنش به سطوح متفاوت کود نیتروژن متغیر بوده و برخی ارقام به دلیل کارایی بالاتر در استفاده از نیتروژن، از کودپذیری بهتری برخوردار هستند (۱۳).

جدول ٤- ضرایب رگرسیون چندجمله‌ای درجه دوم و پارامترهای آماری مدل‌های برازش‌یافته بین سطوح کود اوره و صفات مورفولوژیک-عمکردی ارقام عدس در سال ١٤٠٤

Table 4. Quadratic polynomial regression coefficients and statistical parameters of fitted models between urea fertilizer levels and morpho-physiological traits of lentil varieties in 2025

		ارتفاع بوته Plant height (cm)	بیومس Biomass (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	وزن هزاردانه 1000-kernel weight (g)	بهره‌وری آب باران Rain water productivity (kg seed ha^{-1} mm^{-1})
سنا Sana							
پارامترهای مدل Model Coeficients	a	21.494	1229.90	498.5	40.33	42.829	1.4636
	b	0.1028	9.54	5.2063	0.1036	0.0457	0.0153
	c	-0.0009	-0.07	-0.0547	-0.0018	-0.0005	-0.00016
R^2		0.869	0.914	0.955	0.925	0.804	0.955
RMSE		0.401	34.02	12.58	0.963	0.236	0.037
Xmax[1]		57	66	48	29	46	48
Ymax[2]		24	1543	622	42	44	1.83
بیله‌سوار Bilehsavar							
پارامترهای مدل Model Coeficients	a	25.44	924.97	385.76	41.604	42.257	1.1325
	b	0.08	10.61	5.5137	0.1078	0.0554	0.0162
	c	0.00	-0.10	-0.0567	-0.0016	-0.0006	-0.00017
R^2		0.893	0.956	0.949	0.86	0.953	0.95
RMSE		0.41	22.77	13.74	1.02	0.17	0.4
Xmax		40	55	49	34	46	48
Ymax		27	1216	520	43	44	1.52

۱ و ۲: X_{max} مقدار کود مورد نیاز برای دستیابی به بیشترین مقدار صفت مورد بررسی و Y_{max} بیشترین مقدار صفت مورد بررسی که با مصرف X_{max} حاصل می‌شود. هر دو مقدار، با استفاده از رابطه رگرسیونی برازش‌یافته محاسبه شده‌اند.

1, 2: X_{max}: Fertilizer amount to reach maximum trait value; Y_{max}: Maximum trait value obtained with X_{max} (calculated from the fitted regression).

پایداری صفات مورد مطالعه طی دو سال زراعی متوالی: بررسی نتایج حاصل از دو سال زراعی متوالی نشان داد که شرایط آب و هوایی نقش تعیین‌کننده‌ای در واکنش عدس به مصرف کود اوره داشت. در سال ١٤٠٣ که با بارش مطلوب (۳۸۱ میلی‌متر) و توزیع نسبتاً یکنواخت باران همراه بود، هر دو رقم برای دستیابی به بیشینه ارتفاع بوته، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و وزن هزاردانه به سطوح بالاتری از اوره نیاز داشتند و در همین سال بهره‌وری آب باران در بالاترین سطح خود قرار داشت. در مقابل، در سال ١٤٠٤ به دلیل کاهش بارندگی (۲۸۰ میلی‌متر)، بروز خشکی انتهای فصل و سرمای شدیدتر زمستانه، سطح بهینه مصرف کود کاهش یافت که نشان‌دهنده محدود شدن فرآیندهای فتوسنتزی، رشد گیاه و کارایی استفاده از نیتروژن تحت شرایط تنش محیطی بوده است. در این رابطه، هوانگ و همکاران (٢٠١٦) به این نتیجه رسیدند که پاسخ عملکرد عدس به نیتروژن در شرایط دیم تحت‌تأثیر شرایط رطوبتی قرار دارد و افزودن نیتروژن در شرایط محدودیت رطوبتی (در سال‌های خشک) ممکن است تأثیر کمتری بر عملکرد داشته باشد (٢٤).

رقم بیله‌سوار در سال مطلوب به دلیل پتانسیل رشد رویشی بالاتر، به سطح کودی بیشتری نیاز داشت و با مصرف بهینه کود اوره، افزایش بیشتری در ارتفاع بوته، عملکرد زیستی و عملکرد دانه نسبت به شاهد نشان داد. با این حال، در سال پرتنش ١٤٠٤، سطح بهینه مصرف کود و ضرایب رگرسیون کاهش محسوسی نشان دادند. در مقابل، رقم سنا در شرایط سرد و خشک سال ١٤٠٤ ثبات بیشتری در عملکرد و صفات مورفوفیزیولوژیک از خود نشان داد. این مسئله بیانگر آن است که رقم سنا نسبت به تغییرات اقلیمی پایداری بالاتری دارد، در حالی که رقم بیله‌سوار بیشتر به شرایط بهینه محیطی متکی است. گزارش شده است که ارقام عدس به‌طور متفاوتی به تنش خشکی و مصرف کود نیتروژن واکنش نشان می‌دهند و پاسخ‌های ارقام مختلف به کود نیتروژن تحت‌تأثیر شرایط محیطی، به‌ویژه تنش خشکی قرار دارد (۲۵). همچنین، الحداد و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که در شرایط تنش خشکی و گرما، پاسخ ارقام عدس به مصرف کود نیتروژن کاهش می‌یابد (٢٦).

