University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Investigating the Quantitative and Qualitative Yield of Bitter Vetch (*Vicia ervilia*) and Grass Pea (*Lathyrus sativus*) in Intercropping with Wheat (*Triticum aestivum*) under Different Tillage Systems

Ekhlas Amini[1] | Alireza Taab[2]✉ | Emanuele Radicetti[3]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran. E-mail: a.taab@ilam.ac.ir
3. Department of Chemical, Pharmaceutical and Agricultural Sciences, University of Ferrara, Ferrara, Italy. E-mail: rdcmnl@unife.it

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: March 5, 2024
Received in revised form: April 7, 2024
Accepted: April 28, 2024
Published online: September 22, 2024

Keywords:
Fiber,
forage,
planting pattern,
protein,
wheat.

ABSTRACT

To investigate the quantitative and qualitative traits of bitter vetch, grass pea, and wheat intercropped under different tillage systems, a split-plot field experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications. The field trials were performed at the research farm of Ilam University in the 2019 and 2020 growing seasons. The tillage systems (no-tillage, minimum tillage, and conventional tillage) were assigned to main plots and the planting pattern at six levels (monoculture of wheat with weeds, monoculture of wheat without weeds, intercropping of 100% wheat+ 50% bitter vetch, 100% wheat+ 50% grass pea and monoculture of bitter vetch and grass pea) were assigned to sub-plots. The results showed that the highest wheat grain yield was obtained in wheat monoculture without weeds under minimum tillage (8.78 t ha^{-1}) and the highest forage yield of bitter vetch (7.80 t ha^{-1}) was observed in monoculture of bitter vetch under minimum tillage condition. The highest forage yield (4.08 and 3.98 t ha^{-1}) of grass pea was observed in both minimum tillage and conventional tillage systems, respectively. Intercropping patterns increased wheat grain protein concentration by 9.12%. Monoculture of legumes, compared to intercropping, led to improvement in forage quality by increasing protein, phosphorus, and calcium concentrations, and decreasing of neutral detergent fiber and acid detergent fiber. The land equality ratio was more than one in all intercropping patterns of wheat and legumes indicating the advantage of intercropping patterns over monoculture for land use and increased crop yield. In conclusion, the intercropping of wheat with bitter vetch under a minimum tillage system can be considered an appropriate environmentally-friendly approach for crop yield improvement.

Cite this article: Amini, E., Taab, A., & Radicetti, E. (2024). Investigating the quantitative and qualitative yield of bitter vetch (*Vicia ervilia*) and grass pea (*Lathyrus sativus*) in intercropping with wheat (*Triticum aestivum*) under different tillage systems. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(3), 197-210. DOI: 10.22059/ijfcs.2024.373410.655067.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2024.373410.655067

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

بررسی عملکرد کمی و کیفی گاودانه (*Vicia ervilia*) و خلر (*Lathyrus sativus*) در کشت مخلوط با گندم (*Triticum aestivum*) تحت سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی

اخلاص امینی[۱] | علیرضا تاب[۲]✉ | امانول رادیستی[۳]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: a.taab@ilam.ac.ir

۳. گروه علوم شیمیایی، دارویی و کشاورزی، دانشگاه فرارا، فرارا، ایتالیا. رایانامه: rdcmnl@unife.it

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
الگوی کاشت،
پروتئین،
علوفه،
فیبر،
گندم.

چکیده

به‌منظور بررسی صفات کمی و کیفی گیاهان خلر، گاودانه و گندم تحت تأثیر کشت مخلوط و سامانه‌های خاک‌ورزی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت–پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه ایلام در سال زراعی ۱۳۹۹–۱۳۹۸ انجام شد. کرت‌های اصلی شامل خاک‌ورزی در سه سطح (بی‌خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حداقل و متداول) و کرت‌های فرعی شامل الگوی کاشت در شش سطح (کشت خالص گندم با علف هرز، کشت خالص گندم بدون علف هرز، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد گندم+ ۵۰ درصد گاودانه، ۱۰۰ درصد گندم+ ۵۰ درصد خلر و کشت خالص گاودانه و خلر) بودند. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه گندم در کشت خالص گندم بدون علف‌های هرز تحت خاک‌ورزی حداقل (۸/۷۸ تن در هکتار) و بیشترین عملکرد علوفه گاودانه (۷/۸۰ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص گاودانه تحت شرایط خاک‌ورزی حداقل حاصل شدند. بیشترین عملکرد علوفه خلر (۴/۰۸ و ۳/۹۸ تن در هکتار) به‌ترتیب در سامانه‌های خاک‌ورزی حداقل و متداول به‌دست آمد. الگوهای کشت مخلوط سبب افزایش غلظت پروتئین دانه گندم به‌میزان ۹/۱۲ درصد شدند. کشت خالص گیاهان لگوم در مقایسه با کشت مخلوط از طریق افزایش پروتئین، غلظت فسفر و کلسیم علوفه و کاهش الیاف غیر قابل حل در شوینده خنثی و الیاف غیر قابل حل در شوینده اسیدی کیفیت علوفه را بهبود بخشیدند. نسبت برابری زمین در همه الگوهای کشت مخلوط گندم با بقولات بیشتر از یک بود که بیانگر مزیت الگوهای کشت مخلوط برای استفاده از زمین و افزایش عملکرد می‌باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، می‌توان الگوی کشت مخلوط گندم+ گاودانه و سامانه خاک‌ورزی حداقل را به‌عنوان مناسب‌ترین راهکار جهت بهبود عملکرد محصول معرفی نمود.

استناد: امینی، ا.، تاب، ع.، و رادیستی، ا. (۱۴۰۳) . بررسی عملکرد کمی و کیفی گاودانه (*Vicia ervilia*) و خلر (*Lathyrus sativus*) در کشت مخلوط با گندم (*Triticum aestivum*) تحت سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۳)، ۱۹۷–۲۱۰.
DOI: 10.22059/ijfcs.2024.373410.655067

CC BY NC

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان

۱. مقدمه

تولید محصولات کشاورزی به‌دلیل تأثیر تغییرات آب و هوایی جهانی و افزایش جمعیت دنیا با چالش‌های بی‌سابقه‌ای مواجه است (Hernandez-Ochoa, 2018). در سطح جهانی، سامانه کشاورزی با بحران پایداری مواجه است تا تقاضای غذای فزآینده نُه میلیارد نفر را تا سال ۲۰۵۰ برآورده کند (Van Dijk *et al*., 2021)؛ بنابراین تولید محصولات باید بیش از ۷۰ درصد افزایش یابد تا چالش امنیت غذایی در آینده برطرف شود (Putelat *et al*., 2021). به همین دلیل، استفاده از شیوه‌های کشاورزی پایدار می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر برای مدیریت پایدار زمین و در عین حال تضمین بهره‌وری بالاتر محصول به‌صورت منظم عمل کند.

سامانه خاک‌ورزی حفاظتی یکی از روش‌های مهم و اصلی در کشاورزی پایدار است و به‌عنوان یک روش مناسب شناخته می‌شود که سبب افزایش پایداری در سامانه‌های کشاورزی، کاهش نگرانی‌های جهانی درباره آلودگی‌های زیست‌محیطی و نیز بهبود کیفیت خاک از طریق به‌حداقل‌رساندن تخریب خاک و حفظ بقایا روی سطح خاک می‌شود (Lal, 2015). ولی معمولاً در این سامانه‌ها، مشکلات ناشی از علف‌های هرز افزایش یافته و استقرار و عملکرد گیاه زراعی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Mishra & Singh, 2012). در مقایسه با علف‌کش‌های شیمیایی، یکی از راه‌کارهای عملی اکولوژیک در مدیریت تلفیقی علف‌های هرز، استفاده از کشت مخلوط است؛ به‌طوری‌که، مهار علف‌های هرز بر اثر تداخل گیاه زراعی به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده برتری عملکرد کشت مخلوط قلمداد می‌شود (Thobatsi, 2009).

