



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۱۴۰۴ شهریور ۲۷ تا ۲۵



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



## بررسی نقش کود دامی در تعدیل ویژگی‌های خاک‌های آهکی و رشد گندم در شرایط گلخانه

یاسر عظیم‌زاده<sup>۱\*</sup>، آرش محمدزاده<sup>۱</sup>، مهدی کوسه‌لوا<sup>۱</sup>

۱- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر کود دامی بر تعدیل خصوصیات خاک‌های آهکی با درصدهای مختلف آهک، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار نوع خاک آهکی (حاوی ۰، ۳۹، ۳۴، ۱۴ و ۸ درصد آهک) و دو سطح کود گاوی پوسیده (۰ و ۴ تن در هکتار) بودند. شصت روز پس از کاشت ۱۰ بوته گندم رقم صدار در گلدان‌های حاوی ۳ کیلوگرم خاک، شاخص‌های رشد گیاه و ویژگی‌های شیمیایی خاک در هر یک از گلدان‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد که کاربرد کود دامی منجر به افزایش معنی‌دار مواد آلی و فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک‌های آهکی به‌ویژه خاک با آهک زیاد (۳۹ درصد) شد. بیشترین اثر کود دامی بر رشد گندم در خاک با شدیدترین محدودیت (۳۹ درصد آهک) مشاهده شد که شامل افزایش ۸۳۰ درصدی وزن خشک شاخساره و کاهش ۶۰ درصدی نسبت ریشه به شاخساره بود. این تغییرات نشان‌دهنده تغییر الگوی تخصیص مواد فتوسنتزی به نفع اندام هوایی در پاسخ به بهبود شرایط تغذیه‌ای بود. به‌طور کلی، کارایی کود دامی با شدت محدودیت‌های اولیه خاک رابطه عکس داشت.

واژگان کلیدی: خاک آهکی، کود دامی، گندم دیم، ماده آلی

## مقدمه

خاک‌های آهکی بخش‌های وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران را تشکیل می‌دهند. با این حال، ویژگی‌های ذاتی این خاک‌ها نظیر pH بالا، محتوای قابل‌توجه کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) و قابلیت کم جذب عناصر غذایی ضروری مانند فسفر، آهن، روی و منگنز، چالش‌های جدی برای رشد مطلوب گیاهان زراعی، به‌خصوص غلات استراتژیک مانند گندم ایجاد می‌کند. این محدودیت‌ها نه تنها عملکرد بالقوه گیاه را کاهش می‌دهد، بلکه کارایی مصرف کودهای شیمیایی را نیز تحت تأثیر قرار داده و می‌تواند منجر به بروز مشکلات زیست‌محیطی ناشی از آبهویی نیترات و فسفات شود. در این میان، کاربرد کودهای آلی به‌ویژه کود دامی، به‌عنوان یک راهکار اصلاحی سازگار با محیط‌زیست برای بهبود ویژگی‌های خاک‌های آهکی مورد توجه می‌باشد. کود دامی با تأمین مقادیر قابل‌توجهی کربن آلی و بهبود ساختمان خاک، نه تنها تخلخل، نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک را بهبود می‌بخشد، بلکه نقش مؤثری در تعدیل ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک ایفا می‌نماید (Rong et al., 2020). تجزیه تدریجی کود دامی منجر به آزادسازی دی‌اکسیدکربن ( $\text{CO}_2$ ) و اسیدهای آلی (مانند اسید اگزالیک و سیتریک) می‌شود که می‌تواند در کاهش موضعی pH اطراف ریشه و افزایش حل‌پذیری و جذب عناصر غذایی کم‌تحرک در خاک‌های قلیایی مؤثر باشد. همچنین، تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلزی با کاتیون‌های کلسیم و منیزیم، از تشکیل رسوب‌های نامحلول کربناتی جلوگیری کرده و جذب عناصر غذایی توسط گیاه را بهبود می‌بخشد (Mokolobate and Haynes, 2002).

