

مدیریت مصرف نیتروژن و فسفر در ماشک علوفه‌ای دیم تحت سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی

رامین لطفی^{۱*}، علی رسائی^۲، خشنود علیزاده^۳، ولی فیضی اصل^۱، غلامرضا قهرمانیان^۱

- ۱- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.
- ۲- معاونت سرارود، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
- ۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.

چکیده مبسوط

مقدمه: در اراضی دیم محدودیت رطوبت خاک، توزیع نامناسب بارندگی و نوسانات دمایی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید پایدار محصولات زراعی به‌شمار می‌روند. در چنین شرایطی، به‌کارگیری سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی)، به‌عنوان راهبردی مؤثر برای پایداری تولید است. ماشک علوفه‌ای به‌عنوان یکی از گیاهان لگوم مهم در تناوب با گندم، افزون بر تأمین علوفه، در ارتقای حاصلخیزی خاک و بهبود پایداری نظام‌های زراعی نقش مؤثری دارد. با این حال، پاسخ این گیاه به نهاده‌های غذایی، به‌ویژه نیتروژن و فسفر، می‌تواند تحت تأثیر نوع سامانه خاک‌ورزی و شرایط اقلیمی سال زراعی قرار گیرد. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی و سطوح مختلف کودهای نیتروژن و فسفر بر عملکرد و اجزاء عملکرد ماشک علوفه‌ای دیم در تناوب با گندم انجام شد.

روش‌شناسی پژوهش: این پژوهش در قالب آزمایش اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، طی چهار سال زراعی (۱۴۰۳-۱۳۹۹) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه اجرا شد. عامل اصلی شامل دو سامانه خاک‌ورزی (کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی) و عامل فرعی شامل چهار سطح نیتروژن یا فسفر، معادل صفر، ۲۲، ۴۳ و ۶۵ کیلوگرم در هکتار از منابع اوره و سوپرفسفات تریپل بود. صفات عملکرد علوفه و دانه ارزیابی شد. داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین‌ها تجزیه و تحلیل شدند و به‌منظور تعیین سطوح بهینه مصرف کود، از مدل‌های رگرسیونی درجه دوم استفاده شد.

یافته‌های پژوهش: سال زراعی، خاک‌ورزی و سطح مصرف کود، اثر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی داشتند. بیشترین عملکرد دانه در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ حاصل شد. همچنین، سامانه بدون خاک‌ورزی در مقایسه با کم‌خاک‌ورزی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و وزن صد دانه شد. کاربرد ۲۲ کیلوگرم در هکتار از هر دو کود اوره و سوپرفسفات تریپل نسبت به شاهد، سبب بهبود معنی‌دار اغلب صفات شد و در بیشتر موارد، بیشترین پاسخ در سطح ۴۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید، در حالی که افزایش مصرف تا ۶۵ کیلوگرم در هکتار برتری معنی‌داری ایجاد نکرد. برآورد مقادیر بهینه مصرف کود نشان داد که میزان مطلوب اوره برای صفات مختلف بین

* نگارنده مسئول: r.lotfi2025@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۹



۴۳ تا ۵۹ کیلوگرم در هکتار و میزان مطلوب سوپرفسفات تریپل بین ۳۹ تا ۵۸ کیلوگرم در هکتار قرار داشت. برای حصول ۹۰ درصد بیشینه عملکرد علوفه خشک ماشک رقم گل سفید در اقلیم سردسیر دیم، کاربرد حداکثر ۱۲ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۱۸ و ۳۲ کیلوگرم اوره در هکتار به ترتیب برای نظام کم خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی در تناوب با گندم توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: اوره، کشاورزی حفاظتی، فسفر، ماشک، زراعت دیم

مقدمه

پیچیدگی تعامل میان سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه، یکی از چالش‌های اصلی در کشاورزی حفاظتی است. خاک‌ورزی حفاظتی با تغییرات در پویایی رطوبت، دما و فعالیت میکروبی خاک، محیط ریزوسفری را برای فعالیت ریزوبیوم‌ها و گره‌بندی ریشه دگرگون می‌سازد (Lotfi & Pessarakli, 2023). از سوی دیگر، مدیریت نیتروژن در این سیستم‌ها نیازمند مدیریت ویژه است؛ چرا که مقادیر اندک نیتروژن استراتر می‌تواند رشد اولیه گیاه را تقویت کند، اما مصرف بیش از حد آن، همزیستی تثبیت نیتروژن را دچار اختلال می‌نماید (Salvagiotti et al., 2008). در سامانه‌های بی‌خاک‌ورزی، تجزیه تدریجی بقایای گیاهی و معدنی‌شدن کند نیتروژن، ممکن است در مراحل اولیه استقرار گیاه، کمبود موقت نیتروژن ایجاد کند که مدیریت دقیق نهاده را ضروری می‌سازد (Lal, 2015a). فسفر یک عنصر با تحرک بسیار کم در خاک است. در سیستم شخم مرسوم، اختلال خاک منجر به توزیع یکنواخت‌تر کودهای فسفاته در لایه شخم می‌شود. در مقابل، در سیستم کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی)، کود فسفره تمایل دارد در نزدیکی سطح خاک متمرکز شود و یک ناحیه غنی از فسفر در لایه‌های فوقانی ایجاد کند (Cade-Menun et al., 2012; Alam et al., 2018). این پدیده می‌تواند در شرایط مرطوب مفید باشد، اما در دوره‌های خشکی، زمانی که لایه سطحی خاک خشک می‌شود، دسترسی ریشه به این فسفر متمرکز می‌تواند به شدت کاهش یابد از این رو جایگذاری

مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله بخش‌های وسیعی از ایران، همواره با چالش‌های اقلیمی از قبیل محدودیت منابع آبی و نوسانات شدید بارندگی مواجه‌اند. در نظام‌های کشت دیم این مناطق، تغییرات دما و وقوع دوره‌های خشکی در طول فصل رشد، نه تنها ریسک تولید را افزایش داده، بلکه پایداری سیستم‌های زراعی را با تهدید جدی روبرو کرده است (Sadiq et al., 2025). در چنین شرایطی، کشاورزی حفاظتی به عنوان یک استراتژی مدیریتی تاب‌آور، با تکیه بر کاهش خاک‌ورزی، حفظ بقایای گیاهی و استقرار تناوب‌های زراعی متنوع، نقشی کلیدی در بهبود ذخیره رطوبت، کنترل فرسایش خاک و حفظ ماده آلی ایفا می‌کند (Lotfi et al., 2026).

توسعه کشت بقولات علوفه‌ای در تناوب‌های دیم، راهکاری استراتژیک برای تعدیل فشار چرای دام بر مراتع و احیای سلامت خاک محسوب می‌شود. در این میان، ماشک علوفه‌ای به دلیل توانایی بالا در تثبیت زیستی نیتروژن و سازگاری مناسب با اقلیم‌های سرد تا معتدل سرد، جایگاه ویژه‌ای در تناوب‌های گندم‌محور دارد. استقرار این گیاه در دوره‌های آیش، علاوه بر کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی، چرخه عناصر غذایی را بهبود بخشیده و با تقویت ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک، پایداری بلندمدت سیستم‌های تولید را تضمین می‌کند (Alizadeh, 2019; McClelland et al., 2021).