کشت مخلوط به‌طور گسترده در سراسر جهان انجام می‌شود و به‌عنوان یک سامانه تولید کشاورزی سازگار با محیط‌زیست و پایدار در نظر گرفته می‌شود (Ren *et al*., 2019)؛ بنابراین، کشت مخلوط به‌عنوان انقلاب سبز جدید شناخته می‌شود که می‌تواند بهره‌وری زمین را با بهره‌برداری مکمل گونه‌ها افزایش دهد و فرصت‌های بیشتری را برای تشدید کشاورزی پایدار فراهم کند (Martin-Guay *et al*., 2018). هدف اصلی این سامانه‌ها دست‌یابی به بهره‌وری بالاتر محصول، افزایش بهره‌وری استفاده از منابع، بهبود حفاظت از خاک، پایداری محصول و مهار علف‌های هرز، حشرات یا بیماری‌ها در مقایسه با تک‌کشت است (Madembo *et al*., 2020). در این راستا، انتخاب گیاهانی که کمترین رقابت را برای اشغال آشیان اکولوژیکی از نظر عوامل محیطی و زمانی با هم ایجاد می‌کنند، عامل عمده‌ای در دست‌یابی به عملکرد مطلوب محسوب می‌شود. ادغام حبوبات با غلات به‌عنوان کشت مخلوط می‌تواند یک جزء مهم تشدید اکولوژیکی برای ترویج توسعه پایدار کشاورزی باشد، زیرا تسهیل بین گونه‌ای آن‌ها منجر به استفاده بهتر از منابع و ثبات عملکرد بالاتر نسبت به کشت تکی محصول می‌شود (Xu *et al*., 2022).

خلر (*Lathyrus sativus* L.) جزء حبوبات غذایی و خوراکی سالانه پر محصول و مهم است که عمدتاً در آسیا و آفریقا کشت می‌شود (Larbi *et al*., 2010)؛ لذا این گیاه به‌دلیل توانایی تثبیت زیستی نیتروژن، مقاومت به خشکی و ارزش غذایی علوفه بالا برای سامانه‌های کشت مخلوط در کشاورزی توصیه می‌شود (Larbi *et al*., 2010). گاودانه (*Vicia ervilia* L.) نیز منبع مهم پروتئین، مواد معدنی مانند پتاسیم، فسفر، آهن و مس است که در اوایل بهار توسط نشخوارکنندگان چرا می‌شود. کشت و برداشت این محصول آسان است و می‌توان آن را در خاک‌های کم‌عمق و قلیایی که گیاهانی مانند ذرت (*Zea mays* L.) و سویا (*Glycine max* L.) رشد موفقیت‌آمیزی ندارند، کشت کرد (Larbi *et al*., 2011).

Sharifi *et al*. (2018) در بررسی تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) نشان دادند که کشت گیاهان پوششی خلر و منداب (*Eruca vesicaria* L.) و اعمال روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی سبب بهبود عملکرد گندم می‌شود.

کشت مخلوط لگوم‌ها با سایر گیاهان، یک راهبرد پایدار جهت افزایش کیفیت علوفه به‌شمار می‌رود (Contreras-Govea *et al*., 2009). نتایج تحقیقات حاکی از تأثیر مثبت کشت مخلوط در افزایش عملکرد و تولید علوفه با کیفیت بهتر و پایداری عملکرد بوده است (Lithourgidis *et al*., 2011). کیفیت علوفه به‌عنوان یکی از عوامل مهم در تولید گیاهان علوفه‌ای موجب افزایش راندمان تغذیه دام می‌شود (Ghanbari-Bonjar & Lee, 2002). پروتئین نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای زیستی ایفا می‌کند؛ به‌طوری‌که، فعالیت مناسب باکتری‌های مسئول هضم علوفه در دستگاه گوارشی دام‌ها به محتوای پروتئینی علوفه بستگی دارد (Eskandari & Javanmard, 2014). بنابراین، یکی از راه‌های افزایش کیفیت علوفه استفاده از گیاهان

خانواده بقولات می‌باشد که از نظر محتوای پروتئینی غنی بوده و به‌عنوان ارزان‌ترین مکمل‌های پروتئینی در جیره غذایی دام‌ها محسوب می‌شوند (Ross *et al*., 2005). علوفه‌ای که دارای مقادیر کم فیبر شوینده اسیدی (ADF[1]) و محتوای بالای پروتئین باشد از نظر کیفیت و ارزش غذایی برای دام مناسب‌تر است (Baghdadi *et al*., 2017). گزارش‌های زیادی از تأثیر کشت مخلوط بر ویژگی‌های کیفی علوفه وجود دارد (Ashoori *et al*., 2021; Eskandari & Javanmard, 2014). Dehghanian *et al.* (2020) نیز گزارش کردند که بیشترین عملکرد علوفه از الگوی کشت مخلوط ۵۰ درصد خلر+ ۸۰ درصد یولاف (*Avena sativa* L.) حاصل می‌شود.

با وجود اقلیم خشک در ایران، محدودیت و کمبود آب و کاهش حاصلخیزی خاک از یک سو و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی از سوی دیگر، نیاز به بهره‌گیری از سامانه‌های کشاورزی حفاظتی در جهت حفظ و ثبات عملکرد و در نهایت پایداری و تعادل عوامل زیست‌محیطی امری لازم به‌نظر می‌رسد. لذا، این آزمایش با هدف بررسی اثر نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت الگوهای کشت بر عملکرد کمی و کیفی گندم با گیاهان علوفه‌ای گاودانه و خلر انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

به‌منظور بررسی صفات کمی و کیفی علوفه آزمایشی در مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام، واقع در شمال غربی شهر ایلام با مختصات عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۷۴ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در کرت‌های اصلی، خاک‌ورزی در سه سطح (خاک‌ورزی متداول، خاک‌ورزی حداقل و بی‌خاک‌ورزی) و در کرت‌های فرعی، شش الگوی کاشت شامل کشت خالص گندم با علف هرز، کشت خالص گندم بدون علف هرز، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد گندم+ ۵۰ درصد گاودانه، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد گندم+ ۵۰ درصد خلر، کشت خالص گاودانه و خلر قرار گرفتند.

در طول دوره رشد مجموع بارندگی ۶۵۱ میلی‌متر و میانگین دمای حداکثر و حداقل، به‌ترتیب ۱۸/۸ و ۶/۱ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱).

جدول ۱. دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای متوسط و میزان بارندگی در طول دوره رشد گندم در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸.

Month	T min (◦C)	T max (◦C)	T mean (◦C)	Rainfall (mm)
October- November	6.5	20	13.2	40.9
November- December	2.8	13.7	8.3	173.7
December- January	0	11.8	5.9	67.3
January- February	-0.6	10.2	4.8	77.9
February-March	4.9	16.2	10.5	266.1
March- April	6.3	18.5	12.4	18
April- May	11.9	26	19	7.2
May- June	17.3	33.8	25.5	0

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مکان آزمایش، قبل از اجرای آزمایش، نمونه‌ای مرکب، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تهیه که نتایج تجزیه آن در جدول ۲ ارائه شده است. بافت خاک سیلت لومی رسی بود.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری).

EC (dS m^{-1})	H	OM (%)	P (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	Total N (%)
0.30	.09	3.09	3.5 2	339.68	0.19

1. Acid Detergent Fiber

آماده‌سازی و شخم زمین در اواسط مهرماه بر اساس خاک‌ورزی متداول، خاک‌ورزی حداقل و بدون خاک‌ورزی انجام شد. برای انجام خاک‌ورزی متداول از دستگاه‌های متداول و مرسوم منطقه که به‌صورت کامل خاک‌ورزی را انجام می‌دهند استفاده شد. زمین پس از گاورو شدن در آغاز با گاوآهن برگرداندار شخم و پس از آن برای نرم‌کردن کلوخه‌ها دو بار دیسک زده شد. در روش خاک‌ورزی حداقل، زمین با استفاده از گاوآهن قلمی شخم زده شد؛ به‌طوری‌که حداقل ۳۰ درصد از بقایای گیاهان روی سطح خاک باقی مانده و بقیه با خاک مخلوط شدند. در روش بدون خاک‌ورزی نیز کشت بدون شخم صورت گرفت. برای کشت گندم از بذر گواهی‌شده رقم آبی بهاران که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایلام تهیه شده بود استفاده شد. برای کاشت گیاهان علوفه‌ای خلر و گاودانه از توده‌های محلی استفاده شد. میزان بذر لازم برای گندم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و بذر مصرفی گیاهان خلر و گاودانه در کشت خالص آن‌ها به‌ترتیب ۱۵۰ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار و متناسب با شیوه کشت مرسوم منطقه در نظر گرفته شد. کرت‌های فرعی آزمایش به مساحت شش متر مربع (۲×۳ متر) بود، فاصله بین کرت‌های فرعی از هم ۰/۵ متر و فواصل بین کرت‌های اصلی از هم سه متر در نظر گرفته شد.عملیات کاشت گندم و گیاهان همراه در هفته دوم آبان‌ماه به‌طور هم‌زمان و با دست به‌صورت ردیفی انجام شد. کاشت گندم در ردیف‌های با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و در کشت مخلوط افزایشی، بذر گیاهان علوفه‌ای در وسط ردیف‌های کاشت گندم، کشت شدند؛ به‌طوری‌که در کشت مخلوط افزایشی فاصله بین ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر بود.

بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل هم‌زمان با کاشت به‌صورت نواری استفاده شد؛ ولی از کود نیتروژن و پتاسیم استفاده نشد. آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاهان و شرایط اقلیمی متناسب با سامانه کشت رایج منطقه و به روش غرقابی انجام گرفت. از هیچ‌گونه علف‌کش و یا آفت‌کشی استفاده نشد و مبارزه با علف‌های هرز در الگوی کاشت گندم خالص بدون علف هرز، به روش دستی (وجین) انجام شد.

برداشت گیاه گاودانه پیش از بقیه محصولات در هفته دوم خردادماه انجام گرفت و سایر محصولات (گندم و خلر) به‌طور همزمان در هفته چهارم خردادماه برداشت شدند. برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم و همچنین عملکرد علوفه بقولات سطحی معادل دو متر مربع با لحاظ اثر حاشیه، برداشت شد.

برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین دانه گندم، ابتدا غلظت نیتروژن دانه در گندم اندازه‌گیری شد. میزان نیتروژن دانه گندم بر اساس هضم، تقطیر و تیتراسیون توسط دستگاه کجلدال (Waling *et al*., 1989) اندازه‌گیری شد. درصد پروتئین دانه گندم با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

رابطه (۱) پروتئین دانه گندم (درصد)= نیتروژن دانه (درصد)×۵/۷

به‌منظور ارزیابی کیفیت علوفه گیاهان گاودانه و خلر در مرحله گلدهی نمونه‌برداری انجام گرفت و پس از خشک‌شدن، نمونه‌ها آسیاب شدند. سپس فاکتورهای کیفیت علوفه نمونه‌های آسیاب‌شده شامل درصد پروتئین، درصد الیاف غیر قابل حل در شوینده اسیدی (ADF)، درصد الیاف غیر قابل حل در شوینده خنثی (NDF[1])، درصد کلسیم و درصد فسفر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک مدل DA۷۲۵۰ ساخت شرکت پرتن سوئد (نسل سوم دستگاه NIR[2]) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان اندازه‌گیری شدند.

جهت تعیین مقدار سودمندی الگوهای کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص گندم در الگوهای کشت مخلوط، نسبت برابری زمین مطابق رابطه ۲ محاسبه شد (Willey, 1979).

رابطه (۲) نسبت برابری زمین (LER)
$$LER=\frac{Y_{WL}}{Y_{WW}}+\frac{Y_{LW}}{Y_{LL}}$$

در این رابطه Y_{wl} و Y_{ll} به‌ترتیب عملکرد علوفه بقولات در کشت مخلوط و کشت خالص و Y_{ww} و Y_{wl} به‌ترتیب عملکرد دانه گندم در کشت خالص و کشت مخلوط است.

1. Neutral Detergent Fiber
2. Near Infrared Spectrometer

داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزاری آماری SAS ver. 9.1 آنالیز شدند. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.1 بررسی شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و جهت ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار MS Excel 2010 استفاده شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر خاک‌ورزی و الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل (خاک‌ورزی× الگوی کاشت) در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفتند (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات خاک‌ورزی و الگوی کاشت بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و مقدار پروتئین دانه گندم.

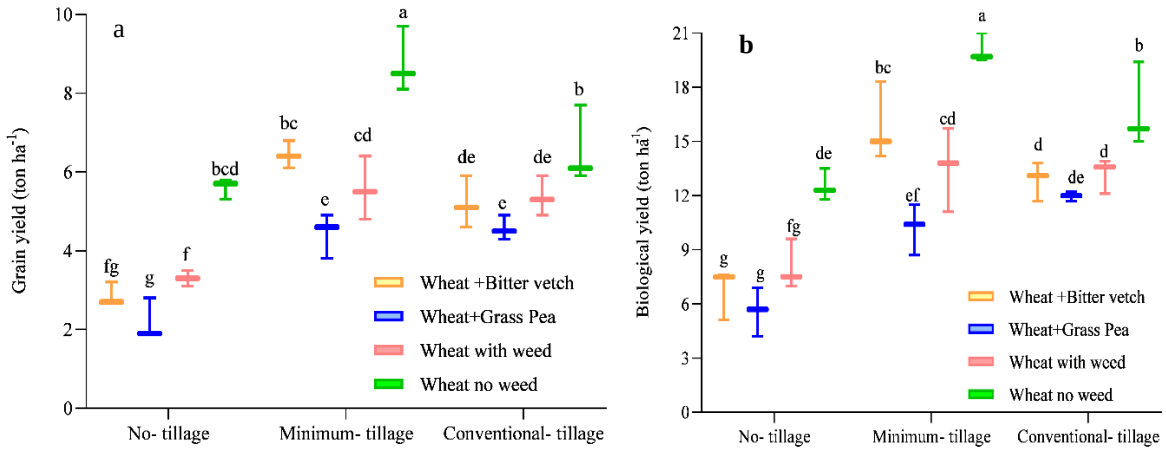
Source of variation	df	Grain yield	Biological yield	Protein content
Block	2	0.8719^{ns}	8.7569**	0.0193^{ns}
Tillage (T)	2	24.7803**	151.9219**	0.7737^{ns}
Error a	4	0.2532	0.4848	0.2406
Planting pattern (P)	3	16.7648**	81.2841**	1.9069**
(T) × (P)	6	0.9973*	5.4504*	0.0588^{ns}
Error b	18	0.2909	1.9133	0.2232
CV (%)	-	10.63	11.27	5.50

* and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively; ^{ns}: Not-significant

۳–۱. عملکرد دانه و زیستی گندم

بیشترین عملکرد دانه گندم (۸/۷۸ تن در هکتار) در کشت خالص گندم با مهار علف هرز تحت سامانه خاک‌ورزی حداقل مشاهده شد و پس از آن کشت مخلوط افزایشی گندم+ گاودانه در سامانه خاک‌ورزی حداقل و کشت خالص گندم با مهار علف هرز تحت سامانه خاک‌ورزی متداول دارای بیشترین عملکرد دانه بودند. کشت مخلوط افزایشی گندم+ خلر در سامانه بدون خاک‌ورزی دارای کمترین عملکرد دانه (۲/۲۰ تن در هکتار) بود. کشت مخلوط افزایشی گندم+ خلر نسبت به کشت خالص گندم با مهار علف هرز، ۶۶/۷ درصد کاهش در عملکرد دانه نشان داد (شکل ۱–الف).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل (خاک‌ورزی× الگوی کاشت)، در سامانه خاک‌ورزی حداقل کشت خالص گندم با مهار علف هرز و کشت مخلوط افزایشی گندم+ خلر به‌ترتیب بیشترین (۲۰/۰۶ تن در هکتار) و کمترین (۱۰/۱۹ تن در هکتار) عملکرد زیستی را داشتند. در سامانه خاک‌ورزی متداول بیشترین و کمترین عملکرد زیستی گندم به‌ترتیب در کشت خالص گندم با مهار علف هرز (۱۶/۶۸ تن در هکتار) و کشت مخلوط افزایشی گندم+ خلر (۱۱/۹۶ تن در هکتار) مشاهده شد. در روش بی‌خاک‌ورزی نیز نتایج مشابهی به دست آمد؛ به‌طوری‌که کمترین عملکرد زیستی گندم (۵/۶ تن در هکتار) در کشت مخلوط افزایشی گندم+ خلر مشاهده شد (شکل ۱–ب).