تحقیقات متعددی نقش مثبت کودهای آلی، به‌ویژه کود دامی در بهبود ویژگی‌های خاک‌های آهکی و افزایش رشد و عملکرد گیاه را تأیید کرده‌اند (Diacono and Montemurro, 2011). به‌عنوان مثال، Lal و همکاران (۲۰۱۵) گزارش نمودند که کاربرد کود دامی منجر به افزایش مواد آلی خاک و بهبود pH و ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های آهکی شده و عملکرد محصول را ارتقا می‌بخشد. در همین راستا، Li و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که مصرف مکرر کود دامی، تنوع جامعه میکروبی و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک‌های آهکی و قلیایی را تقویت می‌کند. Rong و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که مواد آلی (مانند اسید هیومیک) با تشکیل کمپلکس با فلزات، از رسوب آن‌ها جلوگیری کرده و جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش می‌دهد. این مکانیسم برای کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در خاک‌های آهکی نیز قابل‌تعمیم است. با این حال، اصلاح همه انواع خاک‌های آهکی با استفاده از کودهای آلی ممکن است کارایی یکسانی نداشته باشد. به‌عنوان مثال، نتایج مطالعات نشان می‌دهد که خاک‌های با درصد آهک زیاد (بیش از ۳۰ درصد) به دلیل ظرفیت بافوری بالا و تمایل به تشکیل ترکیبات کربناته پایدار، ممکن است واکنش کمتری به اصلاح با مواد آلی نشان دهند. در مقابل، خاک‌های با محتوای آهک متوسط (۳۰-۱۵ درصد) ممکن است بیشترین بهره‌وری را از کاربرد کود دامی نشان دهند، زیرا کود دامی در این شرایط می‌تواند ضمن کاهش موضعی pH و بهبود جذب عناصر غذایی، ساختمان فیزیکی خاک را نیز بهبود بخشد (Diacono and Montemurro, 2011). از آنجا که سطح آهک موجود در خاک می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر پاسخ گیاهان به اصلاح خاک داشته باشد، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر کاربرد کود دامی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های آهکی با درصدهای متفاوت آهک و ارزیابی پاسخ رشد گندم به این تیمارها طراحی و در شرایط کنترل‌شده اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار نوع خاک آهکی (حاوی ۳۹، ۳۴، ۱۴ و ۸ درصد آهک) و دو سطح کود گاوی پوسیده (۰ و ۴ تن در هکتار) بودند. چهار نمونه خاک مورد مطالعه طوری انتخاب شدند که از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مشابه هم بوده ولی از نظر میزان آهک تفاوت قابل‌توجهی با هم داشتند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مهم خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ و برخی از ویژگی‌های کود دامی مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک‌های مورد مطالعه

Ava. K	Ava. P	TNV	OC	EC <sub>e</sub>	pH	خاک بافت
(mg kg <sup>-1</sup> )			(%)	(dS m <sup>-1</sup> )		

۸۴	۲/۲۱	۳۹	۰/۲۸	۰/۶۶۸	۷/۸۵	Silty loam	S1
۳۷۴	۲/۳۵	۳۴	۰/۳۶	۰/۹۲۱	۷/۸۱	Silty clay loam	S2
۱۵۰	۲/۵۵	۱۴	۰/۳۱	۰/۳۸۴	۷/۷۲	Sandy loam	S3
۳۰۳	۲/۶۵	۸	۰/۴۵	۱/۰۶۸	۷/۶۵	Sandy loam	S4

OC: درصد کربن آلی؛ TNV: ارزش خنثی‌سازی کل (آهک)؛ Ava. K و Ava. P: به ترتیب، پتاسیم و فسفر قابل جذب

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های کود دامی مورد استفاده

Total K (mg kg <sup>-1</sup> )	Total P (mg kg <sup>-1</sup> )	N (%)	OC (%)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	PH
۱/۰۸	۰/۳۶	۰/۹۴	۲۵	۲۱	۷/۹