غلته‌دار) و ۲) بدون خاک‌ورزی (کاشت مستقیم) بود. کرت‌های فرعی نیز شامل چهار سطح کودی (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن یا فسفر خالص از منابع اوره یا سوپر فسفات تریپل) در نظر گرفته شد که معادل مقادیر کودی اوره (۴۶ درصد نیتروژن) و سوپرفسفات تریپل (۴۶ درصد اکسید فسفر) محاسبه گردید. لذا تیمارهای آزمایش بر مبنای کود اوره یا سوپرفسفات تریپل معادل ۰، ۲۲، ۴۳ و ۶۵ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. در تیمارهای مربوط به بررسی سطوح فسفر، تمامی کرت‌ها با مقدار ثابت ۴۰ کیلوگرم در هکتار اوره (به‌عنوان کود پایه) و در تیمارهای بررسی سطوح نیتروژن، تمامی کرت‌ها با ۳۵ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل تغذیه شدند. کلیه نهاده‌های کودی هم‌زمان با کاشت و به‌صورت جای‌گذاری عمقی در فاصله ۵ سانتی‌متری زیر بستر بذر اعمال شد.

کشت ماشک رقم گل‌سفید به‌صورت مکانیزه با استفاده از بذرکار مدل آسکه ۲۲۰۰ در عمق ۴ سانتی‌متری و با تراکم ۲۵۰ دانه در متر مربع انجام گرفت. ابعاد هر کرت ۱۵ متر طول و ۴/۵ متر عرض (شامل دو ردیف کشت) بود. آزمایش در تناوب با گندم (رقم هشت‌رود) بود و برای این منظور در مجاورت آزمایش، با رعایت دقیق تیمارهای خاک‌ورزی، فاز گندم نیز اجرا شد و تناوب ماشک-گندم به‌صورت چرخشی رعایت گردید. نمونه‌برداری برای تعیین عملکرد علوفه تر و خشک در مرحله گل‌دهی با برداشت ۵۰ درصد از سطح کرت‌ها انجام شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیک، ۵۰ درصد باقی‌مانده کرت‌ها جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه و وزن صد دانه برداشت گردید.

نواری کودها زیر بستر بذر انجام می‌شود (Valizadeh-Osalu, 2019).

با وجود درک کلی از نقش مثبت تناوب‌های بقولات و فواید خاک‌ورزی حفاظتی، دانش جامع درباره تعامل سطوح مختلف نیتروژن و فسفر در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی در شرایط دیم هنوز ناقص است. اکثر توصیه‌های کودی موجود، مستقل از نوع سیستم خاک‌ورزی ارائه می‌شوند که این امر مانع از تحقق پتانسیل عملکرد و بهره‌وری نهاده‌ها می‌گردد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات متقابل مدیریت تغذیه و سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد و اجزای عملکرد ماشک دیم در تناوب با گندم در اقلیم‌های سرد و معتدل سرد طراحی و اجرا شد تا استراتژی‌های علمی دقیق‌تری برای مدیریت بهینه نهاده‌ها در سیستم‌های دیم ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

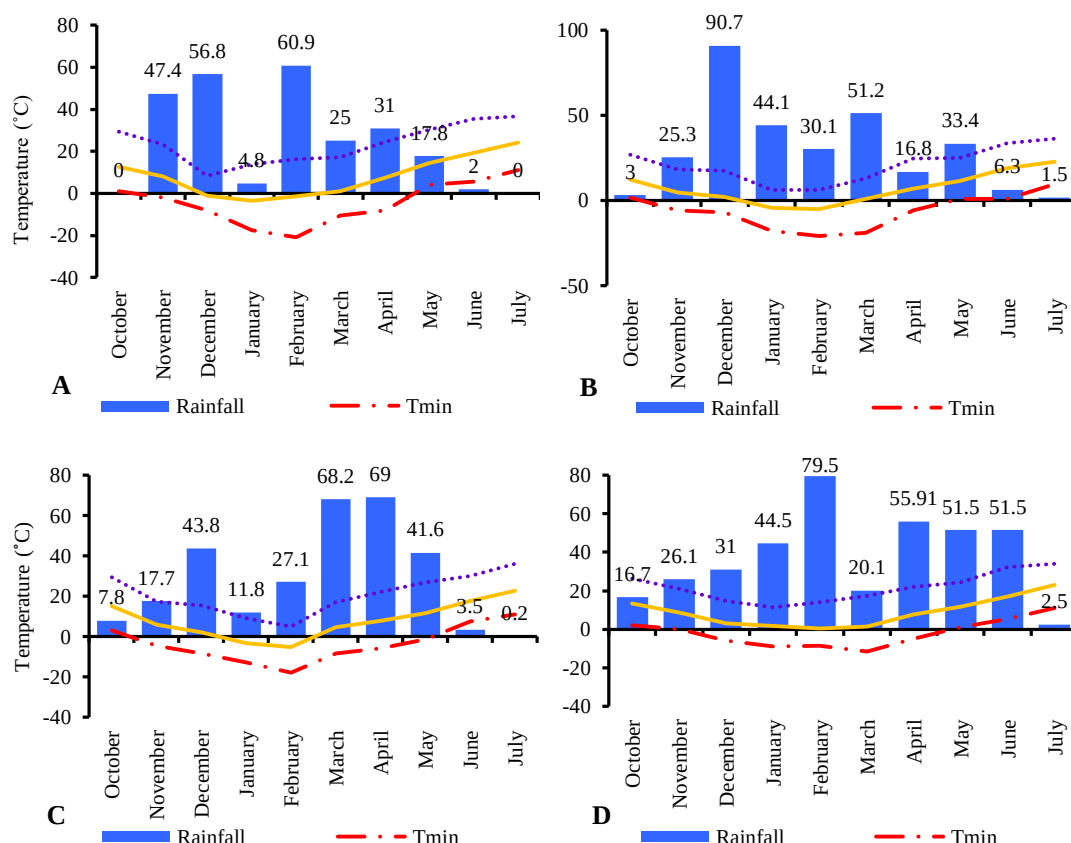
به‌منظور ارزیابی پاسخ ماشک علوفه‌ای به تغذیه متعادل نیتروژن و فسفر در سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی، آزمایشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه طی چهار سال زراعی (از پاییز ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۳) اجرا شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش پیش از اجرای آزمایش در جدول ۱ گزارش شده است. ایستگاه تحقیقاتی مراغه (واقع در استان آذربایجان شرقی؛ ارتفاع ۱۷۲۰ متر از سطح دریا) دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. داده‌های هواشناسی شامل روند تغییرات دما و میزان بارندگی به ترتیب در طول سال‌های اجرای آزمایش برای مراغه در شکل ۱ ارائه شده است.

این پژوهش به صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل دو سامانه خاک‌ورزی: ۱) حداقل خاک‌ورزی (استفاده از گاواهن قلمی

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی.

Table 1- Some physical and chemical properties of the soil at the experimental site.

نمونه خاک Soil sample	بافت خاک Soil texture	واکنش خاک pH	فسفر قابل جذب Ava. P	پتاسیم قابل جذب Ava. K	کربنات کلسیم معادل TNV	کربن آلی OC	هدایت الکتریکی عصاره اشباع ECe
			(mg/kg)		(%)		(dS/m)
مراغه Maragheh	Clay loam	7.78	4.4	603	8	0.57	0.86



شکل ۱- تغییرات زمانی پارامترهای بارش و دما طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۴۰۳؛ (A) ۱۳۹۹-۱۴۰۰، (B) ۱۴۰۱-۱۴۰۲، (C) ۱۴۰۲-۱۴۰۳ و (D) ۱۴۰۳-۱۴۰۴.

Figure 1. Spatiotemporal variations in precipitation and temperature (2020–2024): (A) 2020–2021, (B) 2021–2022, (C), 2022–2023, and (D) 2023–2024.

طریق مشتق گیری ($X_{max} = -b/2a$)، مقدار کودی متناظر با ۹۰ درصد پتانسیل بیشینه عملکرد از بخش صعودی منحنی پاسخ محاسبه و به عنوان توصیه کودی انتخاب شد (فیضی اصل، ۱۴۰۵). داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری

به منظور تعیین توصیه کودی بهینه، از سطح ۹۰ درصد بیشینه عملکرد استفاده گردید. بدین منظور، ابتدا معادلات پاسخ عملکرد به مقادیر کود بر اساس مدل درجه دوم ($y=ax^2+bx+c$) برازش داده شد. سپس، با تعیین نقطه بیشینه عملکرد (Y_{max}) از

GenStat14 تجزیه واریانس شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و رسم نمودارها در محیط Excel انجام شد.