شکل ۱. تأثیر الگوی کاشت بر عملکرد دانه (الف) و عملکرد زیستی (ب) گندم تحت تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی.

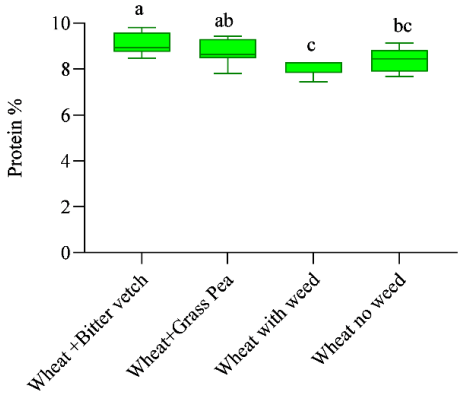
مهار علف‌های هرز در کشت خالص گندم موجب کاهش رقابت و تخصیص بیشتر منابع موجود به گندم و افزایش عملکرد دانه شده است. از سوی دیگر، در شرایط عدم مهار علف هرز و کشت مخلوط، جذب نور، آب و مواد غذایی توسط گیاه گندم به‌دلیل رقابت بین‌گونه‌ای کاهش یافته که در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه شد. در مطالعه‌ای مهار علف‌های هرز (وجین دستی و کاربرد علف‌کش) موجب افزایش عملکرد دانه ذرت در کشت مخلوط با ماش (*Vigna radiata* L.) شد (Bibi *et al*., 2020). نتایج برخی پژوهش‌ها حاکی از تأثیر مثبت کشت مخلوط با لگوم‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مختلف است، به‌طوری‌که بر اساس گزارش‌ها، عملکرد و اجزای عملکرد گندم در کشت مخلوط با نخود (Elodie *et al*., 2012) و همچنین عملکرد دانه ارزن مرواریدی در کشت مخلوط با لوبیا چشم‌بلبلی (Nelson *et al*., 2018) افزایش معنی‌داری داشته‌اند. همچنین، بالا بودن عملکرد دانه و زیستی در کشت خالص گندم با مهار علف‌های هرز، می‌تواند به‌دلیل عدم وجود رقابت بین گونه‌ای با علف‌های هرز و بقولات باشد که تحت این شرایط، هر بوته گندم برای آشیان‌های اکولوژیکی یکسان رقابت نکرده و تمام منابع موجود در اختیار این گیاه قرار گرفته است. بنابراین، باتوجه به مهار علف‌های هرز و عدم رقابت آن‌ها، عملکرد بالاتر این الگوی کاشت طبیعی بوده، اما در کشت خالص گندم بدون مهار علف‌های هرز به‌دلیل افزایش تداخل علف‌های هرز، عملکرد کاهش یافت. Salehi *et al.* (2018) نیز در کشت مخلوط تریتیکاله و بقولات (ماشک گل‌خوشه‌ای، گاودانه، باقلا و نخودفرنگی) کاهش عملکرد تریتیکاله در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط را گزارش کردند.

Amato *et al.* (2013) گزارش دادند که عملکرد دانه گندم در روش‌های خاک‌ورزی متداول بیشتر از روش‌های کاهش‌یافته و بدون خاک‌ورزی بود. محققان بیان کردند که دلیل کاهش عملکرد در سامانه بدون خاک‌ورزی مربوط به استقرار ضعیف گیاهچه‌ها می‌باشد، حضور مقادیر زیاد بقایای گیاهی در سطح خاک از طریق تداخل در کار دستگاه‌های کشت مانع از قرار گرفتن بذرها در عمق مورد نظر شده و نسبت به سامانه خاک‌ورزی رایج و کاهش‌یافته بذرها به‌صورت سطحی‌تر قرار می‌گیرند در نتیجه استقرار بذر در بستر مناسب از دست می‌رود و به همین دلیل تراکم بوته در واحد سطح و در نهایت عملکرد دانه در سامانه بدون خاک‌ورزی کاهش می‌یابد.

۳-۲. مقدار پروتئین دانه گندم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد پروتئین تنها تحت تأثیر الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین درصد پروتئین دانه گندم در کشت مخلوط گندم+ گاودانه معادل ۹/۱۲ درصد حاصل شد که با الگوی کشت مخلوط افزایشی گندم+ خلر اختلاف معنی‌دار نداشت. کمترین درصد پروتئین دانه به کشت خالص گندم بدون مهار علف هرز (۸/۰۶ درصد) تعلق گرفت که با الگوی کشت گندم خالص با مهار علف هرز فاقد اختلاف معنی‌دار بود (شکل ۲).

از آن‌جایی‌که غلظت پروتئین با میزان نیتروژن گیاه ارتباط مستقیم دارد، بنابراین، جذب نیتروژن در کشت مخلوط می‌تواند موجب افزایش غلظت پروتئین گندم در کشت مخلوط شود. در واقع، با افزایش میزان قابلیت دسترسی به نیتروژن، پروتئین دانه نیز افزایش یافته است که با نتایج Tammeorg *et al.* (2014) مطابقت دارد. محققان بیان کردند در الگوهای کشت مخلوط شاید بتوان تثبیت زیستی این عنصر توسط لگوم‌ها را دلیل افزایش درصد پروتئین دانست (Vrignon-Brenas *et al*., 2018). در نتیجه کشت مخلوط گندم با بقولات می‌تواند باعث افزایش پروتئین دانه گندم و کیفیت محصول شود.



شکل ۲. اثرات الگوی کاشت بر مقدار پروتئین دانه گندم.

۳-۳. عملکرد علوفه خلر و گاودانه

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای خاک‌ورزی، الگوی کاشت و اثر متقابل (خاک‌ورزی× الگوی کاشت) بر عملکرد علوفه گاودانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. عملکرد زیستی خلر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوی کاشت و خاک‌ورزی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول‌های ۴ و ۵).

جدول ٤. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات خاک‌ورزی و الگوی کاشت مخلوط بر عملکرد کمی و کیفی گاودانه.

Source of variation	Protein	NDF	ADF	Ca	P	Forage yield
Block	2.67^{ns}	7.19^{ns}	4.50^{ns}	0.0005^{ns}	0.0001^{ns}	1.69^{**}
Tillage (T)	0.98^{ns}	6.49^{ns}	1.50^{ns}	0.0117^{*}	0.0035^{**}	5.54^{**}
Error a	0.94	19.89	6.84	0.0013	0.0001	0.04
Planting pattern (P)	16.11^{*}	54.18^{*}	33.10^{*}	0.0057^{*}	0.0041^{*}	54.47^{**}
(T) × (P)	3.78^{ns}	1.34^{ns}	0.10^{ns}	0.0002^{ns}	0.0001^{ns}	3.23^{**}
Error b	1.56	5.79	2.80	0.0007	0.0005	0.24
CV (%)	10.63	8.27	11.59	11.58	10.80	11.29

* and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively; ^{ns}: Not-significant

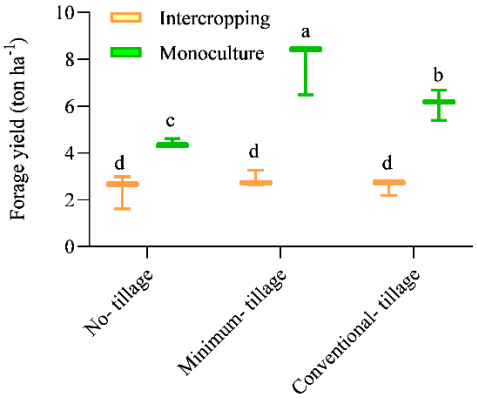
جدول ۵. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات خاک‌ورزی و الگوی کاشت مخلوط بر عملکرد کمی و کیفی خلر.