سه کیلوگرم از هر نمونه خاک با کود دامی پوسیده مخلوط و در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی ریخته شد. رطوبت خاک به ظرفیت مزرعه‌ای رسانده و به مدت ۱۵ روز نگهداری شد. سپس ۳۰ میلی‌گرم اوره بر کیلوگرم خاک در آب مقطر حل و به هر گلدان افزوده شد. در هر گلدان ۱۵ بذر گندم صدرا کشت و پس از ۱۰ روز به ۱۰ بوته تنک شد. پس از ۹۰ روز، ارتفاع بوته‌ها ثبت و گیاهان از طوقه قطع شد. ریشه و شاخساره پس از شستشو، در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک و توزین شدند. خاک هر گلدان برای سنجش کربنات کلسیم (روش خنثی‌سازی با اسید)، کربن آلی (والکلی بلک)، فسفر (اولسن)، پتاسیم (استات آمونیوم)، pH و EC هواخشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. تحلیل آماری با آزمون PLSD (سطح ۵ درصد) و نرم‌افزار R (ویرایش ۴،۵،۱) انجام شد.

## نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نوع خاک بر کلیه صفات مورد مطالعه به استثنای pH در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، نوع خاک بر ارتفاع بوته و وزن خشک ریشه در سطح ۱ درصد و بر وزن خشک شاخساره و نسبت وزن ریشه به شاخساره در سطح ۵ درصد اثر معنی‌دار نشان داد (جدول ۴). کاربرد کود دامی نیز بر کلیه خصوصیات خاک و شاخص‌های گیاهی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل نوع خاک و کود دامی بر میزان آهک، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک در سطح ۱ درصد و بر pH خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل همچنین بر ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه و شاخساره در سطح ۱ درصد و بر نسبت وزن ریشه به شاخساره در سطح ۵ درصد تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۳ و ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کود دامی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های مختلف مورد مطالعه

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییرات
Av. P	Av. K	EC <sub>e</sub>	pH	TNV %	OM %		
۰/۲۸۷**	۱۰۸۷۳۱**	۰/۹۱۴**	۰/۰۰۴	۱۴۰۵/۴۷**	۰/۱۲۱**	۳	خاک
۱۰/۱۴۰**	۳۵۸۵۵/۷**	۱/۳۲۵**	۰/۰۸۱**	۵/۵۶۸**	۰/۱۹۴**	۱	کود دامی
۰/۶۸۰**	۴۶۶۰/۶۲**	۰/۰۲۶	۰/۰۲۵*	۵/۸۹۴**	۰/۰۰۶	۳	خاک×کود دامی
۰/۰۴۵	۱۱۵/۴۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۷	۰/۶۴۲	۰/۰۰۷	۱۶	خطای کل
۹/۳۲	۴/۰۴	۷/۹۷	۱/۰۵	۳/۸۷	۹/۵۴	-	ضریب تغییرات

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر کود دامی بر پاسخ‌های رشدی گیاه گندم در خاک‌های مختلف مورد مطالعه

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
نسبت وزن ریشه به شاخساره	وزن ریشه خشک	وزن شاخساره خشک	ارتفاع بوته		
۰/۱۷۸*	۹۳/۰۱۰**	۳/۰۹۵*	۳۸/۳۷۵**	۳	خاک
۱/۹۱۹**	۱۹/۵۴۰**	۱۲۳/۴۸۸**	۲۴۷/۰۴۲**	۱	کود دامی

۰/۱۹۷*	۳/۴۲۱**	۴/۳۷۵**	۲۶/۹۳۱**	۳	خاک×کود دامی
۰/۰۴۵	۰/۲۳۵	۰/۶۸۵	۱/۱۲۵	۱۶	خطای کل
۲۱/۵۳	۱۴/۲۸	۹/۵۴	۷/۲۱	-	ضریب تغییرات