نتایج و بحث

طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲، نوسانات الگوی بارندگی و توزیع نامناسب بارش در مراحل اولیه رشد، منجر به استقرار نامطلوب و غیریکنواخت گیاهچه‌ها شد. همچنین، شرایط اقلیمی (دمای پایین) محدودیت‌هایی را در به‌کارگیری به‌موقع علف‌کش گالانت‌سوپر برای کنترل علف‌های هرز (عمدتاً باریک‌برگ و غلات ریزش یافته) ایجاد کرد. به دلیل عدم یکنواختی تراکم بوته در پلات‌ها، داده‌برداری در سال مذکور امکان‌پذیر نبود و تمامی پلات‌ها در مرحله گل‌دهی به‌صورت یکنواخت برداشت شدند. لذا در این مقاله نتایج سه سال آورده شده است.

تجزیه واریانس مرکب سال برای بررسی اثر نیتروژن و فسفر در عملکرد علوفه و دانه ماشک در شرایط دیم نشان داد که برای کود نیتروژن اثر اصلی کود روی کلیه صفات مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر سال در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد. اثر اصلی خاک‌ورزی فقط بر عملکرد و وزن دانه معنی‌دار بود. اثر متقابل خاک‌ورزی $\times$ نیتروژن فقط بر وزن خشک علوفه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تجزیه واریانس مرکب سال برای کود فسفر نیز نشان داد که اثر اصلی فسفر روی وزن خشک علوفه در سطح احتمال ۵ درصد و برای سایر صفات مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر سال در سطح احتمال ۵ درصد روی عملکرد دانه معنی‌دار

بود. اثر اصلی خاک‌ورزی فقط روی عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد و وزن دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار ارزیابی شد. اثر متقابل خاک‌ورزی $\times$ نیتروژن فقط روی وزن دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

بررسی اثرات کودهای فسفر و نیتروژن بر عملکرد دانه ماشک در طی سال‌های زراعی مورد مطالعه نشان داد که در هر دو آزمایش، حداکثر عملکرد دانه در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ حاصل شد؛ به‌طوری‌که این میزان در تیمار فسفر با میزان ۴۰۴/۸ کیلوگرم در هکتار و در تیمار نیتروژن با ۴۳۵/۹ کیلوگرم در هکتار، به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو سال دیگر بود. کمترین میزان عملکرد در هر دو بررسی به سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اختصاص داشت، با این وجود، تفاوت عملکرد در این سال با سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۲). با توجه به تغییرات زمانی بارش و دما در سال‌های زراعی مورد مطالعه، به‌نظر می‌رسد تفاوت عملکرد دانه ماشک بین سال‌ها عمدتاً ناشی از تفاوت در شرایط رطوبتی و حرارتی فصل رشد بوده است. بیشترین عملکرد دانه در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲، هم در آزمایش فسفر با میانگین ۴۰۴/۸ کیلوگرم در هکتار و هم در آزمایش نیتروژن با میانگین ۴۳۵/۹ کیلوگرم در هکتار، نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی این سال برای رشد و تولید دانه ماشک مناسب‌تر بوده است.

بر اساس روندهای نشان‌داده شده در شکل ۱، در این سال توزیع بارش در طول فصل رشد، به‌ویژه در مراحل حساس گلدهی، غلاف‌دهی و پر شدن دانه، مطلوب‌تر بوده و نوسانات دمایی نیز محدودیت کمتری برای رشد گیاه ایجاد کرده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب (سال) اثر نیتروژن و فسفر تحت نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد علوفه و دانه ماشک دیم

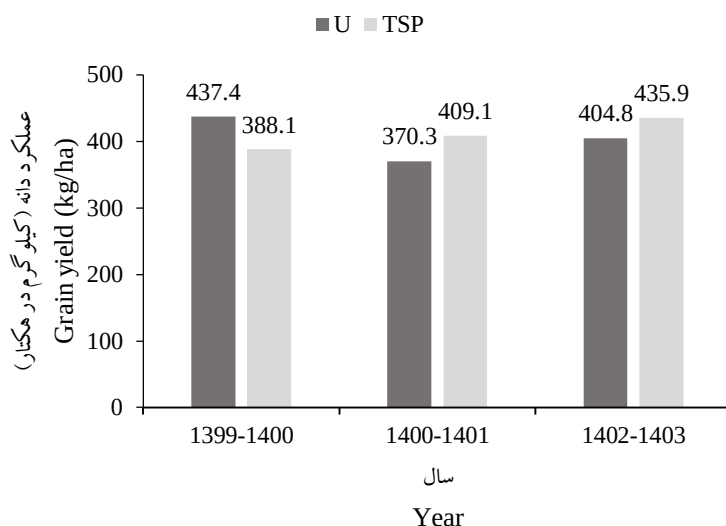
Table 2. Combined analysis of variance (across years) for the effects of nitrogen and phosphorus on forage and grain yield of dryland vetch under conservation tillage systems.

منبع تغییرات SOV	درجه آزادی df	وزن خشک علوفه Dry forage weight		وزن تر علوفه Fresh forage weight		عملکرد بیولوژیکی Biological yield		عملکرد دانه Grain yield		وزن صد دانه Seed weight	
		سوپرفسفات تریپل TSP		سوپرفسفات تریپل TSP		سوپرفسفات تریپل TSP		سوپرفسفات تریپل TSP		سوپرفسفات تریپل TSP	
		اوره U	اوره U	اوره U	اوره U	اوره U	اوره U	اوره U	اوره U	اوره U	اوره U
سال Year (Y)	2	627922 ns	240038 ns	1801004 ns	2990017 ns	786800 ns	436980 ns	20086 *	13757 *	0.94 ns	0.038 ns
خطا Residual	6	140448	111876	1054754	1524768	236684	102268	2343	1335	0.5	0.142
خاک‌ورزی Tillage (T)	1	34366 ns	2358 ns	282877 ns	529592 ns	8320 ns	4688 ns	13965 **	4146 *	8.45 **	12.475 **
Y × T	2	123319 ns	71470 ns	1130378 ns	1772586 ns	124969 ns	67882 ns	258 ns	455 ns	0.38 ns	0.082 ns
Residual	6	62084	15905	2055694	355987	58992	15626	529	691	0.11	0.094
کود Fertilizer (F)	3	423363 **	168905 *	7119447 **	4692067 **	603861 **	308517 **	18080 **	17402 **	5.92 **	3.158 **
Y × F	6	32678 ns	14006 ns	101258 ns	78710 ns	19274 ns	18366 ns	2589 ns	1220 ns	0.16 ns	0.301 ns
T × F	3	113447 *	43154 ns	983810 ns	354395 ns	120388 ns	28019 ns	2467 ns	1535 ns	0.35 ns	0.975 *
Y × T × F	6	34817 ns	18338 ns	478712 ns	424942 ns	47090 ns	14669 ns	1276 ns	552 ns	0.14 ns	0.303 ns
Residual	36	30415	38173	445155	738831	49131	51228	2176	1531	0.2	0.227
ضریب تغییرات CV%		10	11.9	11.7	15	9.9	10.5	12.5	9.5	10.8	11.3

*, ** and ns: significant at 5, and 1 percent and non-significant, respectively. U and TSP are urea and triple superphosphate.