توصیه کودی: با استفاده از مدل‌های رگرسیونی برازش‌یافته و با در نظر گرفتن هزینه مصرف کود و ارزش اقتصادی محصول تولید شده، بهینه‌ترین مقدار کود برای دستیابی به بیشترین سود اقتصادی (دوز بهینه اقتصادی) محاسبه شد. بر این اساس، برای رقم پایدارتری مانند سنا، مصرف ٤٥ تا ٥٠ کیلوگرم اوره در هکتار (معادل ۲۱ تا ۲۳ کیلوگرم نیتروژن خالص) و برای رقم بیله‌سوار، مصرف ٤٧ کیلوگرم اوره در هکتار (معادل ۲۲ کیلوگرم نیتروژن خالص) به‌عنوان دوز بهینه اقتصادی پیشنهاد می‌شود. با این حال، با توجه به عملکرد بالاتر و پایداری بهتر رقم سنا در هر دو سال، به‌ویژه در شرایط با تنش بیشتر، کشت این رقم با مصرف ٤٥ کیلوگرم اوره در هکتار به‌عنوان راهکار پایدارتر جهت کاهش ریسک تولید در شرایط اقلیمی متغیر منطقه مراغه توصیه می‌شود. بنایان اول و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که مصرف ٤٠ کیلوگرم کود اوره در هکتار موجب افزایش طول دوره رشد، شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک در عدس شد. آنان سطح ٤٠ کیلوگرم اوره در هکتار را برای کشت عدس در شرایط خشک و نیمه‌خشک توصیه کردند (۳).

نتیجه‌گیری کلی

پاسخ ارقام عدس دیم به مصرف کود اوره در منطقه مراغه به‌شدت تحت‌تأثیر تغییرپذیری اقلیمی سالانه قرار داشت. اگرچه هر دو رقم از الگوی

سهموی در پاسخ به نیتروژن تبعیت کردند، اما رقم سنا با برخورداری از پایداری عملکرد بالاتر، شاخص برداشت مطلوب‌تر و بهره‌وری آب بالاتر، به‌عنوان گزینه مناسب‌تر برای کشت در شرایط دیم ناپایدار منطقه سردسیر مراغه شناخته می‌شود. در مقابل، رقم بیله‌سوار می‌تواند در سال‌های با شرایط اقلیمی مطلوب، عملکرد قابل‌قبولی داشته باشد. مصرف مقادیر ۵۰-۴۵ کیلوگرم اوره در هکتار برای رقم سنا و ۴۷ کیلوگرم در هکتار برای رقم بیله‌سوار، همراه با انتخاب رقم سازگار، راهکار مناسبی برای دستیابی به پایداری تولید در سامانه‌های کشت دیم عدس می‌باشد.

سپاسگزاری

این مقاله از نتایج پروژه تحقیقاتی با کد مصوب «۰۲۰۷۴۵-۰۱۰-۱۵-۱۵-۰» در مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور استخراج شده و نویسندگان صمیمانه از حمایت‌های مالی و فنی این مؤسسه قدردانی می‌نمایند.

References

1. Dhaliwal, S.S., Sharma, V., Shukla, A.K., Kaur, J., Verma, V., Singh, P., & Hossain, A. (2021). Enrichment of zinc and iron micronutrients in lentil (*Lens culinaris* Medik.) through biofortification. *Molecules*, *26*(24), 7671.
2. Sabaghpour, S.H., Shahbazi, H., & Rezakhanlou, R. (2019). The effect of using biological and chemical nitrogen fertilizers on yield and yield components in lentil cultivars. *Iranian Journal Pulses Research*, *10*(1), 40-51. (In Persian with English Abstract)
3. Bannayan Aval, M., Yaghoubi, F., Rashidi, Z., & Bardehji, S. (2018). Effect of different nitrogen levels on phenology, growth indices and yield of two lentil cultivars under rainfed conditions in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(4), 939-956. (In Persian with English Abstract)
4. Baber, K., Jones, C., Miller, P., Lamb, P., & Atencio, S. (2023). Lentil nitrogen fixation response to fertilizer and inoculant in the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, *115*(5), 2614-2630.
5. Mesgaran, M.B., Madani, K., Hashemi, H., & Azadi, P. (2017). Iran's land suitability for agriculture. *Scientific reports*, *7*(1), 7670.
6. Turay, K.K., Andrews, M., & McKenzie, B.A. (1991). Effects of starter nitrogen on early growth and nodulation of lentil (*Lens culinaris* Medik.). In Proceedings of the agronomy society of New Zealand (21, pp. 61-65).
7. Seyed Sharif, R., & Seyed Sharifi, R. (2020). Effects of starter nitrogen, methanol and bio fertilizers application on yield, nodulation and grain filling period of rainfed lentil. *Journal of Crops Improvement*, *22*(3), 445-460. (In Persian with English Abstract)
8. Walley, F.L., Boahen, S.G., Hnatowich, K., & Stevenson, C. (2005). Nitrogen and phosphorus fertility management for desi and kabuli chickpea. *Canadian Journal of Plant Science*, *85*, 73-79.
9. Rahman, M.M., Ashutosh Sarker, A.S., Shiv Kumar, S.K., Asghar Ali, A.A., Yadav, N.K., & Rahman, M.L. (2009). Breeding for short season environments. In The lentil: Botany, production and uses (pp. 121-136). Wallingford UK: CABI.
10. Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Wang, M., Ali, A., Cheng, A., & Ma, C. (2019). Grain legumes and fear of salt stress: Focus on mechanisms and management strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(4), 799.