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

### میزان آهک و ماده آلی خاک

نتایج نشان داد در خاک ۱ (حاوی ۳۹ درصد آهک)، TNV به طور معنی داری از ۳۹/۸ به ۴۳/۵ درصد افزایش یافت (جدول ۵)، که احتمالاً ناشی از تشکیل کربنات کلسیم یا هیدروکسی آپاتیت بر اثر واکنش کاتیون‌های کلسیم آزاد شده از کود دامی با آنیون‌های کربنات و فسفات موجود در خاک می‌باشد. در خاک‌های ۲، ۳ و ۴ (حاوی به ترتیب ۳۴، ۱۴ و ۸ درصد آهک)، کود دامی تأثیر معنی داری بر TNV نداشت که احتمالاً به دلیل خنثی شدن اسیدهای آلی حاصل از تجزیه کود دامی بود. با این حال، کود دامی در تمام خاک‌ها ماده آلی را افزایش داد که نشان‌دهنده نقش مستقل آن به عنوان منبع کربن آلی و تشکیل کمپلکس‌های پایدار با کاتیون‌های فلزی می‌باشد. بنابراین، کاربرد کود دامی می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود حاصلخیزی خاک‌های آهکی با هر درصد آهک باشد، هرچند که در خاک‌های آهکی با آهک زیاد ممکن است کاهش فراهمی فسفر به دلیل تشکیل کلسیم فسفات رخ دهد که نیازمند تلفیق با اصلاح‌کننده‌های اسیدی است.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر کود دامی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های مختلف مورد مطالعه

خاک	کود دامی (kg ha <sup>-1</sup> )	OM (%)	TNV (%)	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	Ava. K (mg kg <sup>-1</sup> )	Ava. P (mg kg <sup>-1</sup> )
خاک ۱	۰	۰/۶۸d	۳۹/۸b	۷/۷۷c	۱/۰۳e	۸۱/۹f	۱/۳e
خاک ۲	۴۰۰۰	۰/۸۴c	۴۳/۵a	۷/۷۵c	۱/۳۸c	۱۱۱/۹e	۲/۸b
خاک ۳	۴۰۰۰	۰/۸۸c	۲۲/۷c	۷/۷۸bc	۱/۲۰d	۳۷۹/۹b	۱/۴de
خاک ۴	۴۰۰۰	۱/۱۵a	۲۲/۴c	۷/۸۱a-c	۱/۵۷b	۴۰۸/۰a	۳/۱ab
	۰	۰/۶۶d	۱۱/۴d	۷/۷۲c	۰/۴۱f	۱۵۸/۲d	۱/۷d
	۴۰۰۰	۰/۸۳c	۱۰/۸d	۷/۹۲ab	۱/۰۴de	۲۸۵/۰c	۳/۴a
	۰	۰/۹۲bc	۷/۲e	۷/۶۷c	۱/۳۸c	۲۹۰/۰c	۱/۲c
	۴۰۰۰	۱/۰۴ab	۸/۲e	۷/۹۳a	۱/۹۲a	۴۱۴/۴a	۲/۴c

### pH و EC خاک

در خاک‌های ۱ و ۲ (با محتوای آهک بیشتر از ۳۰ درصد)، pH تغییر معنی داری نداشت (جدول ۵) که ناشی از ظرفیت بافری قوی سیستم کربناتی این خاک‌ها بود. این سیستم از طریق تبادل کاتیون‌های کلسیم با یون‌های هیدروژن حاصل از تجزیه مواد آلی (مانند تبدیل  $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ )، هرگونه تغییر اسیدیته را خنثی می‌کند. در مقابل، در خاک‌های ۳ و ۴ (با محتوای آهک کمتر از ۲۰ درصد)، افزایش جزئی اما معنی دار pH (افزایش pH از ۷/۷ به ۷/۹) مشاهده شد که حاصل آزادسازی کاتیون‌های بازی نظیر  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Mg}^{2+}$  و  $\text{K}^+$  طی فرآیند معدنی شدن کود دامی بود.