رشد و عملکرد لگوم‌ها نشان می‌دهد (Vance et al., 2003; Marschner, 2012). بنابراین، در سالی که بارش و دما شرایط مناسب‌تری برای رشد ماشک فراهم کرده‌اند، مصرف فسفر احتمالاً از طریق بهبود رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و افزایش فعالیت گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، موجب افزایش عملکرد دانه شده است. از سوی دیگر، کاربرد نیتروژن نیز می‌تواند در مراحل اولیه رشد، استقرار بوته و توسعه سطح برگ را تقویت کند و در صورت نبود تنش شدید رطوبتی یا حرارتی، این اثر به افزایش تولید ماده خشک و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه منجر شود (Graham and Vance, 2003; Fageria et al., 2011).

در لگوم‌های دانه‌ای، تأمین رطوبت کافی در مراحل زایشی باعث افزایش دوام سطح برگ، بهبود فتوسنتز، کاهش ریزش گل و غلاف و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌شود؛ در حالی که تنش خشکی یا دمای بالا در این مراحل می‌تواند تعداد غلاف و وزن دانه را کاهش دهد (Prasad et al., 2008; Sinclair and Vadez, 2012). همچنین در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۳ همچنین می‌تواند نشان‌دهنده افزایش کارایی مصرف کودهای فسفر و نیتروژن در شرایط اقلیمی مساعد باشد. فسفر با نقش مهم در توسعه ریشه، انتقال انرژی، گره‌زایی و تثبیت زیستی نیتروژن، در شرایطی که رطوبت خاک کافی باشد، بهتر جذب شده و اثر بیشتری بر



شکل ۲- عملکرد دانه ماشک در سال‌های مختلف اجرای آزمایش تحت تیمارهای کودی نیتروژن و فسفر. مقادیر حداقل اختلاف معنی‌دار برای نیتروژن $LSD 5\% = 25.81$ و برای فسفر $LSD 5\% = 34.19$ و U و TSP به ترتیب اوره و سوپرفسفات تریپل.

Figure 2. Grain yield of vetch across experimental years under nitrogen and phosphorus fertilizer treatments. The LSD values ($P \leq 0.05$) for nitrogen and phosphorus were 25.81 and 34.19, respectively. U and TSP are urea and triple superphosphate.

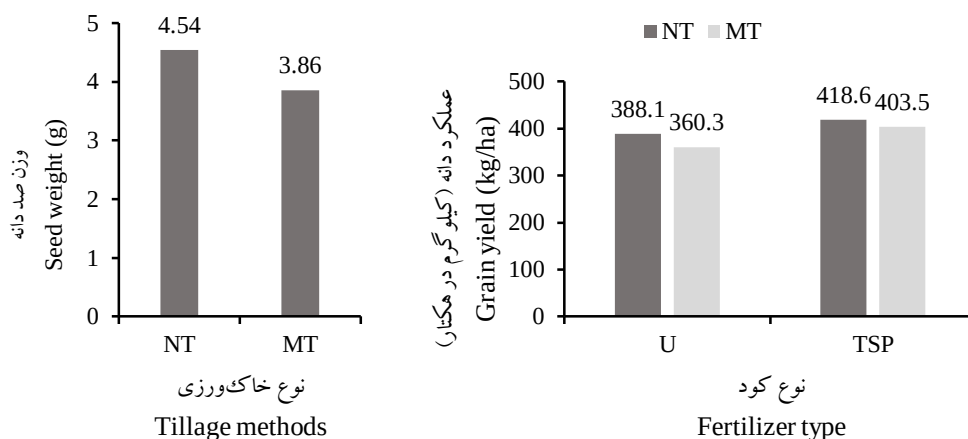
معنی‌داری بیشتر از نظام کم‌خاک‌ورزی (۳/۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) بود؛ این برتری در وزن دانه نیز مشهود بود، به‌طوری‌که وزن صد دانه در بدون خاک‌ورزی (۴/۵ گرم) به‌طور معنی‌داری بالاتر از کم‌خاک‌ورزی (۳/۸ گرم) ثبت شد. در تیمار فسفر

نتایج ارزیابی سامانه‌های خاک‌ورزی نشان داد که نظام بدون خاک‌ورزی در هر دو تیمار تغذیه‌ای منجر به بهبود معنی‌دار عملکرد دانه ماشک گردید. در تیمار نیتروژن، عملکرد دانه در شرایط بدون خاک‌ورزی (۳۸۸/۱ کیلوگرم در هکتار) به‌طور

مواد فتوسنتزی به دانه بهتر انجام می‌شود و دانه‌ها فرصت بیشتری برای پرشدن پیدا می‌کنند (Blanco-Canqui and Lal, 2008). از طرف دیگر، بدون خاک‌ورزی با کاهش اختلال مکانیکی خاک، به حفظ پیوستگی منافذ، فعالیت زیستی و تجمع تدریجی ماده آلی کمک می‌کند؛ این فرایندها می‌توانند کارایی مصرف نیتروژن را نیز افزایش دهند، زیرا در خاک‌های با ساختمان پایدارتر، توسعه ریشه و بهره‌برداری از آب و عناصر غذایی بهتر انجام می‌شود (Hobbs et al., 2008; Pittelkow et al., 2015).

در تیمار فسفر نیز برتری بدون خاک‌ورزی احتمالاً با بهبود شرایط ریشه‌زایی و استفاده مؤثرتر از فسفر مرتبط است. اگرچه تحرک فسفر در خاک پایین است، اما در سامانه‌های حفاظتی، تمرکز نسبی فسفر در لایه‌های سطحی همراه با رطوبت بیشتر این لایه‌ها می‌تواند دسترسی گیاه به این عنصر را بهبود دهد؛ به‌ویژه در لگوم‌ها که فسفر برای توسعه ریشه، انتقال انرژی و تثبیت زیستی نیتروژن اهمیت اساسی دارد (Richardson et al., 2009). در نتیجه، افزایش عملکرد دانه در بدون خاک‌ورزی در هر دو تیمار تغذیه‌ای نشان می‌دهد که اثر مثبت کودها زمانی بهتر بروز می‌کند که سامانه خاک‌ورزی بتواند محیط ریشه را از نظر آب، ساختمان خاک و فعالیت زیستی در وضعیت مطلوب‌تری نگه دارند.

نیز روندی مشابه مشاهده گردید و عملکرد دانه در نظام بدون خاک‌ورزی با میانگین ۴۱۸/۶ کیلوگرم در هکتار، به‌طور معنی‌داری از نظام کم‌خاک‌ورزی با میانگین ۴۰۳/۵ کیلوگرم در هکتار بالاتر بود (شکل ۳). نتایج نشان داد که نظام بدون خاک‌ورزی توانسته بستر مناسب‌تری برای تولید دانه ماشک نسبت به کم‌خاک‌ورزی فراهم کند. برتری معنی‌دار عملکرد دانه در تیمار بدون خاک‌ورزی، هم در تیمار نیتروژن و هم در تیمار فسفر، به‌احتمال زیاد ناشی از حفظ بهتر رطوبت خاک، کاهش تبخیر، و بهبود تدریجی ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک بوده است. در شرایط دیم، یکی از مهم‌ترین مزایای بدون خاک‌ورزی، باقی ماندن بقایای گیاهی در سطح خاک و افزایش نفوذ و ذخیره آب است؛ شرایطی که می‌تواند تداوم رشد رویشی و به‌ویژه پرشدن دانه را بهبود دهد و در نهایت عملکرد را افزایش دهد (Lotfi et al, 2026). بنابراین، بالاتر بودن عملکرد دانه در نظام بدون خاک‌ورزی را می‌توان ناشی از کاهش تنش رطوبتی طی مراحل حساس رشد ماشک دانست. افزایش وزن صد دانه در تیمار نیتروژن تحت شرایط بدون خاک‌ورزی نیز این موضوع را تقویت می‌کند، زیرا وزن دانه معمولاً بیش از سایر اجزای عملکرد، بازتاب شرایط محیطی دوره پرشدن دانه است. وقتی خاک رطوبت بیشتری حفظ کند و نوسانات دمایی سطحی کاهش یابد، انتقال



شکل ۳- تغییرات عملکرد دانه (سمت راست) تحت تیمارهای کودی و وزن دانه ماشک (سمت چپ) تحت تیمارهای خاک‌ورزی. مقادیر حداقل اختلاف معنی دار برای عملکرد دانه $LSD\ 5\% = 13.27$ و وزن دانه $LSD\ 5\% = 0.19$ و MT به ترتیب بدون خاک‌ورزی و کم خاک‌ورزی؛ U و TSP به ترتیب اوره و سوپرفسفات تریپل.