Source of variation	Protein	NDF	ADF	Ca	P	Forage yield
Block	0.98^{ns}	6.01^{ns}	13.50^{ns}	0.0001^{ns}	0.0006^{ns}	0.470^{ns}
Tillage (T)	1.08^{ns}	4.76^{ns}	0.86^{ns}	0.0069^{*}	0.0080^{*}	3.867^{**}
Error a	0.27	8.45	4.45	0.0008	0.0010	0.084
Planting pattern (P)	18.58^{*}	0.98^{**}	0.92^{ns}	0.0144^{*}	0.0084^{**}	11.608^{**}
(T) × (P)	0.97^{ns}	2.28^{ns}	0.13^{ns}	0.0045^{ns}	0.0001^{ns}	0.031^{ns}
Error b	1.59	6.14	4.93	0.0012	0.0003	0.501
CV (%)	7.06	5.889	9.26	9.95	5.83	19.83

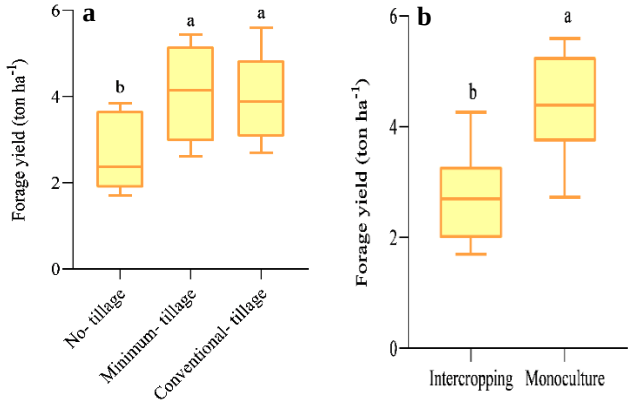
* and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively; ^{ns}: Not-significant

بیشترین عملکرد علوفه گاودانه (۷/۸۰ تن در هکتار) در کشت خالص گاودانه تحت شرایط خاک‌ورزی حداقل مشاهده شد. خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد علوفه گاودانه در کشت مخلوط با گندم نداشت و این الگوی کاشت کمترین میزان عملکرد علوفه گاودانه را به خود اختصاص داد (شکل ۳).

در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی، بیشترین عملکرد علوفه خلر (۴/۰۸ تن در هکتار) در خاک‌ورزی حداقل مشاهده شد که با سامانه خاک‌ورزی متداول (۳/۹۸ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت. سامانه بی‌خاک‌ورزی کمترین عملکرد علوفه خلر (۲/۶۴ تن در هکتار) را به خود اختصاص داد (شکل ۴-الف). کشت خالص خلر، بیشترین عملکرد زیستی (۴/۳۷ تن در هکتار) را به خود اختصاص داد که با توجه به تراکم بالاتر خلر در کشت خالص در این تیمار این نتیجه دور از انتظار نیست (شکل ۴-ب).



شکل ۳. تأثیر الگوی کاشت بر عملکرد علوفه گاودانه تحت تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی

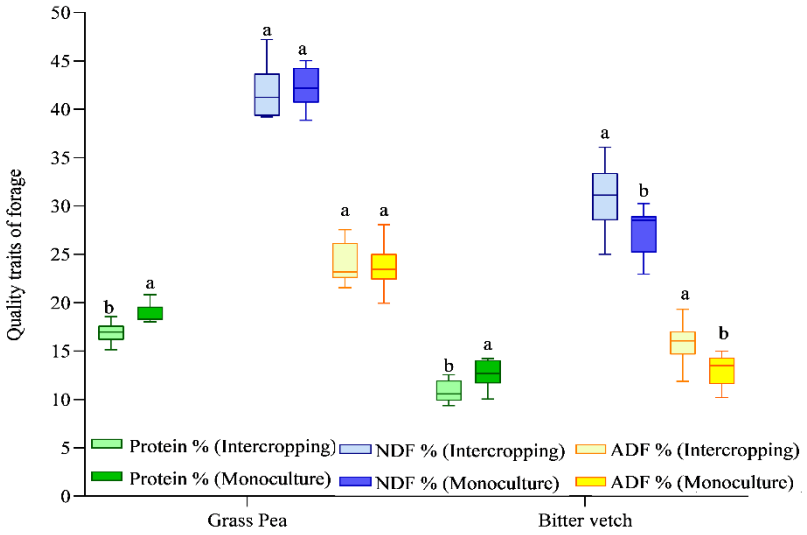


شکل ۴. تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی (الف) و الگوی کاشت (ب) بر عملکرد علوفه خلر.

Gebru (2015) گزارش کرد که بالاتر بودن عملکرد در تیمار خالص می‌تواند مربوط به این واقعیت باشد که گیاه در تک‌کشتی به‌دلیل انتخاب تراکم مناسب و کاهش سهم رقابت بین گونه‌ای در دریافت منابع آب و نور و عناصر غذایی موفق‌تر بوده و همچنین به‌دلیل تراکم بالاتر در تک‌کشتی در نهایت، عملکرد بالاتری را در مقایسه با ترکیب‌های کشت مخلوط به خود اختصاص داد. از طرفی هم پوشش مناسب سطح زمین توسط کانوپی مخلوط و در نتیجه عدم رشد علف‌های هرز از جمله عواملی هستند که می‌توانند در افزایش عملکرد بسیار مؤثر باشند (Rahmati *et al*., 2019).

۴-۳. پروتئین علوفه گاودانه و خلر

پروتئین خام علوفه گاودانه و خلر فقط تحت تأثیر الگوی کاشت در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفتند (جدول‌های ۴ و ۵). روند تأثیر الگوی کاشت بر پروتئین علوفه در گیاهان گاودانه و خلر یکسان بود؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان پروتئین علوفه در کشت خالص گاودانه و خلر (به‌ترتیب ۱۲/۷۲ و ۱۸/۸۸ درصد) مشاهده شد. در کشت مخلوط پروتئین علوفه گاودانه و خلر به‌ترتیب ۱۴/۸۶ و ۱۰/۷۵ درصد کمتر از کشت خالص این گیاهان بود (شکل ۵).



شکل ۵. تأثیر الگوی کاشت بر صفات کیفی علوفه گاودانه و خلر.

علوفه‌ای که دارای محتوای بالای پروتئین باشد از نظر کیفیت و ارزش غذایی برای دام مناسب‌تر است (Baghdadi *et al*., 2017). با افزایش تراکم گیاهی، بهره‌برداری از منابع به‌علت افزایش رقابت گیاهان در مخلوط، به‌شدت کاهش یافته و درصد پروتئین گیاه نیز در اثر رقابت کاهش می‌یابد (Pellicano *et al*., 2015). محققان در کشت مخلوط ماشک و جو،

بیشترین درصد پروتئین خام معادل ۲۱/۶۸ درصد را از کشت خالص ماشک گل‌خوشه‌ای گزارش کردند (Jeylani *et al*., 2015). Kheradmand *et al.* (2014) در کشت مخلوط خلر جو، بیشترین درصد پروتئین خام علوفه را از کشت خالص خلر و کمترین آن را از تک‌کشتی جو گزارش و بیان داشتند، هر چه در نسبت‌های کشت مخلوط به سمت تک‌کشتی جو پیش می‌رویم و از سهم خلر در آن کاسته می‌شود، درصد پروتئین خام نیز کاهش می‌یابد. این بیانگر آن است که حبوبات در مخلوط با غلات کیفیت علوفه را بهبود می‌بخشند. بررسی‌های دیگر نشان داد که بیشترین و کمترین پروتئین خام علوفه به‌ترتیب ۲۷/۸۴ و ۴/۸۰ درصد از کشت خالص ماشک و جو مشاهده شد (Contreras Paco *et al*., 2020). در تحقیق دیگری گزارش شد که یکی از مهمترین مزایای استفاده از خلر در نظام‌های کشت مخلوط لگوم -غلات، افزایش تولید پروتئین در واحد سطح است. در این مطالعه نظام کشت مخلوط ۶۰ درصد خلر+ ۴۰ درصد یولاف به‌عنوان بهترین نظام کشت مخلوط از نظر محتوی و عملکرد پروتئین معرفی شد (Vlachostergios *et al*., 2018).