کود دامی در تمامی خاک‌ها هدایت الکتریکی (EC) خاک را به طور معنی دار افزایش داد (جدول ۵) که نشان‌دهنده تجمع نمک‌های محلول (عمدتاً  $\text{K}^+$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Cl}^-$  و  $\text{SO}_4^{2-}$ ) حاصل از تجزیه کود دامی می‌باشد. با این حال، میزان افزایش EC به ترکیب اولیه خاک وابسته بود؛ به طوری که بیشترین میزان افزایش در خاک‌های ۳ و ۴ ثبت شد و دلیل احتمالی آن ترکیب دو عامل می‌باشد: ۱- ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) پایین‌تر در این خاک‌ها که منجر به نگهداری کمتر کاتیون‌ها و افزایش غلظت آن‌ها در محلول خاک می‌شود؛ ۲- نرخ بالاتر معدنی شدن مواد آلی به دلیل فعالیت میکروبی بیشتر در محیط‌های با محدودیت شیمیایی کمتر. در مقابل، در خاک‌های ۱ و ۲ (دارای آهک زیاد)، افزایش EC محدودتر بود که علت آن جذب انتخابی کاتیون‌ها توسط رسوبات کربناته (مانند تشکیل کلسیت ثانویه) و کاهش نرخ تجزیه مواد آلی در این شرایط می‌باشد.

### فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک

کاربرد کود دامی غلظت فسفر و پتاسیم قابل جذب را در خاک‌های آهکی مورد مطالعه به‌طور معنی‌دار افزایش داد (جدول ۵)، هر چند مکانیسم‌های این افزایش برای هر عنصر متفاوت بود. افزایش معنی‌دار فسفر قابل جذب در خاک‌های با محتوای آهک بالا تا متوسط (خاک‌های ۱، ۲ و ۳) ممکن است ناشی از تولید اسیدهای آلی در طی فرآیند معدنی‌شدن کود دامی باشد که از طریق دو سازوکار اصلی زیر رخ داده است: ۱- کاهش موضعی pH در ناحیه ریزوسفر و انحلال فسفات‌های کلسیم نامحلول که در خاک‌های با آهک متوسط (خاک‌های ۲ و ۳) مکانیسم غالب بوده است؛ ۲- تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلزی با کلسیم که از رسوب فسفر جلوگیری کرده و در خاک با بالاترین محتوای آهک (خاک ۱) نقش کلیدی داشته است.

در مورد پتاسیم، افزایش معنی‌دار شکل قابل جذب در تمامی خاک‌ها مشاهده شد که بیشترین میزان آن در خاک‌های ۳ و ۴ ثبت شد (جدول ۵). این افزایش ممکن است ناشی از: ۱- افزوده شدن مستقیم پتاسیم موجود در کود دامی به محلول خاک و ۲- بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بر اثر افزایش ماده آلی که به‌ویژه در خاک‌های با بافت سبکتر (خاک ۳ و ۴)، اثر بارزتری در نگهداری پتاسیم داشت. در حالی که پاسخ پتاسیم به کود دامی وابستگی کمی به درصد آهک خاک نشان داد، پاسخ فسفر به‌شدت تحت تأثیر محتوای آهک اولیه خاک قرار گرفت.

