

## تحلیل رگرسیونی پاسخ عملکرد ارقام عدس به سطوح مختلف کود اوره در شرایط دیم

یاسر عظیمزاده<sup>۱\*</sup>، مختار داشادی<sup>۲</sup>، امین نامداری<sup>۳</sup>، آرش محمدزاده<sup>۱</sup>، مژگان تبریزیوند طاهری<sup>۱</sup>، حلیمه رزمی<sup>۱</sup>

- ۱- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
- ۲- معاونت سرارود، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
- ۳- مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی استان کهگیلویه و بویر احمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** نیتروژن به عنوان یک عنصر غذایی ضروری، نقش محوری در فرآیندهای رویشی و زایشی گیاهان ایفا می کند و تأثیر مستقیمی بر سنتز پروتئین ها، کلروفیل، اسیدهای آمینه و اسیدهای نوکلئیک دارد. با این حال، پاسخ گیاهان به کود نیتروژن تحت تأثیر متغیرهایی مانند شرایط محیطی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و پتانسیل ژنتیکی ارقام مختلف قرار می گیرد. مصرف ناکافی یا بیش از حد نیتروژن می تواند منجر به کاهش عملکرد محصول شود. بنابراین، ارزیابی پاسخ ارقام عدس به سطوح مختلف کود اوره در شرایط اقلیمی مختلف ایران و تعیین میزان بهینه اقتصادی آن می تواند زمینه ساز کارآمدسازی مصرف کود و دستیابی به عملکرد پایدار باشد.

**روش شناسی پژوهش:** به منظور بررسی پاسخ ارقام عدس به سطوح مختلف کود اوره در تناوب با گندم در شرایط دیم، آزمایشی به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سه منطقه (مراغه، سرارود و گچساران) طی سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ اجرا شد. تیمارها شامل ارقام عدس (سنا و بیله سوار در مراغه، بیله سوار و لاین ۸۳۲۲۷-۰۴S۰۹ در سرارود و سپهر و گچساران در گچساران) در کرت اصلی و سطوح نیتروژن (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) در کرت فرعی بودند. کاشت در مراغه و سرارود به صورت بهاره و در گچساران به صورت پاییزه و با استفاده از کارنده آسکه سه محوره انجام شد. برای تحلیل روابط رگرسیونی به عنوان مکمل تجزیه واریانس، روابط بین سطوح مختلف کود اوره (متغیر مستقل) و صفات زراعی (متغیر وابسته) در قالب مدل های رگرسیون غیرخطی درجه دوم مورد ارزیابی قرار گرفت.

**یافته های پژوهش:** در هر سه منطقه، الگوی پاسخ اکثر صفات به سطوح مختلف کود اوره به صورت سهمی شکل بود که نشان دهنده وجود یک نقطه بهینه برای مصرف کود است. در مراغه، حداکثر عملکرد دانه رقم سنا (۷۶۶ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۵۲ کیلوگرم اوره در هکتار و بیله سوار (۶۰۳ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۴۹ کیلوگرم اوره در هکتار حاصل شد. در سرارود، لاین S83 با کاربرد ۶۲ کیلوگرم اوره در هکتار و بیله سوار با مصرف ۵۳ کیلوگرم اوره در هکتار به ترتیب عملکرد ۲۴۵۶ و ۲۲۸۸ کیلوگرم در هکتار رسیدند. در گچساران، ارقام گچساران و سپهر به ترتیب با کاربرد ۵۷ و ۶۸ کیلوگرم اوره در هکتار، عملکرد ۸۶۲ و ۷۸۸ کیلوگرم در هکتار تولید کردند. حد بهینه اقتصادی اوره در مراغه برای سنا و بیله سوار برابر ۵۰، در سرارود برای S83 و بیله سوار ۵۵ و در گچساران برای گچساران و سپهر ۴۵ کیلوگرم اوره در هکتار محاسبه شد.

**کلمات کلیدی:** عدس، کود آغازگر، نیتروژن، نیاز غذایی



\* نگارنده مسئول: y.azi.mzadeh@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۷



و کمبود بقایای گیاهی تشدید می‌شود، به طوری که محتوای نیتروژن اولیه خاک قادر به تأمین نیازهای غذایی گیاه نیست. این عدم تعادل غذایی نه تنها عملکرد محصول را کاهش می‌دهد، بلکه می‌تواند در جذب سایر عناصر غذایی توسط گیاه نیز اختلال ایجاد کند (Ali et al., 2025). از این رو، 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.

اگرچه عدس قادر است حدود ۹۰ (Liu et al., 2019) تا ۱۳۰ (Baber et al., 2023) کیلوگرم نیتروژن در هکتار را از طریق تثبیت زیستی تأمین کند، اما این مکانیسم در خاک‌های فقیر از ماده آلی و نیتروژن ممکن است پاسخگوی کامل نیاز گیاه نباشد. در چنین شرایطی، کاربرد مقدار کافی کود نیتروژن به عنوان آغازگر (استارتر) در زمان مناسب می‌تواند با تحریک رشد ریشه، تسهیل تشکیل گره‌های ریشه و افزایش فعالیت باکتری‌های ریزوبیوم، فرآیند تثبیت نیتروژن را بهبود بخشد. این رویکرد ضمن تأمین نیاز نیتروژنی گیاه در مراحل اولیه رشد، تا زمان استقرار کامل سیستم همزیستی، نقش مهمی در بهینه‌سازی عملکرد تثبیت زیستی نیتروژن ایفا می‌کند (Sadiq et al., 2023). در این رابطه، والی و همکاران (Walley et al., 2005) گزارش کردند که مقادیر کم نیتروژن آغازگر (تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار) موجب تحریک تثبیت زیستی نیتروژن شد، در حالی که مقادیر بالاتر اثر بازدارنده داشت. نوری و همکاران (Nouri et al., 2005) گزارش کردند که مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، عملکرد و اجزای عملکرد باقلا را به طور معنی‌دار افزایش داد. در مطالعه ابطحی و همکاران (Abtahi et al., 2015)، ترکیب نیتروژن آغازگر با تلقیح ریزوبیومی منجر به بهبود شاخص‌های رشد از جمله تعداد گره‌ها و دوره

عدس (*Lens culinaris* Medik.) از مهم‌ترین حبوبات دانه‌ای خانواده بقولات محسوب می‌شود که خاستگاه آن منطقه خاورمیانه است. این گیاه با دارا بودن میانگین ۲۵ درصد پروتئین و ۵۶ درصد کربوهیدرات و غلظت بالای عناصر معدنی، جایگاه ویژه‌ای در سبد غذایی انسان و تغذیه دام دارد. ارزش غذایی بالا همراه با قابلیت هضم مناسب پروتئین‌های عدس، آن را به یکی از منابع پروتئینی باکیفیت تبدیل کرده است (Erskine et al., 2011). از مزایای اکولوژیک عدس می‌توان به توان تثبیت زیستی نیتروژن اتمسفری، کاهش آلودگی‌های زراعی (علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها) در سیستم‌های تناوبی و سازگاری با خاک‌های فقیر اشاره کرد. این ویژگی‌ها به همراه مقاومت به تنش‌های محیطی باعث شده است که این گیاه به عنوان یکی از گزینه‌های مناسب برای کشت در مناطق نیمه‌خشک، به‌ویژه به صورت دیم و در تناوب با غلاتی مانند گندم مطرح باشد که از رایج‌ترین الگوهای کشت در مناطق دیم ایران محسوب می‌شود (Pourtaheri et al., 2012). از این رو، عدس در ایران با سطح زیر کشت حدود ۱۵۵۷۰۰ هکتار، عمدتاً به صورت دیم کشت می‌شود. با این حال، عملکرد متوسط آن در شرایط دیم (۴۷۶ کیلوگرم در هکتار) به طور قابل توجهی 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 پایین خاک و مدیریت نامناسب کوددهی است (Sabaghpour et al., 2019).

از میان ۱۷ عنصر غذایی ضروری برای گیاهان، نیتروژن بعد از اکسیژن، کربن و هیدروژن، به عنوان کلیدی‌ترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاهان محسوب می‌شود. در اکوسیستم‌های دیم مناطق گرم و خشک، کمبود نیتروژن به دلیل معدنی‌شدن سریع مواد آلی

و اجزای عملکرد ارقام مختلف عدس دیم در مناطق دارای شرایط اقلیمی متفاوت اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

به‌منظور تحلیل رگرسیونی پاسخ عملکرد ارقام عدس به سطوح مختلف کود اوره در تناوب با گندم در شرایط دیم، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه منطقه (ایستگاه تحقیقات دیم مراغه، ایستگاه تحقیقات دیم سرارود و مرکز تحقیقات کشاورزی گچساران) در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ اجرا شد. تیمارها شامل ارقام عدس (سنا و بیله‌سوار در مراغه؛ بیله‌سوار و لاین ۰۴S۰۹-۸۳۲۲۷) (که در این پروژه به‌طور مختصر S83 نامیده می‌شود) در سرارود و سپهر و گچساران در گچساران) در کرت اصلی و سطوح کود اوره (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در کرت فرعی بود. پیش از کشت، نمونه‌های خاک از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری به‌روش مرکب جمع‌آوری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن با روش‌های استاندارد تجزیه شد (Dane and Topp, 2020; Sparks et al., 2020). برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک برداشت شده از سه مزرعه مورد مطالعه در جدول ۱ و داده‌های هواشناسی هر سه منطقه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به این که پتاسیم قابل‌استفاده هر سه خاک مورد مطالعه بیشتر از حد بحرانی بود (جدول ۱)، نیازی به مصرف کود پتاسیم نبود؛ با این حال، فسفر قابل‌استفاده خاک مزرعه مورد مطالعه در مراغه کمتر از حد بحرانی (۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم با روش اولسن) بود (Azimzadeh et al., 2025). بنابراین، قبل از کاشت، مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل مورد استفاده قرار گرفت. در سال اجرای آزمایش (۱۴۰۳) میانگین دمای هوا در مراغه، سرارود و گچساران به ترتیب برابر ۷/۲، ۱۲/۱ و ۱۹/۵ درجه سانتی‌گراد و مجموع بارش در این مناطق به ترتیب برابر ۳۸۱/۴، ۴۵۰/۵ و ۵۸۰/۵

پر شدن دانه در سویا شد. بنایان اول و همکاران (Bannayan Aval et al., 2018) دریافتند که مصرف ۴۰ کیلوگرم اوره در هکتار موجب افزایش طول دوره رشد، شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک در عدس شد. آنان سطح ۴۰ کیلوگرم اوره در هکتار را برای کشت عدس در شرایط خشک و نیمه‌خشک توصیه کردند. سیدشریفی و سیدشریفی (Seyed Sharifi and Seyed Sharifi, 2021) گزارش کردند که مصرف ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار موجب بهبود ویژگی‌های رشدی و افزایش عملکرد دانه عدس شد. نیری و همکاران (Niri et al., 2010) نیز سطح ۲۵ کیلوگرم نیتروژن خالص را برای بهینه‌سازی عملکرد کمی و کیفی عدس در شرایط خشک مؤثر دانستند. نامور و همکاران (Namvar et al., 2011) مشاهده کردند که مصرف ۷۵ کیلوگرم اوره در هکتار در مقایسه با سطوح صفر و ۵۰ کیلوگرم، موجب بهبود معنی‌دار شاخص سطح برگ، سرعت رشد، تجمع ماده خشک و در نهایت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شد.