Figure 3. Vetch grain yield (right) under fertilizer types and seed weight (left) under tillage methods. The LSD values ($P \leq 0.05$) for grain yield and seed weight were 13.27 and 0.19, respectively. NT and MT are no-till and minimum tillage, respectively; U and TSP are urea and triple superphosphate.

تریپل نسبت به شاهد، موجب افزایش معنی دار اکثر صفات رشد و عملکرد ماشک شد که بیانگر وجود محدودیت تغذیه‌ای در شرایط آزمایش است. نیتروژن با افزایش رشد رویشی، سطح فتوسنتزی و تشکیل ماده خشک و فسفر با بهبود توسعه ریشه، انتقال انرژی و فرایندهای زایشی، نقش مهمی در افزایش عملکرد لگومها دارند (Marschner, 2012; Vance et al., 2003). با این حال، بیشترین مقدار صفات در سطح ۴۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و اختلاف آن با ۶۵ کیلوگرم در هکتار معنی دار نبود؛ این موضوع نشان‌دهنده نزدیک شدن پاسخ گیاه به حد اشباع تغذیه‌ای است. در لگومها، مصرف بیش از حد نیتروژن می‌تواند تثبیت زیستی نیتروژن را کاهش دهد و از این رو، وجود یک سطح بهینه برای نیتروژن کاملاً منطقی است (Kebede, 2021). برآورد مقادیر مطلوب نیز نشان داد که بیشینه عملکرد در مقادیر ۴۳ کیلوگرم در هکتار کود حاصل می‌شود و افزایش بیشتر مقدار کود لزوماً سود عملکردی بیشتری ایجاد نمی‌کند.

کاربرد ۲۲ کیلوگرم در هکتار از هر دو کود اوره و سوپرفسفات تریپل در مقایسه با شاهد، منجر به بهبود معنی دار در اکثر شاخص‌های رشد و عملکرد (عملکرد علوفه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن صد دانه) شد. اگرچه وزن تر علوفه در تیمار اوره و وزن خشک علوفه در تیمار فسفر در هر دو مورد تا سطح ۴۳ کیلوگرم در هکتار افزایش معنی داری نداشتند، اما اکثر صفات ارزیابی شده در هر دو آزمایش، بیشترین مقدار خود را در سطح ۴۳ کیلوگرم در هکتار نشان دادند، به گونه‌ای که تفاوت آماری معنی داری میان سطوح ۴۳ و ۶۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده نشد (جدول ۳). در نهایت، مقادیر بهینه کود برای حصول حداکثر عملکرد به دست آمد؛ به طوری که میزان مطلوب اوره برای صفات عملکرد علوفه تر، علوفه خشک، بیولوژیک، دانه و وزن صد دانه به ترتیب ۴۷، ۵۹، ۵۵، ۵۰ و ۴۳ کیلوگرم در هکتار و برای صفات ذکر شده میزان مطلوب سوپرفسفات تریپل به ترتیب ۵۰، ۵۸، ۵۰، ۴۶ و ۳۹ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (شکل ۴). کاربرد ۲۲ کیلوگرم در هکتار از هر دو کود اوره و سوپرفسفات

جدول ۳- تغییرات عملکرد علوفه و دانه ماشک تحت سطوح مختلف اوره و سوپرفسفات تریپل.

Table 3- Forage and grain yields of vetch under different urea and triple superphosphate.

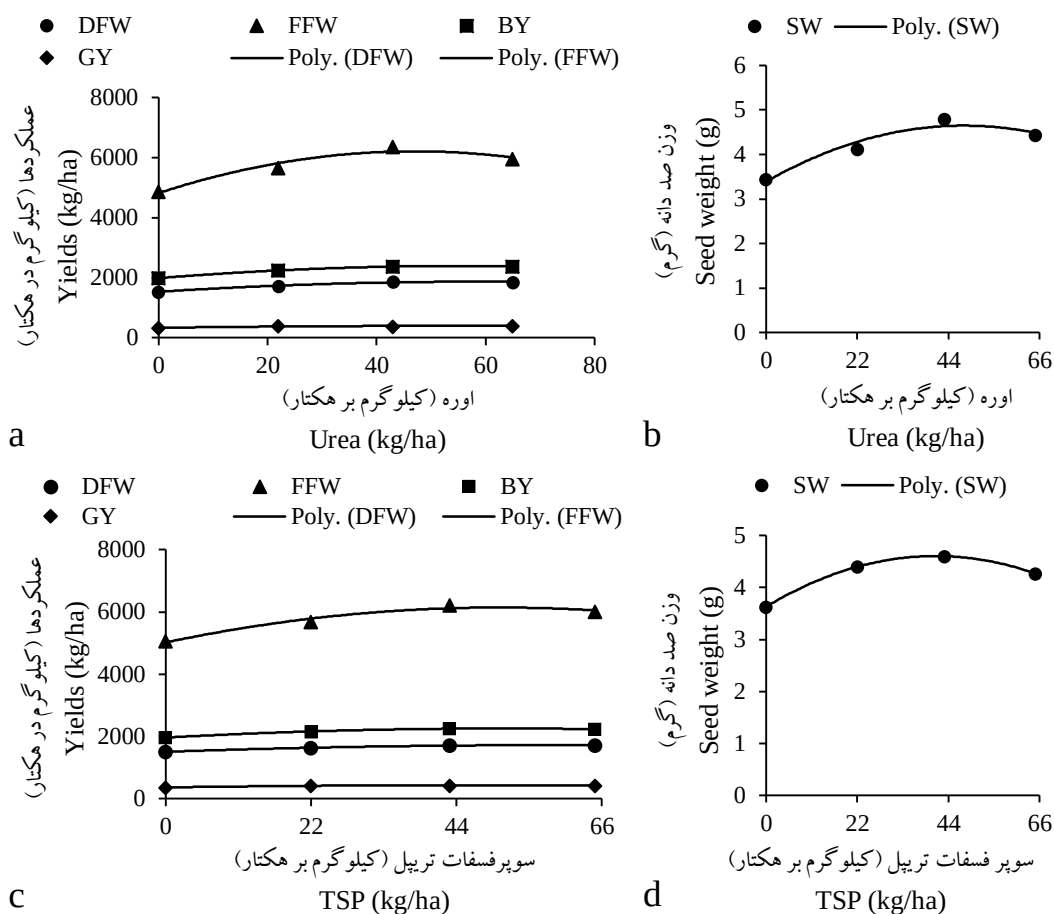
صفات Traits	تیمارهای کودی Fertilizer levels (kg/ha)								اوره TSP	
									U	TSP
	U 0	TSP 0	U 22	TSP 22	U 43	TSP 43	U 65	TSP 65	LSD 5%	LSD 5%
وزن خشک علوفه (کیلوگرم در هکتار) Dry forage weight (kg/ha)	1542	1512	1717	1630	1868	1718	1860	1716	143.76	132.1
وزن تر علوفه (کیلوگرم در هکتار) Fresh forage weight (kg/ha)	4872	5055	5664	5680	6360	6224	5956	6014	826.9	581.1
عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg/ha)	1989	1968	2244	2158	2374	2257	2381	2234	149.8	153

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	328.3	364.5	393.4	424.8	377.8	428.2	397.2	426.8	31.58	26.45
Grain yield (kg/ha)										
وزن صد دانه (گرم)	3.4	3.63	4.12	4.40	4.80	4.60	4.43	4.27	0.3	0.32
100 Seed weight (g)										

U and TSP are urea and triple superphosphate, respectively.