### وزن شاخساره و ریشه خشک

نتایج نشان داد که کاربرد کود دامی به‌طور معنی‌داری وزن خشک شاخساره و ریشه گندم را در تمام خاک‌های مورد مطالعه افزایش داد، اما بیشترین بهبود عملکرد در خاک ۱ مشاهده شد (جدول ۶) که دارای شدیدترین محدودیت‌ها شامل بیشترین درصد آهک و pH و کمترین میزان ماده آلی و فسفر و پتاسیم قابل جذب بود. کاربرد کود دامی در این خاک وزن خشک شاخساره را از ۰/۸ به ۷/۵ گرم در گلدان (حدود ۸۳۰ درصد) و وزن خشک ریشه را از ۱/۴ به ۵/۲ گرم در گلدان (حدود ۲۷۰ درصد) افزایش داد. این جهش عملکردی احتمالاً ناشی از اثرات هم‌افزایی سه عامل زیر بوده است: ۱- افزایش ماده آلی خاک (از ۰/۷ به ۰/۸ درصد) که فعالیت میکروبی و ساختمان خاک را بهبود بخشیده است؛ ۲- بهبود فراهمی فسفر (از ۱/۳ به ۲/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از طریق تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلزی با  $Ca^{2+}$  و جلوگیری از رسوب فسفات و ۳- افزایش پتاسیم قابل جذب (از ۱۱/۹ به ۱۱۱/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دلیل افزوده شدن پتاسیم کود دامی به محلول خاک. به‌طور کلی، پاسخ رشدی گندم به کود دامی تابعی از درجه محدودیت‌های اولیه خاک بود؛ به‌عنوان مثال، خاک‌های با محدودیت‌های شدیدتر، بیشترین سود را از اصلاح با کود دامی بردند، چرا که کود دامی هم‌زمان سه محدودیت اصلی (فقر ماده آلی، کمبود فسفر و ضعف ساختمان فیزیکی خاک) را برطرف کرد. در مقابل، در خاک‌های با محدودیت‌های متوسط تا کم، بهبود عملکرد عمدتاً از طریق تأمین مستقیم عناصر غذایی (به‌ویژه پتاسیم) و بهبود خواص فیزیکی‌شیمیایی خاک حاصل شد.

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر کود دامی بر پاسخ‌های رشدی گیاه گندم در خاک‌های مختلف مورد مطالعه

خاک	کود ( $kg\ ha^{-1}$ )	وزن شاخساره خشک (g)	وزن ریشه خشک (g pot <sup>-1</sup> )	ارتفاع بوته (cm)	نسبت ریشه به شاخساره
خاک ۱	۰	۰/۸d	۱/۴c	۶/۷f	۱/۸a
	۴۰۰۰	۷/۵a	۵/۲a	۱۷/۷a-c	۰/۷c
خاک ۲	۰	۱/۵d	۱/۷c	۹/۳e	۱/۱b
	۴۰۰۰	۶/۶ab	۴/۱b	۱۸/۳ab	۰/۶c
خاک ۳	۰	۱/۸d	۱/۹c	۱۳/۰d	۱/۱b
	۴۰۰۰	۵/۳b	۳/۹b	۱۶/۳c	۰/۸bc
خاک ۴	۰	۳/۸c	۴/۰b	۱۷/۰bc	۱/۱b
	۴۰۰۰	۶/۷ab	۵/۰a	۱۹/۳a	۰/۷bc

### ارتفاع بوته و نسبت ریشه به شاخساره

کاربرد کود دامی به‌طور معنی‌داری ارتفاع بوته را افزایش و نسبت ریشه به شاخساره (R/S) را در گندم کاهش داد ولی الگوی این تغییرات وابسته به میزان آهک اولیه خاک بود (جدول ۶). با افزودن کود دامی به خاک، افزایش ارتفاع بوته در تمام خاک‌ها مشاهده شد، اما شدت این افزایش از خاک ۱ به خاک ۴ کاهش یافت؛ به‌طوری که بیشترین افزایش ارتفاع در خاک ۱ و کمترین افزایش در خاک ۴ رخ داد. این شیب کاهشی در افزایش ارتفاع، احتمالاً ناشی از رفع محدودیت‌های تغذیه‌ای شدیدتر در خاک‌های غنی از آهک بوده است که با افزایش همزمان ماده آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب (پیش‌تر گزارش شد) امکان توسعه سریع‌تر شاخساره را فراهم کرده است.