نتایج مطالعات نشان می‌دهد که نیتروژن خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی و مراحل فنولوژیک گیاه دارد. کمبود این عنصر موجب تأخیر در رشد و نمو گیاه می‌شود. معافی پاشاکلاهی و همکاران (Moafi Pasha Kalai et al., 2012) گزارش کردند که افزایش نیتروژن، دوره رشد گیاه را طولانی‌تر کرده و زمان گلدهی را به تأخیر می‌اندازد. شعبان و همکاران (Shaban et al., 2013) نیز مشاهده کردند که مصرف نیتروژن در شرایط تنش خشکی باعث افزایش رشد رویشی و تأخیر در رسیدن به مرحله ۵۰ درصد غلاف‌دهی می‌شود. 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 زراعت عدس دیم مطرح می‌باشد. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اثر سطوح مختلف کود اوره بر عملکرد

خشک اندازه‌گیری شد. از تقسیم عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)، شاخص برداشت (درصد) محاسبه شد. 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  $(Y=a+bX+cX^2)$  مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۴,۵,۱ انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رقم، کود اوره و اثر متقابل آنها بر صفات مورد مطالعه در سه منطقه دارای الگوهای متفاوتی بود؛ به‌طوری که در منطقه مراغه، اثر رقم بر ارتفاع بوته، عملکرد زیستی و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، در حالی که بر شاخص برداشت و وزن هزاردانه تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۳).

میلی‌متر بود. بر این اساس، منطقه سرارود با دارا بودن دمای نسبتاً معتدل و میزان بارش متوسط، از نظر دمایی گرم‌تر از مراغه و خنک‌تر از گچساران بود و مجموع بارش آن بیشتر از مراغه و کمتر از گچساران بود.

پس از آماده‌سازی زمین به‌روش کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب)، کاشت در مراغه و سرارود به صورت بهاره و در گچساران به صورت پاییزه در کرت‌های  $30 \times 10$  متر، با عمق کشت ۵ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌های  $17/5$  سانتی‌متر توسط کارنده آسکه سه‌محوره انجام شد. کود اوره هم‌زمان با کشت به‌صورت جای‌گذاری در عمق ۶-۵ 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 کامل محصول و بعد از حذف ردیف‌های کناری و  $50$  سانتی‌متر از ابتدا و انتهای کرت‌ها به‌عنوان اثرات حاشیه‌ای، برداشت به‌صورت دستی از کل کرت انجام شد و سپس ارتفاع بوته، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و عملکرد ماده

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

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

نمونه خاک Soil sample	بافت Texture	اسیدیته pH	فسفر قابل استفاده Ava. P	پتاسیم قابل استفاده Ava. K	مواد خنثی‌شونده TNV	کربن آلی OC	قابلیت هدایت الکتریکی EC <sub>e</sub>
			(mg kg <sup>-1</sup> )		(%)		(dS m <sup>-1</sup> )
مراغه Maragheh	Clay loam	7.78	4.4	603	8	0.57	0.864
سرارود Sararud	Silty loam	7.51	13.0	480	10	0.60	1.210
گچساران Ghachsaran	Silty clay loam	7.70	15.9	222	51	0.93	1.560

جدول ۲- میانگین دما و بارندگی مراغه، سرارود و گچساران در سال زراعی ۱۴۰۲-۳

Table 2- Mean temperature and precipitation data of Maragheh, Sararud and Ghachsaran during the 2024-25 growing season

منطقه Region	فصل Season	مجموع نزولات Total precipitation (mm)	میانگین دمای حداقل (°C) Average minimum temperature	میانگین دمای حداکثر (°C) Average maximum temperature	میانگین دما (°C) Average temperature
	پاییز Autumn	73.8	3.4	13.4	8.5
مراغه Maragheh	زمستان Winter	144.1	2.9	5.1	1.1
	بهار Spring	163.5	6.8	17.4	12.1

نشریه زراعت دیم ایران دوره ۱۴، شماره ۲، زمستان ۱۴۰۴

میانگین دما/مجموع بارش Average Temperature/ Total Precipitation	381.4	4.4	12.0	7.2
پاییز Autumn	66.2	5.5	21.3	13.4
سرارود Sararud	200.8	0.3	12.2	6.2
زمستان Winter				
بهار Spring	183.5	8.4	25.5	16.8
میانگین دما/مجموع بارش Average Temperature/ Total Precipitation	450.5	4.7	19.7	12.1
پاییز Autumn	134.2	12.8	29.8	21.3
گچساران Ghachsaran	181.2	6.2	20.3	13.3
زمستان Winter				
بهار Spring	265.1	14.0	33.9	23.9
میانگین دما/مجموع بارش Average Temperature/ Total Precipitation	580.5	11.0	28.0	19.5

معنی دار بود، ولی اثر متقابل آنها بر هیچ یک از صفات معنی دار نشد (جدول ۳).

**نتایج تحلیل رگرسیون:** با توجه به معنی دار شدن اثر اصلی سطوح کود اوره و کمی (عددی) بودن عامل کود، به منظور بررسی دقیق تر چگونگی واکنش صفات مورد مطالعه به سطوح مختلف کود اوره و تعیین بهترین مدل ریاضی توصیف کننده این روابط، از تحلیل رگرسیون به عنوان مکمل تجزیه واریانس استفاده شد. در این راستا، روابط بین سطوح مختلف کود اوره به عنوان متغیر مستقل و صفات زراعی به عنوان متغیر وابسته، در قالب مدل های خطی دو جمله ای مورد بررسی قرار گرفت. روابط رگرسیونی غیر خطی (درجه دوم) برازش یافته بین سطوح

اثر سطوح مختلف کود اوره بر کلیه صفات در این منطقه در سطح یک درصد معنی دار شد و اثر متقابل تنها بر عملکرد زیستی معنی دار بود که نشان دهنده پاسخ متفاوت ارقام عدس به کود اوره می باشد. در منطقه سرارود، اثر رقم بر عملکرد دانه و وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد و بر عملکرد زیستی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود، اما بر شاخص برداشت و ارتفاع بوته اثر معنی دار نداشت. اثر کود اوره بر همه صفات مورد مطالعه به جز شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود و اثر متقابل فقط بر عملکرد دانه معنی دار شد. در منطقه گچساران، اثر اصلی رقم و کود اوره بر کلیه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد



جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف کود اوره بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف عدس دیم در سه منطقه مراغه، سرارود و گچساران

Table 3. Analysis of variance of the effect of different Urea fertilizer levels on yield and yield components of various rainfed lentil cultivars in three regions (Maragheh, Sararud, and Gachsaran)

مراغه Maragheh						
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	Mean Square				
		ارتفاع بوته Plant height	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزاردانه 1000-kernel weight
بلوک Block	2	0.27	4201.38	1772.25	5.90	0.70
رقم Variety (A)	1	25.85**	1041925.96**	235411.31**	32.63	2.65
بلوک×رقم Block*Variety	2	0.56	5781.98	340.53	1.62	0.08
اوره Urea (B)	4	13.20**	212661.29**	45754.01**	74.82*	7.94
رقم×اوره Variety*Urea	4	0.43	47306.37**	3109.61*	3.61	0.11
خطا Error	16	1.39	6632.67	1021.93	16.01	1.32
ضریب تغییرات C.V.		6.43	5.44	8.53	10.10	2.55
سرارود Sararud						
بلوک Block	2	3.95	119612.90	14562.12	5.45	14.62
رقم Variety (A)	1	0.02	372221.00*	74120.25**	0.05	169.79**
بلوک×رقم Block*Variety	2	2.12	10570.98	5234.04	3.40	32.95*
اوره Urea (B)	4	19.05**	574777.75**	116420.98**	8.46	36.60*
رقم×اوره Variety*Urea	4	1.40	97106.68	21918.98	1.93	6.71
خطا Error	16	1.91	46059.16	7678.23	4.90	8.31
ضریب تغییرات C.V.		4.04	6.41	9.31	5.09	4.52
گچساران Gachsaran						

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف کود اوره بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف عدس دیم در سه منطقه مراغه، سرارود و گچساران

Table 3. Analysis of variance of the effect of different Urea fertilizer levels on yield and yield components of various rainfed lentil cultivars in three regions (Maragheh, Sararud, and Gachsaran)