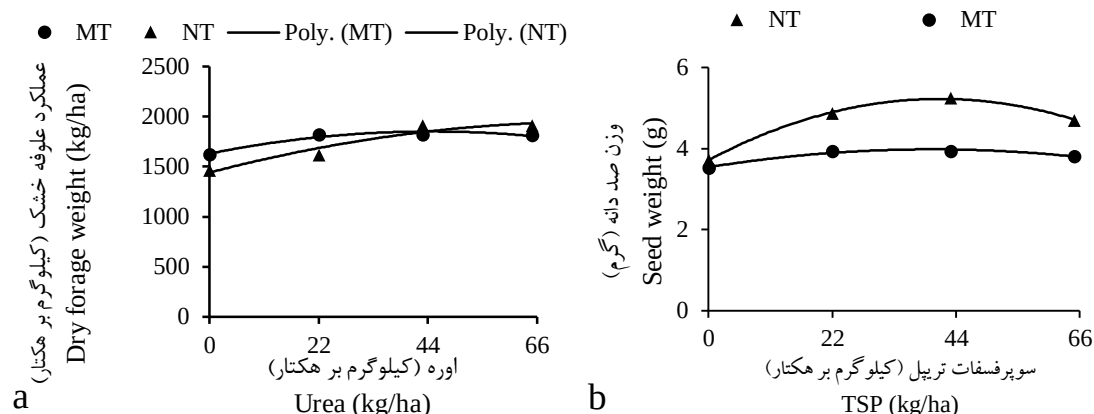
صد دانه در نظام بدون خاک‌ورزی ۴۰ و در نظام کم‌خاک‌ورزی ۳۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (شکل ۵). نتایج اثر متقابل سامانه‌های خاک‌ورزی و سطوح کودی نشان داد که پاسخ ماشک به کود، به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر نوع خاک‌ورزی است. در برهم‌کنش خاک‌ورزی و اوره، افزایش مصرف اوره در هر دو نظام موجب افزایش وزن خشک علوفه شد، اما این پاسخ در بدون خاک‌ورزی قوی‌تر بود؛ به‌طوری‌که مقدار بهینه اوره برای این صفت در بدون خاک‌ورزی ۷۸ و در کم‌خاک‌ورزی ۴۴ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. این برتری را می‌توان به حفظ بهتر رطوبت، کاهش تبخیر، بهبود ساختمان خاک و در نتیجه افزایش کارایی جذب نیتروژن در سامانه بدون خاک‌ورزی نسبت داد (Farooq and Siddique, 2015). همچنین در سطوح بالاتر اوره، اختلاف عملکرد علوفه خشک بین دو نظام کاهش یافت که نشان می‌دهد پاسخ گیاه به نیتروژن به تدریج به حد اشباع نزدیک شده است. در اثر متقابل خاک‌ورزی و سوپر فسفات تریپل نیز وزن صد دانه تا سطح بهینه افزایش یافت و سپس در سطح ۶۵ کیلوگرم در هکتار کاهش نشان داد. در تمام سطوح کودی، بدون خاک‌ورزی وزن صد دانه بیشتری نسبت به کم‌خاک‌ورزی داشت و مقدار بهینه فسفر برای این صفت در بدون خاک‌ورزی ۴۰ و در کم‌خاک‌ورزی ۳۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

نتایج بررسی اثر متقابل سامانه‌های خاک‌ورزی و سطوح کودی نشان داد که پاسخ ماشک به کود، وابسته به نوع خاک‌ورزی بود. در برهم‌کنش خاک‌ورزی و اوره، با افزایش مصرف اوره، وزن خشک علوفه در هر دو نظام روند افزایشی داشت، اما شدت این پاسخ در نظام بدون خاک‌ورزی بیشتر بود. به‌طوری‌که در بدون خاک‌ورزی، عملکرد علوفه خشک تا سطح ۴۳ کیلوگرم در هکتار اوره روندی تقریباً خطی نشان داد و مقدار بهینه اوره برای این صفت ۷۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. در مقابل، در نظام کم‌خاک‌ورزی، افزایش عملکرد پس از سطوح ۲۲ تا ۴۳ کیلوگرم در هکتار ناچیز بود و مقدار بهینه اوره ۴۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. همچنین در سطوح بالاتر اوره، به‌ویژه ۴۳ و ۶۵ کیلوگرم در هکتار، اختلاف عملکرد علوفه خشک بین دو نظام خاک‌ورزی کاهش یافت و به حداقل ۹۰ کیلوگرم در هکتار رسید (شکل ۵). در اثر متقابل خاک‌ورزی و سوپرفسفات تریپل نیز الگوی پاسخ متفاوت بود؛ به‌گونه‌ای که وزن صد دانه در هر دو نظام خاک‌ورزی با افزایش مصرف فسفر تا سطح مطلوب افزایش یافت، اما در سطح ۶۵ کیلوگرم در هکتار کاهش نشان داد. در تمام سطوح کودی، نظام بدون خاک‌ورزی وزن صد دانه بیشتری نسبت به کم‌خاک‌ورزی داشت و این برتری به‌ویژه در سطح ۴۳ کیلوگرم در هکتار مشهودتر بود. مقدار بهینه سوپرفسفات تریپل برای دستیابی به حداکثر وزن



شکل ۴- عملکرد علوفه خشک (DFW)، عملکرد علوفه تر (FFW)، عملکرد بیولوژیک (BY) و عملکرد دانه (GY) (سمت چپ) و وزن صد دانه (SW) (سمت راست) ماشک تحت تیمارهای کودی اوره (a و b) و سوپرفسفات تریپل (c و d). معادلات برازش یافته تحت کود اوره: $(DFW y = -0.09x^2 + 11.39x + 1534.9 (R^2 = 0.98))$ ، $(FFW y = -0.63x^2 + 59.32x + 4821.4 (R^2 = 0.95))$ ، $(BY y = -0.13x^2 + 14.56x + 1988.5 (R^2 = 0.99))$ ، $(GY y = -0.02x^2 + 2.45x + 333.8 (R^2 = 0.78))$ و $(SW y = -0.0006x^2 + 0.05x + 3.39 (R^2 = 0.94))$ و تحت کود سوپرفسفات تریپل: $(DFW y = -0.063x^2 + 7.36x + 1508.8 (R^2 = 0.99))$ ، $(FFW y = -0.44x^2 + 444.49x + 5020.7 (R^2 = 0.96))$ ، $(BY y = -0.11x^2 + 11.46x + 1966.1 (R^2 = 0.99))$ ، $(GY y = -0.03x^2 + 3.0x + 366.9 (R^2 = 0.95))$ و $(SW y = -0.0006x^2 + 0.04x + 3.63 (R^2 = 0.99))$.

Figure 4. Dry forage yield (DFW), fresh forage yield (FFW), biological yield (BY), and grain yield (GY) (left) and 100-seed weight (SW) (right) of vetch under urea (a and b) and triple superphosphate (c and d) fertilizer treatments. Lines represent fitted quadratic regressions under urea; DFW: $y = -0.09x^2 + 11.39x + 1534.9 (R^2 = 0.98)$, FFW: $y = -0.63x^2 + 59.32x + 4821.4 (R^2 = 0.95)$, BY: $y = -0.13x^2 + 14.56x + 1988.5 (R^2 = 0.99)$, GY: $y = -0.02x^2 + 2.45x + 333.8 (R^2 = 0.78)$, SW: $y = -0.0006x^2 + 0.05x + 3.39 (R^2 = 0.94)$, under TSP; DFW: $y = -0.063x^2 + 7.36x + 1508.8 (R^2 = 0.99)$, FFW: $y = -0.44x^2 + 444.49x + 5020.7 (R^2 = 0.96)$, BY: $y = -0.11x^2 + 11.46x + 1966.1 (R^2 = 0.99)$, GY: $y = -0.03x^2 + 3.0x + 366.9 (R^2 = 0.95)$, SW: $y = -0.0006x^2 + 0.04x + 3.63 (R^2 = 0.99)$.