11. Sun, X., Miao, Q., Gu, Y., Yang, L., & Wang, P. (2025). Research on the physiological mechanisms of nitrogen in alleviating plant drought tolerance. *Plants*, *14*(18), 2928.

12. Zhou, M., Li, Y., Yao, X.L., Zhang, J., Liu, S., Cao, H.R., & Chen, Z.C. (2024). Inorganic nitrogen inhibits symbiotic nitrogen fixation through blocking NRAMP2-mediated iron delivery in soybean nodules. *Nature Communications*, *15*(1), 8946.

13. Bannayan, M., Yaghoubi, F., Rashidi, Z., & Bardehji, S. (2019). Effect of different nitrogen levels on yield components, yield and nitrogen use efficiency of two lentil cultivars in rainfed conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *10*(1), 155-170. (In Persian with English Abstract)

14. Dane, J.H., & Topp, C.G. (2020). Methods of Soil Analysis, Part 4: Physical Methods. John Wiley & Sons.

15. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., & Loeppert, R.H. (2020). Methods of Soil Analysis, part 3: Chemical methods. John Wiley & Sons.

16. Azimzadeh, Y., Mohammadzadeh, A., Hasanian Khoshroo, H., & Ghahramanian, G. (2025). Investigating the response of rainfed chickpea to different nitrogen fertilizer levels in cold regions. *Iranian Journal Pulses Research*, *16*(1), 177-191. (In Persian with English Abstract)

17. Rockström, J., Karlberg, L., Wani, S.P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis, T., & Qiang, Z. (2010). Managing water in rainfed agriculture—The need for a paradigm shift. *Agricultural Water Management*, *97*(4), 543-550.

18. Dhakal, C., & Lange, K. (2021). Crop yield response functions in nutrient application: A review. *Agronomy Journal*, *113*(6), 5222-5234.

19. Shilpha, J., Song, J., & Jeong, B.R. (2023). Ammonium phytotoxicity and tolerance: An insight into ammonium nutrition to improve crop productivity. *Agronomy*, *13*(6), 1487.

20. Aghabeygi, M., & Dönmez, C. (2024). Estimating yield response functions to nitrogen for annual crops in Iran. Agronomy Journal, *14*(3), 436.

21. Gan, Y., Stulen, I., van Keulen, H., & Kuiper, P.J. (2003). Effect of N fertilizer top-dressing at various reproductive stages on growth, N2 fixation and yield of three soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotypes. *Field Crops Research*, *80*(2), 147-155.

22. Humayun, K.M., Pronabananda, D., Monirul, I.M., Belal, H.M., Mamun, A.N.K., & Roland, V.R. (2019). Effect of different doses of nitrogen on nitrogen fixation and yield of lentil using tracer technique. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, *6*, 69-75.

23. Kumar, S., Sharma, S.K., Dhaka, A.K., Bedwal, S., Sheoran, S., Meena, R.S., & Hossain, A. (2023). Efficient nutrient management for enhancing crop productivity, quality and nutrient dynamics in lentil (*Lens culinaris* Medik.) in the semi-arid region of northern India. *Plos one*, *18*(2), e0280636.

24. Huang, J., Keshavarz Afshar, R., & Chen, C. (2016). Lentil response to nitrogen application and rhizobia inoculation. *Communications in soil science and plant analysis*, 47(21), 2458-2464.

25. Gutierrez, A.F., Rodriguez-Torres, A.F., & Gutierrez-Gonzalez, J.J. (2025). Accurate screening for drought tolerance in lentils (*Lens culinaris* Medik). *Plant Stress*, 100994.

26. El Haddad, N., Choukri, H., Ghanem, M.E., Smouni, A., Mentag, R., Rajendran, K., & Kumar, S. (2021). High-temperature and drought stress effects on growth, yield and nutritional quality with transpiration response to vapor pressure deficit in lentil. *Plants*, *11*(1), 95.