مراغه Maragheh						
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	Mean Square				
		ارتفاع بوته Plant height	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزاردانه 1000-kernel weight
بلوک Block	2	0.23	3709.63	142.53	0.10	0.16
رقم Variety (A)	1	17.63*	706867.50**	25989.63**	440.83**	249.41**
بلوک×رقم Block*Variety	2	0.83	12954.9	579.73	8.23	0.04
اوره Urea (B)	4	26.33**	172730.95**	5256.28**	18.62*	10.58**
رقم×اوره Variety*Urea	4	2.47	1924.42	422.05	1.08	0.86
خطا Error	16	2.08	9105.18	504.59	4.00	0.31
ضریب تغییرات C.V.		8.73	9.24	8.21	5.51	3.21

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

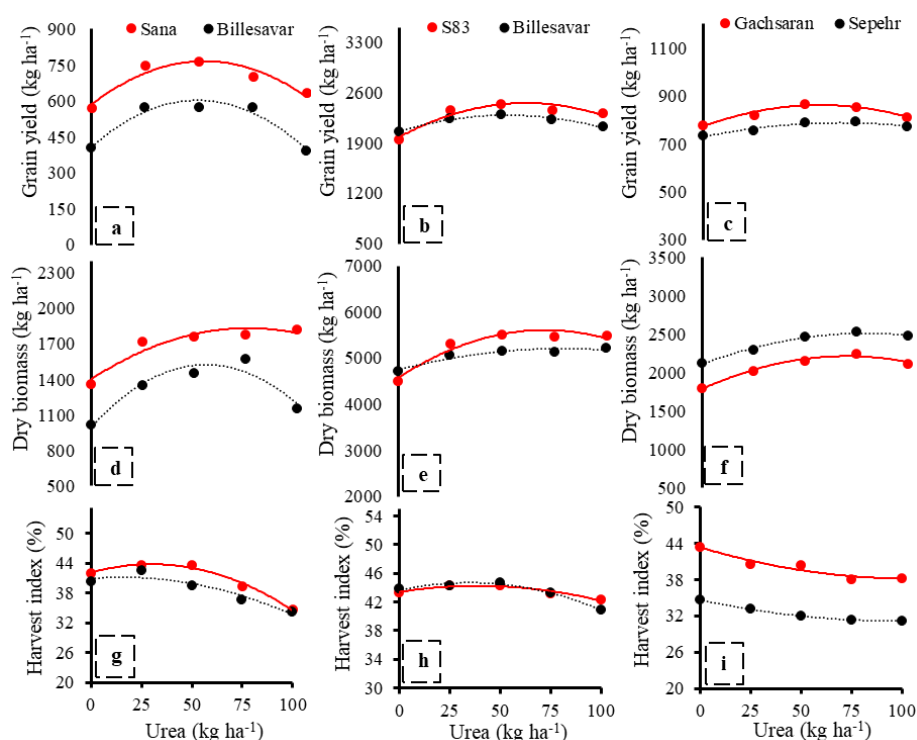
نمی شود، بلکه باعث کاهش آن ها می گردد. نیتروژن جزء کلیدی ساختمان آمینواسیدها، پروتئین ها، کلروفیل و اسیدهای نوکلئیک بوده و تأمین آن باعث بهبود رشد رویشی (افزایش ارتفاع و بیومس) و در نهایت افزایش عملکرد دانه می شود؛ اما مصرف مقادیر بیشتر اوره ممکن است به علت ایجاد برهم کنش های آنتاگونیستی با سایر عناصر غذایی، ایجاد سمیت آمونیاک و یا بیورت برای ریشه و میکروارگانیسم های همزیست و یا افزایش تنش شوری در منطقه ریزوسفر و اختلال در جذب آب توسط ریشه، منجر به کاهش صفات عملکردی شود (Shilpa et al., 2023). یافته های شیلیا و همکاران (Shilpa et al., 2023) نشان داد که مصرف بیش از حد اوره می تواند باعث اختلال در جذب کاتیون هایی نظیر  $K^+$ ،  $Ca^{2+}$  و  $Mg^{2+}$  و کاهش رشد شود. عامل دیگری که با افزایش میزان

مختلف کود اوره (x) و صفات (y) مورد مطالعه در ارقام عدس در سه منطقه مراغه، سرارود و گچساران در شکل های ۱ و ۲ ارائه شده است. به طور کلی، بررسی این روابط رگرسیونی نشان داد که در هر سه منطقه مورد بررسی، کلیه صفات اندازه گیری شده از یک روند سهمی شکل تبعیت کردند؛ بدین صورت که با افزایش مقادیر کود اوره، مقادیر صفات ابتدا روند افزایشی داشته و پس از رسیدن به یک نقطه بهینه، کاهش یافتند. تنها استثنا مربوط به شاخص عملکرد در منطقه گچساران بود که با افزایش مصرف کود اوره، کاهش خطی نشان داد (شکل ۱). این الگوی سهمی شکل حاکی از وجود یک سطح بهینه برای مصرف کود اوره است، به طوری که کاربرد بیش از این میزان نه تنها موجب بهبود صفات

صفات مورد مطالعه در هر سه منطقه نشان می‌دهد که مدل رگرسیونی درجه دوم قادر است بیش از ۹۰ درصد از تغییرات صفات مورد مطالعه را بر اساس سطوح کود اوره توضیح دهد که حاکی از اعتبار و قابلیت اطمینان بالای مدل‌های برازش‌یافته می‌باشد. علاوه بر آن، مقایسه خطای استاندارد ریشه میانگین مربعات (RMSE) همه صفات مورد مطالعه با مقادیر بیشینه (Ymax) نشان می‌دهد که خطای مدل در مقایسه با مقیاس داده‌ها ناچیز است. ضریب مثبت جمله خطی (b) حاکی از اثر مثبت اولیه کود اوره بر همه صفات مورد مطالعه بوده و ضریب منفی جمله دوم (c) در همه صفات مورد مطالعه نشان‌دهنده نزولی بودن انحنا منحنی پاسخ است که منطبق بر پاسخ گیاهان به کود نیتروژن می‌باشد (جدول ۴).

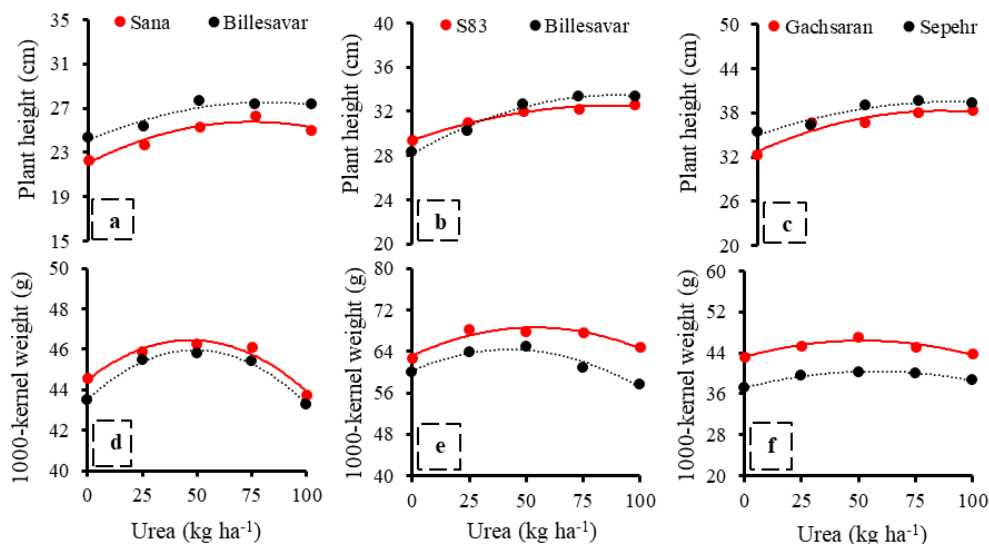
مصرف کود نیتروژنی ممکن است منجر به کاهش برخی از شاخص‌های رشدی گیاه شود، پدیده‌ای به نام «اثر رقت» است؛ به این معنی که رشد رویشی بیش از حد ناشی از مصرف بیش از اندازه نیتروژن منجر به افزایش نیاز گیاه به آب و عناصر غذایی شده و غلظت عناصر غذایی در بافت‌های گیاه کاهش می‌یابد و گیاه دچار کمبود این عناصر شده و صفات مرتبط با عملکردهای این عناصر در گیاه کاهش می‌یابد (Bao et al., 2025).

ضرایب رگرسیون چندجمله‌ای درجه دوم و پارامترهای آماری مدل‌های برازش‌یافته بین سطوح کود اوره و صفات عملکردی ارقام عدس در سه منطقه اقلیمی مراغه، سرارود و گچساران در جدول ۴ ارائه شده است. ضریب تعیین بیشتر از ۰/۹ برای کلیه



شکل ۱- روابط رگرسیونی درجه دوم برازش‌یافته بین سطوح مختلف کود اوره و عملکرد دانه (a, b, c)، زیست‌توده (d, e, f) و شاخص برداشت (g, h, i) ارقام مختلف عدس دیم کشت‌شده در مناطق مراغه (a, d, g) و گچساران (c, f, i) و سرارود (b, e, h)

Figure 1. Fitted second-degree polynomial regression relationships between different urea fertilizer levels and grain yield (a-c), biomass (d-f), and harvest index (g-i) of various rainfed lentil cultivars grown in Maragheh (a, d, g), Sararud (b, e, h), and Gachsaran (c, f, i) regions.



شکل ۲- روابط رگرسیون درجه دوم برازش یافته بین سطوح مختلف کود اوره و ارتفاع بوته (a, b, c) و وزن هزاردانه (d, e, f) ارقام مختلف عدس دیم کشت شده در مناطق مراغه (a, d)، سرارود (b, e)، و گچساران (c, f)

Figure 2. Fitted second-degree polynomial regression relationships between different urea fertilizer levels and plant height (a-c) and 1000-kernel weight (d-f) of various rainfed lentil cultivars grown in Maragheh (a, d), Sararud (b, e), and Gachsaran (c, f) regions.

۷۶ کیلوگرم اوره در هکتار) به بیشینه خود می‌رسند، در حالی که صفات زایشی مانند عملکرد دانه و وزن هزاردانه در سطوح پایین‌تر (۵۲ و ۴۷ کیلوگرم) بیشترین مقادیر را دارند.