شکل ۵- عملکرد علوفه خشک تحت تاثیر مقادیر مختلف مصرف اوره (a) و وزن صد دانه تحت تاثیر مقادیر مختلف مصرف سوپرفسفات تریپل (b) تحت نظام‌های کم خاک‌ورزی (MT) و بدون خاک‌ورزی (NT). معادلات برازش یافته عملکرد علوفه خشک تحت کود اوره: $(NT y = -0.08x^2 + 12.95x + 1439.8 (R^2=0.93))$ و $(MT y = -0.11x^2 + 9.86x + 1629.4 (R^2=0.95))$ و وزن صد دانه تحت سوپرفسفات تریپل: $(MT y = -0.0003x^2 + 0.022x + 3.54 (R^2=0.96))$ و $(NT y = -0.0009x^2 + 0.07x + 3.7 (R^2=0.99))$.

Figure 5. Dry forage yield as influenced by different urea application rates (a) and 100-seed weight in response to different triple superphosphate application rates (b) under minimum tillage (MT) and no-tillage (NT) systems. Lines represent fitted quadratic regressions for urea levels: $MT y = -0.11x^2 + 9.86x + 1629.4 (R^2=0.95)$, and $NT y = -0.08x^2 + 12.95x + 1439.8 (R^2=0.93)$, and for TSP levels: $MT y = -0.0003x^2 + 0.022x + 3.54 (R^2=0.96)$, and $NT y = -0.0009x^2 + 0.07x + 3.7 (R^2=0.99)$.

نمود. پاسخ گیاه به سوپرفسفات تریپل نشان داد که گیاه تنها با مصرف ۶/۱ کیلوگرم در هکتار از این کود به ۹۰ درصد بیشینه علوفه خشک (۱۵۵۱/۴ کیلوگرم در هکتار) و با مصرف ۱۱/۶ کیلوگرم در هکتار به همین سطح از عملکرد دانه (۳۹۷/۷ کیلوگرم در هکتار) دست می‌یابد. از سوی دیگر، سامانه کم‌خاک‌ورزی با فراهم‌سازی جذب بهتر عناصر، نیاز کودی برای دستیابی به ۹۰ درصد تولید علوفه (۱۶۶۵/۳ کیلوگرم در هکتار) را به ۳/۸ کیلوگرم در هکتار تقلیل داد، در حالی که در سامانه بدون خاک‌ورزی تقریباً برای رسیدن به همان سطح عملکرد، به ۳۱/۴ کیلوگرم در هکتار اوره نیاز خواهد بود (جدول ۴).

این الگو بیانگر آن است که فسفر در حد متعادل موجب بهبود رشد ریشه، انتقال انرژی و پرشدگی دانه می‌شود، اما مصرف بیش از نیاز، کارایی بیشتری ایجاد نمی‌کند (Richardson et al., 2009).

بررسی منحنی‌های پاسخ عملکرد نشان داد که در کاربرد اوره، دستیابی به ۹۰ درصد حداکثر وزن خشک علوفه (۱۷۰۵/۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (۳۶۷/۹ کیلوگرم در هکتار)، تنها با مصرف به ترتیب ۱۷/۴ و ۱۶ کیلوگرم در هکتار کود میسر شد؛ در حالی که پر کردن فاصله ۱۰ درصدی تا سقف پتانسیل تولید، نیازمند افزایش چشمگیر و نزدیک به چهار برابری مقادیر مصرفی اوره (حدود ۶۱ تا ۶۳ کیلوگرم در هکتار) بود. در حالی که با مصرف مقادیر یادشده، وزن خشک علوفه و عملکرد دانه به ترتیب ۱۸۹/۵ و ۴۰/۹ کیلوگرم در هکتار افزایش داشت که از لحاظ اقتصادی قابل توصیه

جدول ۴- مقادیر بهینه کود در دستیابی به عملکرد بیشینه و ۹۰ درصد بیشینه علوفه خشک و دانه تحت تأثیر منابع کودی و سامانه‌های خاک‌ورزی

Table 4- Optimum fertilizer rates for achieving maximum (100%) and 90% maximum yield potential of dry forage weight and grain yield under different fertilizer sources and tillage regimes.

صفات	نوع کود	مقدار کود برای حصول عملکرد بیشینه (٪۱۰۰) X _{max}	عملکرد بیشینه (٪۱۰۰) Y _{max}	۹۰٪ بیشینه عملکرد Y _{90% max}	مقدار کود برای حصول ۹۰٪ بیشینه عملکرد X _{90% max}
Traits	Fertilizer type	X _{max}	Y _{max}	Y _{90% max}	X _{90% max}
وزن خشک علوفه DFW	اوره Urea	63.3	1895.3	1705.7	17.8
عملکرد دانه GY	اوره Urea	61.3	408.8	367.9	16.0
وزن خشک علوفه DFW	سوپرفسفات تریپل TSP	58.4	1723.8	1551.4	6.1
عملکرد دانه GY	سوپرفسفات تریپل TSP	50.0	441.9	397.7	11.6
وزن خشک علوفه - کم خاک‌ورزی DFW-MT	اوره Urea	44.8	1850.4	1665.3	3.8
وزن خشک علوفه - بدون خاک‌ورزی DFW-NT	اوره Urea	80.9	1963.9	1767.5	31.4

نتیجه گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که در زراعت ماشک علوفه‌ای در اقلیم سردسیر دیم، پتانسیل عملکرد بیش از هر چیز در گرو هم‌افزایی مدیریت خاک‌ورزی، تغذیه گیاه و شرایط بارندگی فصل رشد است. برتری تولید در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ به‌خوبی نشان داد که توزیع به‌موقع بارش و دمای معتدل، بستر را برای اثربخشی بهتر کودها و رشد گیاه فراهم می‌کند. از میان روش‌های خاک‌ورزی، سامانه بی‌خاک‌ورزی با ذخیره بهتر رطوبت در عمق خاک و کاهش تبخیر سطحی، توانست شرایط مناسب‌تری برای عملکرد دانه و وزن صد دانه بالاتری نسبت به کم‌خاک‌ورزی به ثبت برساند. از دیدگاه تغذیه، مصرف ۴۳ کیلوگرم در هکتار اوره و سوپرفسفات تریپل رشد و تولید ماشک را به‌شکل چشمگیری ارتقا داد؛ با این حال، افزایش بیشتر کود

تا ۶۵ کیلوگرم در هکتار تغییر معنی‌داری در عملکرد ایجاد نکرد. برآورد مدل‌های پاسخ گیاه به کودهای مصرفی نشان می‌دهد که می‌توان با مقادیر بسیار پایینی از اوره (۱۶ تا ۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار) و سوپرفسفات تریپل (۶ تا ۱۲ کیلوگرم در هکتار)، به ۹۰ درصد حداکثر عملکرد دانه و علوفه خشک رسید. از آنجا که پر کردن فاصله ۱۰ درصد باقی‌مانده تا سقف تولید به حدود ۴ برابر کود بیشتر (۶۱ تا ۶۳ کیلوگرم اوره) نیاز دارد، مصرف مقادیر بیشتر نه از نظر اقتصادی به‌صرفه است و نه با اصول کشاورزی پایدار و حفظ محیط زیست همخوانی دارد. هرچند در سامانه کم‌خاک‌ورزی با مقادیر کمتری از اوره (حدود ۴ کیلوگرم) می‌توان به آستانه ۹۰ درصدی تولید علوفه رسید، اما سامانه بی‌خاک‌ورزی پتانسیل پاسخ‌دهی بالاتری دارد و

۹۹۰۴۱-۰۲۳-۱۵-۱۵-۰۱ انجام شد. نویسندگان بدین‌وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از مؤسسه، به‌سبب فراهم‌سازی حمایت مالی و امکانات پژوهشی لازم برای اجرای این مطالعه، اعلام می‌دارند.