۳-۵. NDF علوفه گاودانه و خلر

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که تنها اثر الگوی کاشت بر میزان NDF (الیاف غیر قابل حل در شوینده خنثی) علوفه گاودانه معنی‌دار بود. NDF خلر تحت تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی و الگوی کاشت قرار نگرفت (جدول‌های ۴ و ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین NDF علوفه به الگوی کاشت مخلوط گاودانه (۳۰/۸۱ درصد) تعلق گرفت و الگوی کشت خالص گاودانه حدود ۱۱ درصد کاهش در میزان NDF علوفه نشان داد (شکل ۵).

احتمالاً در کشت مخلوط گندم+ گاودانه چون ارتفاع بوته‌های لگوم بیشتر است و درصد ساقه بیشتری نسبت به کشت خالص تولید می‌کنند، میزان NDF در حالت کشت مخلوط به بیشترین میزان خود رسید. Kume *et al.* (2001) نیز نتیجه گرفتند که میزان NDF علوفه با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد. NDF و ADF به‌عنوان شاخصی برای بیان میزان دیواره سلولی گیاه شناخته شده و عاملی تأثیرگذار بر کیفیت و خوش‌خوراکی علوفه می‌باشند (Yilmaz *et al*., 2015). بررسی‌ها نشان داد وقتی درصد NDF افزایش می‌یابد، مصرف ماده خشک به‌دلیل افزایش میزان سیرکنندگی علوفه کاهش می‌یابد، پس به این دلیل درصد پایین NDF در علوفه مطلوب است (Contreras- Govea *et al*., 2009). در ارزیابی کمی و کیفی کشت مخلوط ماشک و جو، بیشترین درصد NDF ماشک از تیمار کشت مخلوط ۲۵ درصد ماشک+ ۷۵ درصد جو+ ازتوباکتر+ سوپرجاذب با ۵۱/۴ درصد و کمترین درصد NDF ماشک از تیمار کشت خالص ماشک+ ازتوباکتر به‌میزان ۴۷/۸ درصد حاصل شد. از دلایل مهم در بالا بودن میزان NDF در تیمارکشت مخلوط ۲۵ درصد ماشک+ ۷۵ درصد جو+ ازتوباکتر+ سوپرجاذب را احتمالاً می‌توان به‌دلیل خشبی‌بودن گیاه ماشک، قطر زیاد ساقه و تعداد شاخه‌های فرعی و بیشتر بودن نسبت ساقه به برگ نسبت داد (Zeiditoolabi *et al*., 2021). محققان در تک‌کشتی خلر و جو کمترین و بیشترین درصد NDF را گزارش کردند، چون بقولات نسبت به غلات از میزان مواد سلولزی و همی‌سلولزی کمتری برخوردار بوده و با اضافه‌شدن جو به سامانه کشت، درصد NDF افزایش یافت (Kheradmand *et al*., 2014).

۳-۶. ADF علوفه گاودانه و خلر

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ADF (الیاف غیر قابل حل در شوینده اسیدی) علوفه گاودانه تحت تأثیر معنی‌دار الگوی کاشت در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت و اثر هیچ‌کدام از تیمارهای مورد بررسی بر ADF علوفه خلر معنی‌دار نبود (جدول‌های ۴ و ۵). بیشترین ADF علوفه در الگوی کشت مخلوط گاودانه (۱۵/۷۹) مشاهده شد و میزان کاهش ADF علوفه در کشت خالص گاودانه ۱۷/۱۶ درصد بود (شکل ۵).

از آنجایی که دیواره سلولی بدون همی‌سلولز (ADF) و دیواره سلولی (NDF) قابلیت هضم را نشان می‌دهند و کیفیت علوفه با این دو شاخص نسبت معکوس دارد (Nakhzari Moghaddam, 2016)؛ و با توجه به پایین‌تر بودن NDF و ADF علوفه گاودانه در الگوی کشت خالص، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در کشت خالص در مقایسه با کشت مخلوط، از طریق کاهش NDF و ADF کیفیت علوفه بهبود یافت. ADF از لیگنین و سلولز تشکیل شده و همانند NDF از قابلیت هضم پایینی برخوردار می‌باشد (Contreras-Govea *et al*., 2009). افزایش ADF را می‌توان به کاهش نسبت برگ به ساقه و لیگنینی‌شدن ساقه‌ها نسبت داد. پایین‌بودن میزان ADF به‌دلیل افزایش نسبت برگ به ساقه می‌باشد که در نهایت با کاهش میزان غلظت مواد لیگنینی و سلولزی

در ساقه، به کاهش ADF منجر می‌شود (Javanmard *et al*., 2019). Ashoori *et al.* (2021) بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه در سری‌های افزایشی و جایگزینی کشت مخلوط سورگوم و شبدر برسیم گزارش دادند که بیشترین محتوی الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۳۸/۷۰ درصد) در کشت مخلوط ۷۵ درصد سورگوم+ ۲۵ درصد شبدر و کمترین مقدار آن در کشت خالص شبدر (۲۹/۸۰ درصد) حاصل شد.

۳-۷. فسفر و کلسیم علوفه گاودانه و خلر

نتایج تجزیه داده‌ها (جدول‌های ۴ و ۵) نشان داد که اثرات سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و الگوی کاشت بر مقدار فسفر و کلسیم علوفه گاودانه و خلر معنی‌دار بود. اثر خاک‌ورزی حداقل و متداول بر درصد فسفر و کلسیم علوفه گاودانه و خلر یکسان بود؛ به‌طوری‌که بیشترین درصد فسفر و کلسیم علوفه گاودانه و خلر در این سطوح خاک‌ورزی مشاهده شدند. کمترین مقدار فسفر و کلسیم علوفه گاودانه (به‌ترتیب ۰/۲۳۵ و ۰/۳۰۷ درصد) و خلر (به‌ترتیب ۰/۱۸۵ و ۰/۲۱ درصد) در سامانه بی‌خاک‌ورزی مشاهده شدند (جدول ۶).

جدول ٦. اثرات الگوی کاشت بر مقدار روغن، غلظت فسفر و کلسیم علوفه خلر و گاودانه.

Tillage	Grass Pea		Bitter Vetch	
	Ca (%)	P (%)	Ca (%)	P (%)
No-tillage	0.210[b]	0.185[b]	0.307[b]	0.235[b]
Minimum- tillage	0.287[a]	0.227[a]	0.372[a]	0.297[a]
Conventional- tillage	0.210[b]	0.227[a]	0.357[a]	0.300[a]
Planting patterns				
Intercropping	0.317[b]	0.256[b]	0.218[b]	0.198[b]
Monoculture	0.373[a]	0.299[a]	0.253[a]	0.228[a]

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

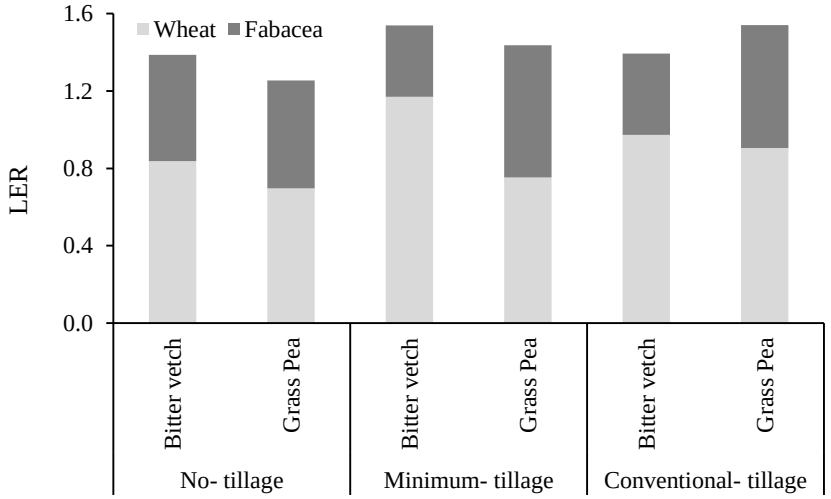
تفاوت درصد فسفر علوفه بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی ناشی از بهبود دسترسی به فسفر با توجه به رشد مناسب ریشه و فشردگی کمتر خاک، در شرایط خاک‌ورزی حداقل و متداول نسبت به بی‌خاک‌ورزی است. شرایط خاک در سامانه بی‌خاک‌ورزی برای رشد ریشه نامناسب بوده که سبب ایجاد محدودیت در جذب آب و عناصر غذایی برای گیاه می‌شود (Qin *et al*., 2006) و جذب کلسیم از خاک و در نتیجه درصد کلسیم علوفه نیز در این شرایط کاهش می‌یابد.