با مصرف مقادیر بهینه کود اوره، هریک از صفات ارتفاع بوته، بیومس، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت در مقایسه با شاهد (بدون مصرف کود) به ترتیب به میزان ۳/۶ سانتی‌متر، ۳۳۲/۳ کیلوگرم در هکتار، ۱۸۰/۲ کیلوگرم در هکتار، ۲/۰ گرم و ۱/۷ درصد افزایش می‌یابد که به ترتیب معادل ۱۶، ۳۱، ۳۱، ۴ و ۴ درصد افزایش نسبت به شاهد می‌باشد. افزایش قابل توجه در بیومس (۳۱ درصد) و عملکرد دانه (۳۱ درصد) نقش حیاتی نیتروژن در افزایش تولید ماده خشک و تسهیل انتقال آن به دانه را نشان می‌دهد. افزایش مقادیر صفات مورد بررسی نسبت به شاهد را می‌توان به بهبود تولید ماده خشک و بهره‌وری فیزیولوژیک ناشی از تأمین نیتروژن نسبت داد که با نتایج مطالعات اخیر نیز هم‌خوانی دارد؛ به طوری که نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهند که تغذیه نیتروژنی کافی گیاه، فعالیت فیزیولوژیک، تولید ماده خشک و فرآیند پرشدن دانه را بهبود داده و در نتیجه، عملکرد را افزایش می‌دهد (Li et al., 2025).

نیاز بیشتر به کود نیتروژن برای حداکثر شدن صفات رویشی (مانند بیومس و ارتفاع بوته) در مقایسه با صفات زایشی (مانند عملکرد دانه و وزن هزاردانه) نشان می‌دهد که همه ارقام مورد مطالعه در هر سه منطقه، برای حداکثر رشد رویشی خود به نیتروژن بیشتری نیاز دارند، اما برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه، سطوح پایین‌تری از کود نیز کافی است. **نتایج منطقه مراغه:** با استفاده از مدل‌های رگرسیونی برازش یافته بین سطوح کود اوره و صفات عملکردی عدس، می‌توان میزان کود اوره لازم برای دستیابی به مقدار مشخصی از صفات مورد بررسی را محاسبه کرد. این مدل‌ها نه تنها نقاط بیشینه، بلکه دامنه پاسخ هر صفت را در سطوح مختلف کودی به صورت کمی مشخص می‌کنند. بر این اساس، در منطقه مراغه، بیشترین مقدار ارتفاع بوته (۲۶ سانتی‌متر)، بیومس (۱۸۳۳ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۷۶۶ کیلوگرم در هکتار)، وزن هزاردانه (۴۶ گرم) و شاخص برداشت (۴۴ درصد) برای رقم سنا به ترتیب با مصرف مقادیر ۷۲، ۷۶، ۵۲، ۴۷ و ۳۴ کیلوگرم اوره در هکتار قابل دستیابی است. بنابراین، پاسخ بهینه صفات مختلف به کود نیتروژن

جدول ۴- ضرایب رگرسیون چندجمله‌ای درجه دوم و پارامترهای آماری مدل‌های برازش‌یافته بین سطوح کود اوره و صفات مورفولوژیک-عمکردی ارقام عدس در سه منطقه اقلیمی مراغه، سرارود و گچساران

Table 4. Quadratic polynomial regression coefficients and statistical parameters of fitted models between urea fertilizer levels and morpho-physiological traits of lentil varieties in three climatic regions (Maragheh, Sararud, and Gachsaran)

رقم Variety		ارتفاع بوته	بیومس	عملکرد	وزن هزاردانه	شاخص برداشت	ارتفاع بوته	بیومس	عملکرد	وزن هزاردانه	شاخص برداشت
		Plant height (cm)	Biomass (kg ha <sup>-1</sup> )	Yield (kg ha <sup>-1</sup> )	-1000 kernel weight (g)	Harves t index (%)	Plant height (cm)	Biomass (kg ha <sup>-1</sup> )	Yield (kg ha <sup>-1</sup> )	-1000 kernel weight (g)	Harves t index (%)
مراغه Maragheh											
		سنا Sana			بیل‌سوار Billesavar						
پارامترهای	a	22.076	1400.80	586.14	44.494	42.091	24.133	997.12	408.64	43.53	40.941
مدل	b	0.1006	11.35	6.8872	0.0838	0.1008	0.0853	18.92	7.8956	0.0995	0.0319
Model Coefficients	c	-0.0007	-0.07	-	-	-	-	-0.17	-	-0.001	-0.001
	R <sup>2</sup>	0.926	0.907	0.902	0.953	0.988	0.909	0.907	0.948	0.988	0.905
	RMSE	0.38	50.61	22.96	0.21	0.36	0.40	60.86	19.55	0.11	0.91
	Xmax <sup>2</sup>	72	76	52	47	34	85	56	49	50	16
	Ymax <sup>3</sup>	26	1833	766	46	44	28	1525	603	46	41
سرارود Sararud											
		S83			بیل‌سوار Billesavar						
پارامترهای	a	29.402	4564.60	1982.2	63.165	44.099	28.15	4740.50	2064.7	60.27	43.645
مدل	b	0.0692	29.65	15.196	0.2024	0.0188	0.1166	11.85	8.4415	0.1907	0.061
Model Coefficients	c	-0.0004	-0.21	-	-	-	-	-0.08	-	-	-0.001
	R <sup>2</sup>	0.987	0.934	0.910	0.902	0.938	0.983	0.92	0.961	0.928	0.981
	RMSE	0.13	99.26	52.10	0.67	0.19	0.26	50.66	17.17	0.73	0.19
	Xmax	87	70	62	53	31	97	79	53	43	26
	Ymax	32	5607	2456	69	44	34	5206	2288	64	45
گچساران Gachsaran											
		گچساران Gachsaran			سپهر Sepehr						
پارامترهای	a	32.781	1782.60	772.75	43.246	43.368	35	2105.90	728.3	37.23	34.683
مدل	b	0.1295	12.22	3.0971	0.1221	0.1001	0.0987	10.09	1.7716	0.1116	-0.073
Model Coefficients	c	-0.0008	-0.09	-0.027	-	-	-	-0.06	-	-0.001	0.0004
	R <sup>2</sup>	0.912	0.98	0.958	0.89	0.936	0.934	0.985	0.949	0.982	0.999
	RMSE	0.64	22.17	6.63	0.44	0.50	0.45	18.11	4.92	0.15	0.02
	Xmax	81	70	57	51	100	99	80	68	56	91
	Ymax	38	2211	862	46	38	40	2509	788	40	31

۱: ضرایب مدل درجه دوم (Y = a + bX + cX<sup>2</sup>): a: عرض از مبدأ، b: ضریب خطی و c: ضریب درجه دوم. ۲ و ۳: X<sub>max</sub>: مقدار کود مورد نیاز برای دستیابی به بیشترین مقدار صفت مورد بررسی و Y<sub>max</sub>: بیشترین مقدار صفت مورد بررسی که با مصرف X<sub>max</sub> حاصل می‌شود. هر دو مقدار با استفاده از رابطه رگرسیونی برازش‌یافته محاسبه شده‌اند.

1: Coefficients of the quadratic model (Y = a + bX + cX<sup>2</sup>): a: intercept, b: linear coefficient, and c: quadratic coefficient. 2, 3: X<sub>max</sub>: Fertilizer amount to reach maximum trait value; Y<sub>max</sub>: Maximum trait value obtained with X<sub>max</sub> (calculated from the fitted regression)

اقتصادی و زیست‌محیطی حائز اهمیت است؛ زیرا مصرف کمتر کود ضمن کاهش هزینه‌های تولید، خطر آلودگی منابع آب را نیز کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد بیل‌سوار دارای مکانیسم‌های فیزیولوژیکی کارآمدتری در جذب، انتقال یا متابولیسم نیتروژن می‌باشد. با مصرف مقادیر بیشتر کود، هر یک از صفات مورد مطالعه در هر دو رقم به‌طور تدریجی کاهش یافت که می‌تواند ناشی از اثرات تداخلی نیتروژن اضافی در جذب سایر عناصر غذایی و یا ایجاد تنش شوری یا سمیت باشد. کاهش صفات پس از نقطه اوج در منحنی پاسخ، قانون بازدهی نزولی در پاسخ گیاه به نیتروژن را نشان می‌دهد. از نظر فیزیولوژیک، نیتروژن اضافی ممکن است با تحریک رشد سریع رویشی، موجب افزایش رقابت مخزن-منبع شده و در نتیجه، تخصیص کربوهیدرات‌ها به دانه‌ها (عملکرد) محدود شود.