سقف ۹۰ درصد عملکرد نهایی در آن با مصرف ۳۲ کیلوگرم در هکتار اوره حاصل می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، در قالب طرح پژوهشی شماره ۹۹۰۹۳۳-

منابع

- Alam MK, Bell RW, Salahin N, Rahman MM, Haque ME. 2018. Banding of Fertilizer Improves Phosphorus Acquisition and Yield of Zero Tillage Maize by Concentrating Phosphorus in Surface Soil. *Sustainability*, 10(9), 3234.
- Alizadeh K. 2019. The Annual Forage Crops under Dryland Conditions: A Review. *IDAJ*, 8(1), 95–113. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/idaj.2019.124675.245>
- Blanco-Canqui H, Lal R. 2008. Principles of Soil Conservation and Management. Springer.
- Cade-Menun BJ, Carter MR, James DC, Liu CW. 2010. Phosphorus Forms and Chemistry in the Soil Profile under Long-Term Conservation Tillage: A Phosphorus-31 Nuclear Magnetic Resonance Study. *Journal of Environmental Quality*, 39(2), 376–384.
- Fageria NK, Baligar VC, Jones CA. 2011. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. CRC Press.
- Feiziasl V. 2026. Applied Soil Testing: Sampling and Preparation. Ferdowsi University of Mashhad Press (FUMP). 588 pp.
- Farooq M, Siddique KHM. 2015. Conservation Agriculture. Springer.
- Graham PH, Vance CP. 2003. Legumes: Importance and Constraints to Greater Use. *Plant Physiology*, 131, 872–877.
- Hobbs PR, Sayre K, Gupta R. 2008. The Role of Conservation Agriculture in Sustainable Agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363, 543–555.
- Kebede E. 2021. Contribution, Utilization, and Improvement of Legumes-Driven Biological Nitrogen Fixation in Agricultural Systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 767998. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.767998>
- Lal R. 2015. Sequestering Carbon and Increasing Nitrogen Use Efficiency through Conservation Agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(3), 55A–62A.
- Lotfi R, Pessarakli M. 2023. Effects of Crop Rotation and Tillage on Winter Wheat Growth and Yield under Cold Dryland Conditions. *Crops*, 3, 88–100.
- Lotfi R, Jafarzadeh J, Asadi ME, Eskandari I. 2026. Conservation Agriculture in Iran's Drylands: From Research Findings to Sustainability Strategies. *IDAJ*, 14(2), 169–192. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/idaj.2026.371273.453>
- Marschner P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press.
- McClelland SC, Paustian K, Schipanski ME. 2021. Management of Cover Crops in Temperate Climates Influences Soil Organic Carbon Stocks: A Meta-Analysis. *Ecological Applications*, 31(3), e02278. <https://doi.org/10.1002/eap.2278>
- Pittelkow CM, Linquist BA, Lundy ME, Liang X, van Groenigen KJ, Lee J, van Gestel N, Six J, Venterea RT, van Kessel C. 2015. When Does No-Till Yield More? A Global Meta-Analysis. *Field Crops Research*, 183, 156–168.
- Prasad PVV, Staggenborg SA, Ristic Z. 2008. Impacts of Drought and/or Heat Stress on Crop Growth and Yield Processes. *ASA-CSSA-SSSA*.
- Richardson AE, Hocking PJ, Simpson RJ, George TS. 2009. Plant Mechanisms to Optimise Access to Soil Phosphorus. *Crop and Pasture Science*, 60, 124–143.
- Sadiq FK, Anyebe O, Tanko F, Abdulkadir A, Manono BO, Matsika TA, Abubakar F, Bello SK. 2025. Conservation Agriculture for Sustainable Soil Health Management: A Review of Impacts,

- Benefits and Future Directions. Soil Systems, 9(3), 103.
<https://doi.org/10.3390/soilsystems9030103>
- Salvagiotti F, Cassman KG, Specht JE, Walters DT, Weiss A, Dobermann A. 2008. Nitrogen Uptake, Fixation and Response to Fertilizer N in Soybeans: A Review. Field Crops Research, 108(1), 1–13.
- Sinclair TR, Vadez V. 2012. The Future of Grain Legumes in Cropping Systems. Crop and Pasture Science, 63, 501–512.
- Valizadeh-Osalu GR. 2019. Study on Influence of Phosphorus Application Rates at Conservation Tillage Systems on Barley Variety Yields in Forage Rotation. Dryland Agriculture Research Institute, Final Report, pp:1-33. (In Persian)
- Vance CP, Uhde-Stone C, Allan DL. 2003. Phosphorus Acquisition and Use: Critical Adaptations by Plants for Securing a Nonrenewable Resource. New Phytologist, 157(3), 423–447.
<https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x>



Nitrogen and Phosphorus Management in Dryland Forage Vetch under Conservation Tillage Systems

Ramin Lotfi^{1*}, Ali Resaei², Khoshnood Alizadeh³, Vali Feyziasl¹, Gholamreza Ghahramanian¹

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

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

3- Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of West Azarbaijan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: In dryland agroecosystems, limited soil moisture, uneven rainfall distribution, and temperature fluctuations are among the major constraints to sustainable crop production. Under such conditions, conservation tillage systems, particularly reduced tillage and no-tillage, are considered effective strategies for sustaining agricultural productivity. Forage vetch, as an important legume in rotation with wheat, not only provides high-quality forage but also contributes substantially to improving soil fertility and enhancing the sustainability of cropping systems. However, its response to nutrient inputs, particularly nitrogen and phosphorus, may be influenced by the tillage system and the climatic conditions prevailing in each growing season. Therefore, the present study aimed to investigate the effects of conservation tillage systems and different rates of nitrogen and phosphorus fertilizers on the quantitative traits and yield of dryland forage vetch grown in rotation with wheat.

Methodology: A split-plot experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted over four growing seasons (2020–2024) at the Maragheh Dryland Agricultural Research Station, Iran. The main-plot factor consisted of two tillage systems reduced tillage and no-tillage whereas the subplot factor comprised four application rates of either nitrogen or phosphorus fertilizer: 0, 22, 43, and 65 kg ha⁻¹, supplied as urea and triple superphosphate, respectively. Forage and grain yields were evaluated. The data were analyzed using combined analysis of variance, followed by mean comparisons. Quadratic regression models were fitted to determine the optimum fertilizer application rates.

Research findings: Cropping year, tillage system, and fertilizer application rate significantly affected the studied traits. The highest grain yield was recorded in the 2023–2024 cropping season. Furthermore, no-tillage resulted in a significant increase in grain yield and 100-grain weight compared with reduced tillage. Application of 22 kg ha⁻¹ of urea and triple superphosphate significantly improved most of the measured traits relative to the control, with the highest response generally observed at 43 kg ha⁻¹; however, increasing the application rate to 65 kg ha⁻¹ did not confer any significant advantage. Estimation of optimum fertilizer rates revealed that the favorable application rate ranged from 43 to 59 kg ha⁻¹ for urea and from 39 to 58 kg ha⁻¹ for triple superphosphate, depending on the trait. To achieve 90% of the maximum forage dry matter yield of vetch cv. Golsefid under cold dryland conditions in rotation with wheat, an application rate of up to 12 kg ha⁻¹ triple superphosphate, along with 18 and 32 kg ha⁻¹ urea for the reduced-tillage and no-tillage systems, respectively, is recommended.

Keywords: Conservation Agriculture; Forage Vetch; Phosphorus; Dryland Farming; Urea

* Corresponding author: r.lotfi2025@gmail.com
Submit date: 2026/07/15 Accept date: 2026/09/20