در میان الگوهای کاشت، بیشترین درصد فسفر علوفه به کشت خالص گاودانه و خلر به‌ترتیب به‌میزان ۰/۲۲۸ و ۰/۲۹۹ اختصاص یافت. میزان فسفر علوفه الگوی کشت مخلوط گاودانه و خلر به‌ترتیب ۱۳/۱۶ و ۱۴/۷۲ درصد کاهش نشان داد (جدول ۶). در میان دو الگوی کشت خالص و مخلوط، بیشترین درصد کلسیم علوفه گاودانه (۰/۲۵۳) و خلر (۰/۳۷۳) به کشت خالص اختصاص یافت و الگوی کشت مخلوط گاودانه و خلر به‌ترتیب ۱۳/۸۳ و ۱۵/۰۱ درصد کاهش در میزان کلسیم علوفه داشت (جدول ۶). در کشت مخلوط رقابت برای جذب عناصر غذایی افزایش می‌یابد (Olowe & Adeyemo, 2009). به‌نظر می‌رسد در کشت مخلوط افزایشی گندم و گیاهان لگوم رقابت گیاهان در جذب کلسیم افزایش یافته که منجر به کاهش کلسیم علوفه گیاهان لگوم در این شرایط شده است.

۳-۸. نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین به‌عنوان یک شاخص مهم جهت ارزیابی کارآیی کشت مخلوط مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج این آزمایش نشان داد که مقادیر نسبت برابری زمین در همه الگوهای کشت مخلوط گندم با بقولات تحت شرایط مختلف خاک‌ورزی بیشتر از یک بود که بیانگر برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی است (شکل ۶). استفاده کارآمد از منابع موجود در واحد سطح با توجه به سیستم ریشه‌ای متفاوت اجزا، کنترل بهتر علف‌های هرز و تثبیت نیتروژن توسط گیاهان لگوم از عوامل اصلی افزایش نسبت برابری زمین در سیستم کشت مخلوط بودند. بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۵۴) به کشت مخلوط گندم+ گاودانه تحت شرایط

خاک‌ورزی حداقل اختصاص یافت (شکل ۶). بنابراین از نظر عملکرد دانه کشت مخلوط بر تک‌کشتی ارجحیت دارد و گیاه گاودانه، در مقایسه با سایر بقولات بررسی‌شده در این مطالعه از پتانسیل بهتری برای کشت مخلوط با گندم برخوردار می‌باشد.



شکل ٦. نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط گندم با خلر و گاودانه تحت سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی.

۴. نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصله عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم در سامانه بی‌خاک‌ورزی به‌طور معنی‌داری پایین است. بیشترین عملکرد دانه و زیستی در خاک‌ورزی حداقل حاصل می‌شود. مهار علف‌های هرز در کشت خالص گندم موجب کاهش رقابت و تخصیص بیشتر منابع موجود به گندم و بهبود عملکرد گندم می‌شود. بنابراین در شرایط کشت خالص نیاز به گزینه مهار علف‌های هرز به‌طور کارا می‌باشد و در بین الگوهای کشت مخلوط در همه سطوح خاک‌ورزی، کشت مخلوط گندم با گاودانه منجر به حصول بیشترین عملکرد دانه و زیستی گندم می‌شود. بیشترین عملکرد علوفه خشک گاودانه و خلر در خاک‌ورزی حداقل به‌دست آمد و کشت خالص بقولات به‌دلیل کاهش سهم رقابت بین گونه‌ای و همچنین به‌دلیل تراکم بالاتر گیاهان لگوم در تک‌کشتی، عملکرد بالاتری را در مقایسه با ترکیب‌های کشت مخلوط به خود اختصاص می‌دهند. از طرفی هم تولید بیوماس این گیاهان در شرایط کشت مخلوط نیز قابل توجه می‌باشد. لذا اضافه بر سودمندی این گیاهان در مهار علف‌های هرز و بهبود رشد و عملکرد گندم، این امر نشان‌دهنده پتانسیل مناسب این گیاهان به‌منظور تولید علوفه نیز می‌باشد. الگوهای کشت مخلوط سبب افزایش پروتئین دانه گندم می‌شوند. گیاهان گاودانه و خلر در الگوی کاشت خالص از غلظت فسفر و کلسیم بیشتری برخوردار هستند. کشت خالص گیاهان لگوم در مقایسه با کشت مخلوط، از طریق افزایش پروتئین، درصد خاکستر و روغن علوفه و کاهش NDF و ADF کیفیت علوفه را بهبود بخشید. سامانه بی‌خاک‌ورزی با کاهش درصد خاکستر علوفه گاودانه و خلر تأثیر منفی بر کیفیت علوفه این گیاهان لگوم دارد. لذا سامانه خاک‌ورزی و الگوی کشت مخلوط می‌تواند با تأثیر بر جذب عناصر توسط این گیاهان محتوی کمی و کیفی آنها را تحت تأثیر قرار دهد. در نهایت، با بررسی کلیه جوانب تحقیق می‌توان الگوی کشت مخلوط گندم+ گاودانه و سامانه خاک‌ورزی حداقل را به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار جهت بهبود عملکرد معرفی نمود. از طرفی هم جهت مدیریت تبعات تغییرات آب و هوایی نظیر خشکسالی و نوسانات نزولات جوی، استفاده از کشت مخلوط در تلفیق با خاک‌ورزی می‌تواند سودمند باشد؛ به‌طوری‌که در صورت عدم رشد مناسب گیاه اصلی با وجود گیاه دوم در مخلوط محصول قابل توجهی تولید شود.

۵. سپاسگزاری

از همکاری و مشاوره استاد محترم پروفسور لارس آندرسون در تدوین این مقاله قدردانی می‌شود. به‌علاوه از دانشگاه ایلام به‌خاطر حمایت از انجام این رساله دکتری تشکر و قدردانی می‌شود.

۶. منابع

Amato, G., Ruisi, P., Frenda, A.S., Di Miceli, G., Saia, S., Plaia, A., & Giambalvo, D. (2013). Long-term tillage and crop sequence effects on wheat grain yield and quality. *Agronomy Journal*, *105*(5), 1317-1327.

Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajali, J., & Nabi Elkaee, M. (2021). Quantitative and qualitative characteristics of forage in the sorghum and berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.) intercropping systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(2), 1-15. (In Persian).

Baghdadi, A., Balazadeh, M., Kashani, A., Golzardi, F., Gholamhoseini, M., & Mehrnia, M. (2017). Effect of pre-sowing and nitrogen application on forage quality of silage corn. *Agronomy Research*, *15*(1), 11-23.

Bibi, S., Khan, I.A., Hussain, Z.A.H.I.D., Zaheer, S.A.J.J.A.D., & Shah, S.M.A. (2019). Effect of herbicides and intercropping on weeds and yields of maize and the associated intercrops. *Pakistan Journal of Botany*, *51*(3), 1113-1120.

Contreras Paco, J.L., Ramírez Rivera, H., Tunque Quispe, M., Aroni Quintanilla, Y.R., & Curasma Ccente, J. (2020). Productive and nutritional aspects of forages oats and barley alone and consociated to vetch in high Andean conditions. *Food Processing and Technology*, *8*(2), 56- 65.

Contreras-Govea, F.E., Muck, R.E., Armstrong, K.L., & Albrecht, K.A. (2009). Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. *Animal Feed Science and Technology*, *150*(1), 1-8.