رجبی (Rajabi, 2015) نشان داد که تفاوت‌های ژنتیکی میان ارقام می‌تواند در کارایی مصرف نیتروژن و پاسخ عملکردی به کوددهی نقش اساسی داشته باشد. همچنین، لی و همکاران (Li et al., 2024) نیز گزارش کردند که تفاوت ارقام در کارایی استفاده از نیتروژن به دلیل تفاوت در ویژگی‌های فیزیولوژیک مانند ظرفیت ریشه برای جذب نیتروژن و کارایی متابولیسم نیتروژن در برگ‌ها است. مقادیر پیش‌بینی شده هر یک از صفات ارتفاع بوته، بیومس، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت برای شرایط عدم مصرف کود اروه در منطقه مراغه برای رقم سنا به ترتیب برابر با ۲۲/۱ سانتی‌متر، ۱۴۰۰/۸ کیلوگرم در هکتار، ۵۸۶/۱ کیلوگرم در هکتار، ۴۴/۵ گرم و ۴۲/۱ درصد و برای رقم بیل‌سوار به ترتیب برابر با ۲۴/۱ سانتی‌متر، ۹۹۷/۱ کیلوگرم در هکتار، ۴۰۸/۶ کیلوگرم در هکتار، ۴۳/۵ گرم و ۴۰/۹ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده پتانسیل ذاتی رقم در شرایط عدم مصرف کود اروه است. این اختلاف قابل توجه در پتانسیل ذاتی (به‌ویژه در بیومس و عملکرد دانه)

سیدشریفی و سیدشریفی (Seyed Sharifi, and Seyed Sharifi, 2021) گزارش کردند که کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود اروه در هکتار موجب بهبود ویژگی‌های رشدی عدس شد و عملکرد دانه را به‌طور معنی‌دار افزایش داد. به‌طور مشابه، نیری و همکاران (Niri et al., 2010) ۲۵ کیلوگرم نیتروژن خالص (معادل ۵۴ کیلوگرم اروه در هکتار) را برای بهینه‌سازی عملکرد کمی و کیفی عدس در شرایط خشک مؤثر دانستند. رقم بیل‌سوار در مقایسه با رقم سنا ارتفاع بوته بیشتر اما عملکرد و شاخص برداشت کمتری داشت. در رقم بیل‌سوار، بیشترین مقدار ارتفاع بوته (۲۸ سانتی‌متر)، بیومس (۱۵۲۵ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۶۰۳ کیلوگرم در هکتار)، وزن هزاردانه (۴۶ گرم) و شاخص برداشت (۴۱ درصد) به ترتیب با مصرف مقادیر ۸۵، ۵۶، ۴۹، ۵۰ و ۱۶ کیلوگرم اروه در هکتار قابل دستیابی بوده و با مصرف این مقادیر از کود اروه، هر یک از صفات ارتفاع بوته، بیومس، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۳/۶ سانتی‌متر، ۵۲۸/۳ کیلوگرم در هکتار، ۱۹۴/۶ کیلوگرم در هکتار، ۲/۵ گرم و ۰/۳ درصد افزایش می‌یابد که به ترتیب معادل ۱۵، ۵۳، ۴۸، ۶ و ۱ درصد افزایش نسبت به شاهد می‌باشد. حداکثر شاخص برداشت (۴۱ درصد) رقم بیل‌سوار با کاربرد تنها ۱۶ کیلوگرم اروه محقق شد و مصرف کود فراتر از این مقدار موجب کاهش این شاخص گردید. بنابراین، در منطقه مراغه رقم بیل‌سوار در مقایسه با رقم سنا با مصرف کود کمتر، افزایش عملکرد (درصد) بیشتری نشان داد که نشان‌دهنده کودپذیری بهتر این رقم در مقایسه با رقم سنا است؛ اگرچه بیشینه عملکرد رقم سنا بیشتر از بیل‌سوار می‌باشد. مقایسه مقادیر کود بهینه برای حداکثر عملکرد دانه در دو رقم (۴۹ کیلوگرم برای بیل‌سوار در مقابل ۵۲ کیلوگرم برای سنا) نشان می‌دهد که رقم بیل‌سوار برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه خود به نیتروژن کمتری نیاز دارد. این موضوع از جنبه

نشان می‌دهد که رقم سنا در شرایط محدودیت نیتروژن، از سازوکارهای جبرانی یا تحمل قوی‌تری در مواجهه با تنش برخوردار است. عملکرد بالاتر رقم سنا در شرایط بدون مصرف کود اوره حاکی از آن است که این رقم حتی بدون مصرف کود نیتروژنی نیز از کارایی مطلوبی در استفاده از نیتروژن خاک برخوردار است که احتمالاً به دلیل سیستم ریشه‌ای کارآمدتر یا همزیستی بهتر با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌باشد و این یک ویژگی بسیار مطلوب برای کشاورزی کم‌نهاد و پایدار است. با این حال، این برتری در شرایط بدون کود نباید به معنای عدم پاسخ‌دهی این رقم به نیتروژن تلقی شود، زیرا همان‌طور که نتایج نشان داد، رقم سنا با مصرف ۵۲ کیلوگرم کود اوره، حدود ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد داشت. بنابراین، رقم سنا هم در سیستم‌های کم‌نهاد پتانسیل مناسبی دارد و هم می‌تواند در سیستم‌های نهاده‌محور قادر به تحقق عملکرد بالا باشد.

**نتایج منطقه سرارود:** در منطقه سرارود، ارتفاع بوته، بیومس، عملکرد دانه و وزن هزاردانه رقم بیله‌سوار و لاین S83 در مقایسه با رقم بیله‌سوار و سنا در منطقه مراغه افزایش قابل‌توجهی داشت و رقم بیله‌سوار در مقایسه با لاین S83 ارتفاع بوته بیشتر اما عملکرد و شاخص برداشت کمتری داشت. این تفاوت در عملکرد و شاخص برداشت بین دو ژنوتیپ در یک منطقه، مجدداً بر نقش تعیین‌کننده ژنتیک در تخصیص ماده خشک و تعادل بین رشد رویشی و زایشی تأکید می‌کند. به نظر می‌رسد لاین S83 با وجود داشتن ارتفاع بوته کمتر، از قابلیت بیشتری برای انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها برخوردار است که نتیجه آن، شاخص برداشت بالاتر و در نهایت عملکرد دانه مطلوب‌تر است. افزایش قابل‌توجه تمامی صفات مورد بررسی در سرارود عمدتاً به دلیل شرایط اقلیمی و خاکی مطلوب‌تر این منطقه می‌باشد که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را نشان می‌دهد؛ به طوری که پتانسیل ژنتیکی یک رقم در محیط‌های مختلف

به شکل متفاوتی بروز می‌یابد و شرایط محیطی سرارود بستر مناسبی برای تحقق بخشیدن به حداکثر پتانسیل هر دو ژنوتیپ فراهم کرده است. مجموع بارندگی سالیانه در سرارود (۴۵۰ میلی‌متر) بیشتر از مراغه (۳۸۱ میلی‌متر) بود. رطوبت کافی برای عدس، به‌ویژه در دوره پر شدن دانه، عامل محدودکننده اصلی در شرایط دیم است و بارندگی بیشتر در منطقه سرارود به طور مستقیم باعث بهبود رشد و عملکرد شده است. بارندگی بیشتر نه تنها نیاز آبی گیاه را به‌طور مستقیم برطرف می‌کند، بلکه با افزایش رطوبت خاک، قابلیت جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن را نیز بهبود می‌بخشد، زیرا نیتروژن عمدتاً به فرم محلول در آب خاک جذب می‌شود. همچنین، تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه می‌تواند باعث کاهش وزن هزاردانه شود که در منطقه مراغه احتمال وقوع آن بیشتر بوده است. همچنین، مراغه نسبت به سرارود خنک‌تر بود؛ به طوری که میانگین دمای سرارود (۱۲ درجه سانتی‌گراد) از مراغه (۷ درجه سانتی‌گراد) بیشتر بوده و این دما برای رشد عدس در فصل بهار مطلوب‌تر است. دمای مطلوب (معمولاً بین ۱۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد) برای عدس) متابولیسم گیاه، فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه نرخ رشد را تسریع می‌کند. هوای سردتر مراغه می‌تواند طول دوره رشد را افزایش داده و در عین حال، نرخ فتوسنتز و توسعه اندام‌ها را کاهش دهد که هر دو عامل به‌طور بالقوه بر عملکرد نهایی تأثیر منفی می‌گذارند. علاوه بر آن، اگرچه درصد کربن آلی هر دو منطقه مشابه بود، اما فسفر و پتاسیم قابل‌استفاده در سرارود در حد مطلوب‌تری قرار داشت. فسفر کافی برای انتقال انرژی و پتاسیم برای تنظیم فشار اسمزی و باز و بسته شدن روزنه‌ها ضروری است. وضعیت مطلوب این دو عنصر در سرارود احتمالاً به گیاه کمک کرده است تا از آب و نیتروژن موجود با کارایی بیشتری استفاده کند؛ زیرا پاسخ گیاه به نیتروژن می‌تواند شدیداً تحت تأثیر وضعیت سایر عناصر غذایی نیز قرار بگیرد (Niri et al., 2010). برتری عملکرد در

کیلوگرم اوره در هکتار قابل دستیابی بوده و با مصرف این مقادیر از کود، هریک از صفات ارتفاع بوته، بیومس، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۵/۷ سانتی متر، ۴۶۵/۲ کیلوگرم در هکتار، ۲۲۳/۰ کیلوگرم در هکتار، ۴/۱ گرم و ۰/۹ درصد افزایش می یابد که به ترتیب معادل ۲۰، ۱۰، ۱۱، ۷ و ۲ درصد افزایش نسبت به شاهد است. مقایسه دو ژنوتیپ در سرارود نشان داد که لاین S83 برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه به کود بیشتری نیاز داشت. علاوه بر آن، مقدار و درصد افزایش عملکرد لاین S83 نسبت به شاهد بیشتر از رقم بیله سوار بود. این موضوع می تواند نشان دهنده پتانسیل ژنتیکی بالاتر لاین S83 برای تبدیل نیتروژن اضافی به ماده خشک زایشی در شرایط محیطی مساعد باشد. همچنین، حساسیت ارتفاع بوته بیله سوار به نیتروژن (نیاز به ۹۷ کیلوگرم اوره برای بیشینه شدن) در این منطقه نیز تکرار شد که بر الگوی رشد رویشی محور این رقم تأکید دارد.

بنابراین، درصد افزایش صفات مورد مطالعه نسبت به شاهد در سرارود به مراتب کمتر از مراغه بود که قابل انتظار است؛ زیرا زمانی که خاک از عناصر دیگر (مانند فسفر و پتاسیم) غنی تر بوده و عملکرد پایه بالاتری داشته باشد، انتظار می رود پاسخ به یک عنصر غذایی خاص (مانند نیتروژن) کم رنگ تر شود. در مراغه، احتمالاً نیتروژن عامل محدودکننده اصلی بوده است؛ در حالی که در سرارود، با حذف نسبی محدودیت های آب، دما و عناصری مانند فسفر و پتاسیم، گیاه به مرز پتانسیل ژنتیکی خود نزدیک تر شده و در نتیجه، فضای کمی برای بهبود بیشتر با افزودن نیتروژن باقی مانده است.