کاهش نسبت R/S به‌ویژه در خاک‌های ۱ و ۲ (حاوی آهک کمتر از ۳۰ درصد) قابل توجه بود. این تغییر نشان‌دهنده تغییر الگوی تخصیص کربن به نفع رشد شاخساره در پاسخ به بهبود شرایط خاک بود. پس از مصرف کود، عدم تفاوت معنی‌دار R/S در همه خاک‌ها حاکی از یکسان‌سازی نسبی شرایط تغذیه‌ای بود. این الگوی پاسخ، انطباق فیزیولوژیک گندم با بهبود حاصلخیزی خاک را نشان می‌دهد؛ به طوری که در خاک‌های با محدودیت شدیدتر (مثل خاک ۱)، گیاه با تخصیص منابع به ریشه به کم‌بودها پاسخ داده است، اما با اصلاح خاک توسط کود دامی، تغییر راهبردی به سمت رشد شاخساره (کاهش R/S) رخ داده که مکانیسم بهینه‌سازی برای افزایش عملکرد دانه از طریق تقویت اندام‌های زایا می‌باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که کود دامی به‌طور معنی‌داری حاصلخیزی خاک‌های آهکی و عملکرد گندم را بهبود بخشید. اگرچه در خاک‌های با آهک بالا (بیش از ۳۰ درصد)، کاهش pH و آهک کل مشاهده نشد، اما تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلزی و افزایش ماده آلی، جذب عناصر غذایی را تسهیل کرد. بیشترین تأثیر مثبت کود دامی در خاک‌های با محدودیت‌های تغذیه‌ای شدید (آهک بالا و ماده آلی کم) مشاهده شد که منجر به افزایش قابل توجه رشد گیاه شد. به‌طور کلی، کود دامی به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای بهبود حاصلخیزی خاک‌های آهکی و افزایش عملکرد گندم توصیه می‌شود، هرچند پایش شوری خاک در خاک‌های سبک‌بافت ضروری است.

### فهرست منابع

- Diacono, M., Montemurro, F. (2011). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. In *Sustainable agriculture volume 2* (pp. 761-786). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Lal, R., Negassa, W., Lorenz, K. (2015). Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15: 79-86.
- Li, J., Cooper, J.M., Lin, Z.A., Li, Y., Yang, X., Zhao, B. (2015). Soil microbial community structure and function are significantly affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain. *Applied Soil Ecology*, 96: 75-87.
- Mokolobate, M., Haynes, R. (2002). Comparative liming effect of four organic residues applied to an acid soil. *Biology and fertility of soils*, 35(2): 79-85.
- Rong, Q., Zhong, K., Huang, H., Li, C., Zhang, C., Nong, X. (2020). Humic acid reduces the available cadmium, copper, lead, and zinc in soil and their uptake by tobacco. *Applied Sciences*, 10(3): 1077.

### The role of farmyard manure in ameliorating calcareous soil properties and enhancing wheat growth in a greenhouse study

Yaser Azimzadeh, Arash Mohammadzadeh, Mehdi Kooselou

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

#### Abstract

This study investigated the effects of cattle manure on calcareous soils with different lime contents through a factorial experiment conducted in a completely randomized design with three replications under greenhouse conditions. The treatments consisted of four calcareous soils (containing 39%, 34%, 14%, and 8% lime) and two levels of decomposed cattle manure (0 and 4 tons ha<sup>-1</sup>). Sixty days after planting 10 wheat plants (cv. Sadra) in pots containing 3 kg of soil, plant growth parameters and soil chemical properties were measured. Results

showed that manure application significantly increased organic matter, available phosphorus, and potassium, particularly in the high-lime soil (39% lime). The most pronounced effects on wheat growth were observed in the most constrained soil (39% lime), showing an 830% increase in shoot dry weight and a 60% decrease in root-to-shoot ratio, indicating a shift in photosynthetic allocation toward shoot in response to improved nutrient availability. Generally, manure effectiveness was inversely related to the initial soil constraints, demonstrating its greatest benefits in soils with the most severe nutritional limitations.

**Keywords:** Calcareous soil, cattle manure, rainfed wheat, organic matter