Dehghanian, H., Barmaki, M., Dabbagh Mohamadi Nasab, A., & Seifdavati, J. (2020). Grass pea (*Lathyrus sativus* L.)- cereal intercropping: Evaluation of productivity and some indices of forage quality. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(3), 61-76. (In Persian).

Elodie, B., Marek, D., Bruno, C., Dominique, D., & Philippe, H. (2012). Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *46*, 181-190.

Eskandari, H., & Javanmard, A. (2014). Evaluation of forage yield and quality in intercropping patterns of maize and cowpea. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *23*(4), 101-110. (In Persian).

Gebru, H. (2015). A review on the comparative advantage of intercropping systems. *International Knowledge Sharing Platform*, *5*(7), 1-14.

Ghanbari-Bonjar, A., & Lee, H.C. (2002). Intercropped field beans and wheat for whole crop forage: Effect of nitrogen on forage yield and quality. *The Journal of Agricultural Science*, *138*(3), 311-315.

Hernandez-Ochoa, I.M., Asseng, S., Kassie, B.T., Xiong, W., Robertson, R., Pequeno, D.N.L., & Hoogenboom, G. (2018). Climate change impact on Mexico wheat production. *Agricultural and Forest Meteorology*, *263*, 373-387.

Javanmard, A., Amani Machiani, M., & Rasoli, F. (2018). Improvement of forage quantity and quality in corn-legumes intercropping with nitroxin biofertilizer application in double cropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *28*(1), 1-17. (In Persian).

Javanmard, A., Nikdel, H., & Amani Machiani, M. (2019). Evaluation of forage quantity and quality in domestic populations of hairy vetch (*Vicia villosa* L.), vetch (*Vicia sativa* L.) and Caspian vetch under rainfed condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *29*(1), 15-31. (In Persian).

Jeylani, M., AjamNorouzi, H., & Rabiee, M. (2015). Effect of planting bed on quantity and quality of hay in different mixing ratio of barley and vetch in rainfed condition of Rasht area. *Research in Crop Ecosystems*, *2*(3), 23-35. (In Persian).

Kheradmand, S., Mahmodib, S., & Ahmadi, E. (2014). Quantitative and qualitative performance evaluation of green pea and barley forage intercropping. *Applied Field Crops Research*, *27*(105), 111-118. (In Persian).

Kume, S., Toharmat, T., Nonaka, K., Oshita, T., Nakui, T., & Ternouth, G.H. (2001). Relationships between crude protein and mineral concentrations in alfalfa and value of alfalfa silage as a mineral source for periparturient cows. *Animal Feed Science and Technology*, *93*, 157-168.

Lal, R. (2015). Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, *70*(3), 55A-62A.

Larbi, A., Abd El-Moneim, A.M., Nakkoul, H., Jammal, B., & Hassan, S. (2010). Intra-species variations in yield and quality in *Lathyrus* species: 1. Grasspea. *Animal Feed Science and Technology*, *161*(1), 9-18.

Larbi, A., Abd El-Moneim, A.M., Nakkoul, H., Jammal, B., & Hassan, S. (2011). Intra-species variations in yield and quality determinants in *Vicia* species: 1. Bitter vetch (*Vicia ervilia* L.). *Animal Feed Science and Technology*, *165*(3), 278-287.

Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., & Damalas, C.A. (2011). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, *34*(4), 287-294.

Madembo, C., Mhlanga, B., & Thierfelder, C. (2020). Productivity or stability? exploring maize-legume intercropping strategies for smallholder conservation agriculture farmers in Zimbabwe. *Agricultural Systems*, *185*, 102921.

Martin-Guay, M.O., Paquette, A., Dupras, J., & Rivest, D. (2018). The new green revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Science of the Total Environment*, *615*, 767-772.

Mishra, J.S., & Singh, V.P. (2012). Tillage and weed control effects on productivity of a dry seeded rice–wheat system on a vertisol in Central India. *Soil and Tillage Research*, *123*, 11-20.

Nakhzari Moghaddam, A. (2016). Effects of nitrogen and different intercropping arrangements of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) on forage yield and competitive indices. *Journal of Agroecology*, *8*(1), 47-58. (In Persian).

Nelson, W.C.D., Hoffmann, M.P., Vadez, V., Roetter, R.P., & Whitbread, A.M. (2018). Testing pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. *Field Crops Research*, *217*, 150-166.

Olowe V.I.O., & Adeyemo, A.Y. (2009). Enhanced crop productivity and compatibility through intercropping of sesame and sunflower varieties. *Annals of Applied Biology*, *155*, 285–291.

Pellicano, A., Romeo, M., Pristeri, A., Preiti, G., & Monti, M. (2015). Cereal-pea intercrops to improve sustainability in bioethanol production. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, 827-835.

Putelat, T., Whitmore, A.P., Senapati, N., & Semenov, M.A. (2021). Local impacts of climate change on winter wheat in Great Britain. *Royal Society Open Science*, *8*(6), 201669.

Qin, R., Stamp, P., & Richner, W. (2006). Impact of tillage on maize rooting in a Cambisol and Luvisol in Switzerland. *Soil and Tillage Research*, *85*(1), 50-61.

Rahmati, E., Khalesro, S., & Heidari, G. (2019). Improving quantitative and qualitative yield of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Agroecology*, *11*(4), 1261-1273. (In Persian).

Ren, J., Zhang, L., Duan, Y., Zhang, J., Evers, J.B., Zhang, Y., & van der Werf, W. (2019). Intercropping potato (*Solanum tuberosum* L.) with hairy vetch (*Vicia villosa*) increases water use efficiency in dry conditions. *Field Crops Research*, *240*, 168-176.

Salehi, Z., Amirnia, R., Rezaeichiyaneh, E., & Khalilvandi Behrozyar, H. (2018). Evaluation of yield and some qualitative traits of forage in intercropping of triticale with annual legumes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *28*(4), 59-76. (In Persian).

Sharifi, H., Gazanchian, G.A., & Anahid, S. (2018). Effects of planting date and seed priming on partitioning coefficients, grain yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *7*(1), 257-280. (In Persian).

Tammeorg, P., Simojoki, A., Mäkelä, P., Stoddard, F.L., Alakukku, L., & Helenius, J. (2014). Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertilizer on a boreal loamy sand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *191*, 108-116.

Thobatsi, J.T. (2009). *Growth and yield responses of maize (Zea mays* L.*) and cowpea (Vigna unguiculata* L.*) in an intercropping system* (Doctoral dissertation, University of Pretoria).

Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M.L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, *2*(7), 494-501.

Vlachostergios, D.N., Lithourgidis, A.S., & Dordas, C.A. (2018). Agronomic, forage quality and economic advantages of red pea (*Lathyrus cicera* L.) intercropping with wheat and oat under low- input farming. *Grass and Forage Science*, *73*(3), 777-788.

Vrignon-Brenas, S., Celette, F., Piquet-Pissaloux, A., Corre-Hellou, G., & David, C. (2018). Intercropping strategies of white clover with organic wheat to improve the trade-off between wheat yield, protein content and the provision of ecological services by white clover. *Field Crops Research*, *224*, 160-169.

Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G., & Vanderlee, J.J. (1989). Soil and plant analysis, a series of syllabi. *Part*, *7*, 263.

Willey, R. (1979). Intercropping-its importance and its research needs. Part I. Competition and yield advantages. *Field Crop Sciences*, *32*, 1-10.

Xu, R., Zhao, H., Liu, G., Li, Y., Li, S., Zhang, Y., & Ma, L. (2022). Alfalfa and silage maize intercropping provides comparable productivity and profitability with lower environmental impacts than wheat–maize system in the North China plain. *Agricultural Systems*, *195*, 103305.

Yilmaz, S., Ozel, A., Atak, M., & Erayman, M. (2015). Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *39*, 135-143.

Zeiditoolabi, N., Khomri, I., Sirous Mehr, A., Daneshvar, M., Glovy, M., & Dehmordeh, M. (2021). Quantitative and qualitative evaluation of vetch (*Vicia narbonensis*) and barley (*Hordeum vulgar*) intercropping in Khorramabad rainfed conditions under the influence of Aztobarvar-1 biofertilizer and superabsorbent material. *Crop Physiology Journal*, *13*(49), 167-185. (In Persian).