نتایج بررسی ها در سطح جهانی نیز نشان می دهد که پاسخ عملکرد گیاه به نیتروژن در خاک هایی که حاصلخیزی متوسط تا بالا دارند، کمتر بوده و بهره روری مصرف نیتروژن در خاک های با حاصلخیزی بالا کاهش پیدا می کند (Yokamo et al., 2023).

سرارود را می توان حاصل یک هم افزایی بین بارندگی بیشتر، دمای مطلوب تر و وضعیت بهتر فسفر و پتاسیم قابل جذب دانست. این شرایط احتمالاً تنش های غیرزیستی را به حداقل رسانده و به گیاهان اجازه داده است تا پتانسیل ژنتیکی خود را برای جذب نیتروژن و تبدیل آن به ماده خشک زایشی به طور کامل تری محقق نماید.

بیشترین مقدار ارتفاع بوته (۳۲ سانتی متر)، بیومس (۵۶۰۷ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۲۴۵۶ کیلوگرم در هکتار)، وزن هزاردانه (۶۹ گرم) و شاخص برداشت (۴۴ درصد) برای لاین S83 به ترتیب با مصرف مقادیر ۸۷، ۷۰، ۶۲، ۵۳ و ۳۱ کیلوگرم اوره در هکتار به دست آمد و با مصرف این مقادیر از کود اوره، هریک از صفات ارتفاع بوته، بیومس، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۳/۰ سانتی متر، ۱۰۴۲/۳ کیلوگرم در هکتار، ۴۷۴/۰ کیلوگرم در هکتار، ۵/۴ گرم و ۰/۳ درصد افزایش یافتند که به ترتیب معادل ۱۰، ۲۳، ۲۴، ۹ و ۱ درصد افزایش نسبت به شاهد بود. همانند نتایج منطقه مراغه، مشاهده می شود که مقدار بهینه کود برای بیشینه شدن شاخص برداشت (۳۱ کیلوگرم) پایین تر از مقدار لازم برای بیشینه شدن بیومس (۷۰ کیلوگرم) یا عملکرد دانه (۶۲ کیلوگرم) است. این الگو تأیید می کند که تخصیص بهینه منابع به تولید دانه، اغلب در سطوح پایین تر نیتروژن محقق می شود. هاوکسفورد و گریفیتس (Hawkesford & Griffiths, 2019) گزارش کردند که نیتروژن از طریق افزایش سطح برگ، ظرفیت فتوسنتزی و تخصیص بیشتر کربوهیدرات به دانه ها، باعث ارتقاء عملکرد می شود.

در رقم بیله سوار، بیشترین مقدار ارتفاع بوته (۳۴ سانتی متر)، بیومس (۵۲۰۶ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۲۲۸۸ کیلوگرم در هکتار)، وزن هزاردانه (۶۴ گرم) و شاخص برداشت (۴۵ درصد) به ترتیب با مصرف مقادیر ۹۷، ۷۹، ۵۳، ۴۳ و ۳۱

با افزایش حاصلخیزی پایه، اختلاف عملکرد بین شرایط با و بدون مصرف کود نیتروژن، کمتر شده و پاسخ نسبی گیاه به مصرف نیتروژن کاهش می‌یابد. بنابراین، توصیه کودی یکسان برای مناطق مختلف با پتانسیل تولید متفاوت، نه تنها اقتصادی نیست بلکه ممکن است از نظر زیست‌محیطی نیز مخاطره‌آمیز باشد. در مناطقی مانند سرارود با پتانسیل بالا، افزایش کارایی مصرف نیتروژن و جلوگیری از مصرف بی‌رویه آن برای حفظ سلامت محیط‌زیست و صرفه‌جویی اقتصادی از اولویت بالاتری برخوردار است. در منطقه سرارود، رقم بیل‌سوار در مقایسه با لاین S83 با مصرف کود بیشتر، افزایش عملکرد (درصد) کمتری نشان داد که بیانگر این است که لاین S83 در تبدیل هر واحد نیتروژن مصرفی به دانه، کارآمدتر از رقم بیل‌سوار عمل کرده است. مقادیر پیش‌بینی شده هریک از صفات ارتفاع بوته، بیومس، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت برای شرایط عدم مصرف کود اوره در منطقه سرارود برای لاین S83 به ترتیب برابر با ۲۹/۴ سانتی‌متر، ۴۵۶۴/۶ کیلوگرم در هکتار، ۱۹۸۲/۲ کیلوگرم در هکتار، ۶۳/۲ گرم و ۴۴/۱ درصد و برای رقم بیل‌سوار به ترتیب برابر با ۲۸/۲ سانتی‌متر، ۴۷۴۰/۵ کیلوگرم در هکتار، ۲۰۶۴/۷ کیلوگرم در هکتار، ۶۰/۳ گرم و ۴۳/۶ درصد بود.

**نتایج منطقه گچساران:** ارقام گچساران و سپهر در منطقه گچساران در مقایسه با ارقام سنا و بیل‌سوار در مراغه و بیل‌سوار و لاین S83 در سرارود، ارتفاع بوته بیشتر ولی شاخص برداشت کمتری داشتند. رقم سپهر در مقایسه با رقم گچساران دارای ارتفاع بوته و بیومس بیشتر ولی عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت کمتری بود. مشخصه اصلی نتایج گچساران، افزایش بیشتر بیومس نسبت به عملکرد دانه در پاسخ به کوددهی بود که منجر به کاهش شاخص برداشت شد. در محیط‌های بهینه، نیتروژن معمولاً هم بیومس و هم شاخص برداشت را به صورت متوازن افزایش می‌دهد؛ با این حال، در گچساران،

نیتروژن عمدتاً صرف تولید بیومس شده و کمتر برای تولید محصول (دانه) صرف شده است. ارتفاع بیشتر گیاهان در منطقه گچساران نشان‌دهنده تخصیص ترجیحی نیتروژن به رشد رویشی (طولی ساقه) به جای توسعه زایشی (تشکیل دانه) است. این پاسخ فیزیولوژیک به نظر می‌رسد ناشی از تنش گرمایی در دوره بحرانی زایشی بوده که منجر به اختلال در عمل لقاح و کاهش کارایی پرشدن دانه شده است. دمای بالا می‌تواند باعث ناباروری دانه گردد، کاهش مدت دوره پرشدن دانه و تسریع پیری گیاه شود. در چنین شرایطی، حتی اگر گیاه از طریق مصرف کود نیتروژن، ماده خشک کافی تولید کند، پنجره زمانی و ظرفیت فیزیولوژیک لازم برای انتقال این مواد به دانه‌ها به شدت محدود می‌شود (Yokamo et al., 2023). شاخص برداشت کمتر در این منطقه نسبت به مراغه و سرارود نیز این مطلب را تأیید می‌کند. گار و همکاران (Gaur et al., 2013) گزارش کردند که تنش گرمایی در مراحل اولیه پرشدن دانه تأثیر قابل توجهی بر وزن و عملکرد دانه دارد. پاسخ ضعیف به کود اوره در ارقام گچساران و سپهر نشان می‌دهد که عوامل دیگری به جز نیتروژن (مانند دمای زیاد هوا و آهک زیاد خاک) رشد گیاه را محدود کرده و صرفاً افزودن اوره نمی‌تواند این محدودیت‌ها را جبران نماید. سطح بالای آهک در خاک‌های این منطقه می‌تواند با کاهش قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف حیاتی مانند آهن و روی، یک محدودیت مضاعف ایجاد کند. کمبود این عناصر به نوبه خود بر فرآیندهای حیاتی از جمله تشکیل کلروفیل و سنتز هورمون‌های رشد تأثیر منفی گذاشته و پاسخ گیاه به نیتروژن را تضعیف می‌کند.

اگرچه منطقه گچساران دارای بیشترین میزان بارندگی (۵۸۱ میلی‌متر) بود، اما عملکرد دانه در آن (۸۶۲ و ۷۸۸ کیلوگرم در هکتار) نه تنها کمتر از سرارود (۲۴۵۶ و ۲۲۸۸ کیلوگرم) بود، بلکه تنها اندکی از مراغه (۷۶۶ و ۶۰۳ کیلوگرم) بیشتر بود. این تناقض ظاهری احتمالاً به میانگین دمای زیاد هوا و

گرم افزایش یافت که به ترتیب معادل ۱۶، ۲۴، ۱۱ و ۷ درصد افزایش نسبت به شاهد بود. نامور و همکاران (Namvar *et al.*, 2011) مشاهده کردند که مصرف ۷۵ کیلوگرم اوره در هکتار در مقایسه با سطوح صفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد و اجزای عملکرد عدس را به طور معنی دار افزایش داد. در رقم سپهر، بیشترین مقدار ارتفاع بوته (۴۰ سانتی متر)، بیومس (۲۵۰۹ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۷۸۸ کیلوگرم در هکتار) و وزن هزاردانه (۴۰ گرم) به ترتیب با مصرف مقادیر ۹۹، ۸۰، ۶۸ و ۵۶ کیلوگرم اوره در هکتار قابل دستیابی بوده و با مصرف این مقادیر از کود، هریک از صفات ارتفاع بوته، بیومس، عملکرد دانه و وزن هزاردانه در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۴/۹ سانتی متر، ۴۰۲/۹ کیلوگرم در هکتار، ۵۹/۹ کیلوگرم در هکتار و ۳/۱ گرم افزایش می یابد که به ترتیب معادل ۱۴، ۱۹، ۸ و ۸ درصد افزایش نسبت به شاهد می باشد.

رقم سپهر برای دستیابی به بیشینه مقادیر صفات، به مقادیر بیشتری کود نیاز داشت (به ویژه برای ارتفاع بوته و عملکرد دانه)، اما در عین حال، پاسخ درصدی کمتری در عملکرد دانه (۸ درصد) نسبت به رقم گچساران (۱۱ درصد) نشان داد. بنابراین، در منطقه گچساران، رقم سپهر در مقایسه با رقم گچساران با مصرف کود بیشتر، افزایش عملکرد کمتری داشت که نشان دهنده کودپذیری بهتر رقم گچساران در مقایسه با رقم سپهر می باشد. مقادیر پیش بینی شده هریک از صفات ارتفاع بوته، بیومس، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت برای شرایط عدم مصرف کود اوره در منطقه گچساران برای رقم گچساران به ترتیب ۳۲/۸ سانتی متر، ۱۷۸۲/۶ کیلوگرم در هکتار، ۷۷۲/۸ کیلوگرم در هکتار، ۴۳/۲ گرم و ۴۳/۴ درصد و برای رقم سپهر به ترتیب ۳۵/۰ سانتی متر، ۲۱۰۵/۹ کیلوگرم در هکتار، ۷۲۸/۳ کیلوگرم در هکتار، ۳۷/۲ گرم و ۳۷/۷ درصد بود. در منطقه گچساران، شاخص برداشت تحت تأثیر مصرف کود

مشکلات حاصلخیزی خاک این منطقه مربوط می باشد؛ به عنوان مثال، میزان آهک بسیار زیاد (۵۱ درصد)، پتاسیم قابل استفاده کمتر و شوری بیشتر خاک منطقه گچساران از عوامل محدودکننده به شمار می روند. این نتایج نشان می دهد که در سیستم های کشاورزی، کمیت بارش به تنهایی ضامن عملکرد بالا نیست، بلکه توزیع زمانی آن، به ویژه هماهنگی با مراحل بحرانی رشد گیاه و تعامل آن با سایر عوامل محیطی (مانند دما و ویژگی های خاک) تعیین کننده نهایی است. اوره در این شرایط به سرعت به شکل آمونیاک و از طریق تبخیر هدر می رود که کارایی مصرف کود را به شدت کاهش می دهد. خاک های آهکی با pH بالا، محیط را برای تبدیل اوره به آمونیاک و فرار گازی آن مساعدتر می کنند. این موضوع علاوه بر کاهش کارایی کود، می تواند از نظر زیست محیطی نیز نامطلوب باشد. اگرچه شوری خاک گچساران ( $1/56 \text{ dS m}^{-1}$ ) در حد متوسط برای عدس بود، اما این مقدار در ترکیب با خشکی آخر فصل (دمای بالا و تبخیر زیاد) می تواند باعث ایجاد تنش اسمزی و کاهش عملکرد شود. تنش های ترکیبی شوری-گرما اثرات هم افزایی داشته و آسیب بیشتری نسبت به هر یک (تنها) وارد می کنند. این شرایط می تواند تعادل هورمونی گیاه را به هم زده، بسته شدن روزنه ها را تشدید کند و در نتیجه، فتوسنتز را حتی با وجود رطوبت نسبی خاک محدود نماید (Gaur *et al.*, 2013).

در مورد رقم گچساران، بیشترین مقدار ارتفاع بوته (۳۸ سانتی متر)، بیومس (۲۲۱۱ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۸۶۲ کیلوگرم در هکتار) و وزن هزاردانه (۴۶ گرم) به ترتیب با مصرف مقادیر ۸۱، ۷۰، ۵۷ و ۵۱ کیلوگرم اوره در هکتار محاسبه شد و با مصرف این مقادیر از کود اوره، هریک از صفات ارتفاع بوته، بیومس، عملکرد دانه و وزن هزاردانه در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۵/۲ سانتی متر، ۴۲۸/۱ کیلوگرم در هکتار، ۸۸/۸ کیلوگرم در هکتار و ۳/۱

گچساران نسبت به مراغه و سرارود با وجود بارندگی بیشتر، دوز بهینه اقتصادی کود اوره کمتر بود که احتمالاً به علت عوامل محدود کننده اقلیمی (دمای زیاد هوا) و خاکی (آهک زیاد خاک) و کارایی ضعیف کود می‌باشد. توصیه‌های کودی ارائه شده، اگرچه مبتنی بر داده‌های سه منطقه با شرایط اقلیمی متفاوت است، اما حاصل نتایج یک سال زراعی می‌باشد. با توجه به تغییرپذیری ذاتی پارامترهای اقلیمی (به ویژه بارش و دما) در سیستم‌های دیم، پیشنهاد می‌گردد مقادیر بهینه محاسبه شده، به‌عنوان خط پایه مدیریت نیتروژن در نظر گرفته شود و در آغاز هر فصل زراعی، با اتکا به پیش‌بینی اقلیمی و وضعیت ذخیره رطوبتی خاک، به صورت انعطاف‌پذیر تعدیل گردند.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که پتانسیل عملکرد و پاسخ به کود اوره به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی غالب هر منطقه قرار گرفت. در منطقه سرارود، ترکیب بارندگی کافی (۴۵۰/۵ میلی‌متر)، دمای مطلوب (۱۲/۱) درجه سانتی‌گراد) و به‌ویژه حاصلخیزی بالا و غلظت بالای فسفر خاک، بستری ایده‌آل برای تحقق عملکردهای مطلوب (بالای ۲۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) را فراهم کرد. در حالی که در منطقه گچساران، علی‌رغم وقوع بارندگی بیشتر (۵۸۰/۵ میلی‌متر)، ویژگی‌های نامساعد از جمله دمای زیاد، آهکی بودن شدید خاک و کارایی پایین کود، اصلی‌ترین عوامل محدودکننده برای دستیابی به پتانسیل واقعی بود. منطقه مراغه نیز با بارندگی کمتر و خاک با فسفر نسبتاً پایین، حد واسط این دو منطقه را نشان داد. دامنه سطوح بهینه کود اوره برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه از ۴۹ کیلوگرم در هکتار برای رقم بیله‌سوار در مراغه تا ۶۲ کیلوگرم در هکتار برای لاین S83 در سرارود متغیر بود. با این حال، حد بهینه اقتصادی کود اوره برای مراغه ۵۰، برای سرارود ۵۵ و برای گچساران ۴۵

اوره کاهش یافت که علت آن افزایش همزمان بیومس و عملکرد دانه در هر دو رقم مورد مطالعه در پاسخ به کوددهی بود، با این تفاوت که میزان افزایش بیومس بیش از افزایش عملکرد دانه بود. این نتایج حاکی از آن است که در شرایط عدم مصرف کود اوره، تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به سمت تولید دانه سوق یافته تا تولید ماده خشک. این پدیده ممکن است ناشی از یک «استراتژی سازگاری» باشد؛ به طوری که در شرایط تنش که منابع (به‌ویژه نیتروژن) محدود است، گیاه منابع محدود خود را بیشتر صرف بقا و تولیدمثل (تشکیل دانه) می‌کند. با حذف محدودیت نیتروژن از طریق کوددهی، گیاه ابتدا به بازسازی و توسعه ساختار رویشی خود (بیومس) می‌پردازد که برای جذب بیشتر منابع در آینده مفید است. با این حال، به دلیل محدودیت‌های دیگر (مانند گرما)، این ساختار توسعه یافته نمی‌تواند به طور کامل به تولید دانه تبدیل شود.

**توصیه کودی:** با استفاده از مدل‌های رگرسیونی برازش یافته می‌توان میزان کود اوره لازم برای دستیابی به مقدار مشخصی از عملکرد مورد نظر و یا حداکثر عملکرد مورد انتظار را با اطمینان قابل‌قبولی تخمین زد. با این حال، معمولاً به علت ملاحظات زیست‌محیطی و کاهش هزینه‌های مصرف کود، به جای حداکثر عملکرد، مقدار کود لازم برای دستیابی به ۹۰ درصد عملکرد حداکثر محاسبه و توصیه می‌شود؛ اما با در نظر گرفتن هزینه مصرف کود و ارزش اقتصادی محصول تولید شده، می‌توان بهینه‌ترین مقدار کود برای دستیابی به بیشترین سود اقتصادی را محاسبه و توصیه کرد. بر این اساس، مقدار کود اوره لازم برای دستیابی به عملکرد با بیشترین سود اقتصادی (دوز بهینه اقتصادی) برای ارقام سنا و بیله‌سوار در مراغه به ترتیب ۵۰ و ۴۷ کیلوگرم در هکتار، برای لاین S83 و رقم بیله‌سوار در سرارود به ترتیب ۶۰ و ۴۹ کیلوگرم در هکتار و برای ارقام گچساران و سپهر در گچساران به ترتیب ۴۵ و ۴۳ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. در منطقه

### سیاس‌گذاری

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور با کد مصوب «۰-۱۵-۱۵-۱۰-۰۱۰-۰۲۰۷۴۵» می‌باشد. نویسندگان صمیمانه از حمایت‌های مالی و فنی این مؤسسه قدردانی می‌نمایند.

کیلوگرم در هکتار تعیین شد. مصرف مقادیر بالاتر کود نه‌تنها موجب بهبود عملکرد نشد، بلکه در برخی از موارد احتمالاً از طریق ایجاد تنش شوری، برهم خوردن تعادل عناصر غذایی و یا تحریک رشد غیرمعارف رویشی، به کاهش عملکرد و شاخص برداشت منجر شد.

### منابع

- Abdollahi hesar A, Sofalian O, alizade B, Asghari A, zali H. 2020. Evaluation of some autumn rapeseed genotypes based on morphological traits and SIIG index. *Journal of Crop Breeding* 12(34): 151-159 (In Persian)
- Barati A, Zali H, Koochkan S, Marzoqian A, Gholipor A. 2022. Evaluation of the application of SIIG index in the selection of barley pure lines with high yield and desirable agronomic characteristics in warm areas of Iran. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 15(3): 801-815 (In Persian)
- Bayat M, Rabiei B, Rabiee M, Moumeni A. 2008. Assessment of Relationship between Grain Yield and Important Agronomic Traits of Rapeseed as Second Culture in Paddy Fields. *Journal of Crop Production and Processing* 12 (45): 475-486 (In Persian)
- Blum A. 2011. *Plant breeding for water-limited environments*. Springer.
- Bybordi A. 2010. Effects of salinity on yield and component characters in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Noulaet Scientia Biologicae* 2(1): 81-83.
- Cattell RB. 1965. Factor analysis: an introduction to essentials. 1. The purpose and underlying models. *Biometrics* 21: 190-215.
- Chakraborty K, Raj S, Bhattacharya RC. 2012. Differential expression of salt overly sensitive pathway genes determines salinity stress tolerance in Brassica genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry* 51: 90-101.
- Dyer JM, Mullen RT. 2008. Engineering plant oils as high-value industrial feedstocks for biorefining: the need for underpinning cell biology research. *Physiologia Plantarum* 132: 11-22.
- Ehshamami, S., Tharani, A. and Samadi, B. 2016. Effect of planting date on some phenological, morphological, yield and yield components of five rapeseed cultivars. *Agriculture (Research and Development)* 109: 111-120. (In Persian)
- Faraji A. 2012. Effect of sowing date and supplemental irrigation on grain yield and phosphorus distribution and remobilization in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Dryland Agronomy Journal* 1(2): 54-69 (In Persian)
- Faraji A, Younesabadi M, Kiani A, Khormali S, Ghazaeian M, Asadi MA, Aghajani MA, Sadeh Nezhad HR, Bagheri M, Mosakhani A, Habibian L. 2018. Rapeseed cultivation in Golestan Province (Practical tips for farm management. Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. 21 p. (In Persian)
- Fares K, Guasmi F, Touil L, Triki T, & Ferchichi A. 2009. Genetic diversity of Pistachio tree using InterSimple Sequence markers (ISSR) supported by morphological and chemical markers. *Biotechnology* 8:24- 34.

- Fischer RA. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science* 105(2): 447-461.
- Ghasemian Ardestani H, Jahan M, Shirani Rad AH. 2019. Evaluation of qualitative traits of selected cultivars of canola in autumn and winter crops affected by different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12(2): 429-443 (In Persian)
- Gholizadeh A, Amiri Oghan H, Rameeh V, Payghamzadeh K, Bakhshi B, Alizadeh B, Dalili SA, Kia SH, Shariati F. 2022 a. Multi-trait selection of promising advanced lines of rapeseed using selection index of ideal genotypes. *Plant Genetic Researches* 9(1): 85-98 (In Persian)
- Gholizadeh A, Masoudi B, Hezarjaribi E, Payghamzadeh K. 2022 b. Simultaneous selection for seed yield and other agronomic traits in promising advanced lines of soybean. *Journal of Crop Breeding* 14(44): 190-198 (In Persian)
- Hatamzadeh H. 2011. [Determining of effective traits on rapeseed seed yield under semi cold rainfed conditions](#). *Iranian Journal of Field Crops Research* 9(2): 248-257 (In Persian)
- Jaberi H, Lotfi B, Feilinezhad A, Fathi A, Kian-Ersi F, Abdollahi A. 2015. Evaluation of yield and yield components of four winter canola cultivars under drought stress. *Advances in Bioresource* 6(4): 148-151.
- Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. 2023. Annual agricultural statistics of 2019-2025 (In Persian)
- Najafi Mirak T, Dastfal M, Andarzian B, Farzadi H, Bahari M, Zali H. 2018. Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Iranian Journal of Crop Sciences* 20(2): 126-138
- Passioura JB. 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany* 58(2): 113-117
- Raman A, Satish Verulkar B, Nimai Mandal P, Variar M, Shukla V, Dwivedi J, Singh B, Singh O, Swain P, Mall A, Robin S, Chandrababu R, Jain A, Ram T, Hittalmani S, Haefele S, Piepho HP, Kumar A. 2012. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. *Rice* 5: 31-42.
- Raziei Z, Kahrizi D, Rostami-Ahmadvandi H. 2018. Effects of climate on fatty acid profile in *Camelina sativa*. *Cellular and Molecular Biology* 64: 91- 96.
- Richards RA. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation* 20(2): 157-166.
- Sepahvand M. 2007. Assessment of land suitability in Lorestan province for rainfed canola cultivation. 10th Iranian Soil Science Congress (In Persian)
- Shirani Rad AH, Jabbari H, Dehshiri A. 2013. Evaluation of spring rapeseed cultivars response to spring and autumn planting seasons. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11(3): 493-505 (In Persian)
- Sirin Vasa A, Morgan DG. 1996. Growth and development of pod wall in spring rapeseed (*Brassica napus* l.) as related to the presence of seeds and exogenous phytohormones. *Journal of Agricultural Science* 127: 487-500.
- Soleimanzadeh H, Latifi N, Soltani A. 2008. Relationship of phenology and physiological traits with grain yield in different cultivars of Rapeseed (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 14(5): 1-9 (In Persian)
- Soltani Howyzeh M, Moradi M, saki nezhad T, Zaker nezhad S, Etaa A. 2018. Evaluation of the relationships among yield and related traits in spring canola cultivars using path analysis. *Journal of Crop Breeding* 10(27): 125-134 (In Persian)
- Sun G, Yao T, Feng C, Chen L, Li J, Wang L. 2017. Identification and of antagonistic bacteria strains against biocontrol potential *Sclerotinia sclerotiorum* and their growth promoting effects on *Brassica napus*. *Biological Control* 104: 35-43.

- Tuberosa R, Sanguineti MC, Landi P, Salvi S, Conti S. 2007. Genome-wide approaches to investigate drought tolerance in maize. *Journal of Experimental Botany* 58(2): 325-336
- Yao M, He D, Li W, Xiong X, He X, Liu Z, Guan C, Qian L. 2024. Identification of environment-insensitive genes for oil content by combination of transcriptome and genome-wide association analysis in rapeseed. [Biotechnology for Biofuels and Bioproducts](#) 17: 29.
- Yuan L, Li, R. 2020. Metabolic engineering a model oilseed *Camelina sativa* for the sustainable production of high-value designed oils. *Frontiers in Plant Science*. 11:11.
- Zabet M, Seddigh S, Samadzade A. 2016. The effect of drought stress on yield and yield components in 10 genotypes of rapeseed under Birjand climate conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 9(2): 121-137 (In Persian)
- Zali H, Hassanloo T, Sofalian O, Asghari A, Zeinalabedini M. 2017. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding*. 8(20): 90-77 (In Persian)
- Zali H, Barati A, Pour-Aboughadareh A, Gholipour A, Koohkan S, Marzoghiyan A, Bocianowski J, Bujak H, Nowosad K. 2023. Identification of superior barley genotypes using selection index of ideal genotype (SIIG). *Plants* 12: 1843.
- Zali H, Sofalian O, Hasanloo T, Asghari A, Hoseini SM. 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum – An International Journal* 7(2): 703-711.



DOI: 10.22092/idaj.2026.371442.454

## Regression analysis of lentil cultivars yield response to different urea fertilizer levels under dryland conditions

Yaser Azimzadeh<sup>1\*</sup>, Mokhtar Dashadi<sup>2</sup>, Amin Namdari<sup>3</sup>, Arash Mohammadzadeh<sup>1</sup>, Mozhgan Tabrizvand Taheri<sup>1</sup>, Halimeh Razmi<sup>1</sup>

1- Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

2- Sararood Branch, Dryland Agricultural Research, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran

3- Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran

### EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** Nitrogen, as an essential nutrient, plays a pivotal role in plant vegetative and reproductive processes, directly influencing the synthesis of proteins, chlorophyll, amino acids, and nucleic acids. However, plant response to nitrogen fertilizer is influenced by variables such as environmental conditions, soil physicochemical properties, and the genetic potential of different cultivars. Insufficient or excessive nitrogen application can lead to reduced crop yield. Therefore, evaluating the response of lentil cultivars to different urea fertilizer levels across various regions of Iran and determining their economic optimal rate can pave the way for optimizing fertilizer use and achieving sustainable yields.

**Methodology:** To investigate the response of lentil cultivars to different urea fertilizer levels in rotation with wheat under rain-fed conditions, a split-plot experiment arranged in a randomized complete block design with three replications was conducted in three regions (Maragheh, Sararood, and Gachsaran) during the 2023-2024 growing season. Treatments included lentil cultivars (Sana and Bilesavar in Maragheh; Bilesavar and Line 09S8322-04 in Sararood; Sepehr and Gachsaran in Gachsaran) assigned to the main plots and nitrogen levels (0, 25, 50, 75, and 100 kg urea ha<sup>-1</sup>) assigned to the sub-plots. Spring sowing was performed using a three-row ASKE seeder. To complement the analysis of variance, regression relationships were evaluated by analyzing the associations between different levels of urea fertilizer (independent variable) and agronomic traits (dependent variable) using quadratic nonlinear regression models.

**Research findings:** In all three regions, the response pattern of most traits to different urea levels was parabolic, indicating the existence of an optimal point for fertilizer application. In Maragheh, the maximum grain yield for cultivar Sana (766 kg ha<sup>-1</sup>) was achieved with 52 kg urea ha<sup>-1</sup>, and for Bilesavar (603 kg ha<sup>-1</sup>) with 49 kg urea ha<sup>-1</sup>. In Sararood, Line S83 reached a yield of 2456 kg ha<sup>-1</sup> with 62 kg urea ha<sup>-1</sup>, and Bilesavar yielded 2288 kg ha<sup>-1</sup> with 53 kg urea ha<sup>-1</sup>. In Gachsaran, cultivars Gachsaran and Sepehr yielded 862 and 788 kg ha<sup>-1</sup> with 57 and 68 kg urea ha<sup>-1</sup>, respectively. The economic optimal dose in Maragheh for Sana and Bilesavar was 50 and 47 kg urea ha<sup>-1</sup>, respectively; in Sararood for S83 and Bilesavar, it was 60 and 49 kg urea ha<sup>-1</sup>, respectively; and in Gachsaran for Gachsaran and Sepehr, it was 45 and 43 kg urea ha<sup>-1</sup>, respectively.

**Keywords:** Lentil, Nitrogen, Starter fertilizer, Nutrient requirement

\* Corresponding author: y.azimzadeh@areeo.ac.ir

Submit date: 2025/11/16 Accept date: 2026/03/18

