Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

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

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Evaluation of conservation and conventional tillage systems on the forage quality and quantity of wheat (*Trifolium resupinatum* L.), vetch (*Vicia villosa* L.) and clover (*Trifolium resupinatum* L.) in intercropping

Ekhlas Amini[1], Alireza Taab[2*], Emanuele Radicetti[3]

[1] Ph.D. student of Crop Ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran. E-mail: amini8620@yahoo.com

[2] Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran. E-mail: a.taab@ilam.ac.ir

[3] Associate Professor, Department of Chemical, Pharmaceutical and Agricultural Sciences, University of Ferrara, Ferrara, Italy. E-mail: rdcmnl@unife.it

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2024-06-24
Accepted: 2024-10-05

Keywords:
Planting pattern
Plowing
Quantitative and qualitative yield
Land Equivalent Ratio

ABSTRACT

Background and Objectives: Given that agriculture in Iran is the largest consumer of water resources, reducing water availability due to climate change is the most significant limiting factor for agricultural production. Therefore, increasing water productivity and optimising these limited water resources are essential. Considering the constraints on water resources, especially during the summer when sesame cultivation and growth occur in the country, it is necessary to conduct practical studies on optimal water use in sesame farming and the possibility of replacing native varieties and old cultivars with new ones. Hence, it is hypothesised that introducing sesame varieties and lines through reduced plant access to water (increasing irrigation intervals or accelerating irrigation cut-off at the end of the growth period) can achieve greater water use efficiency with minimal seed and oil yield losses. The present research was designed and implemented to address this hypothesis.

Background and objectives: The sustainability of agricultural systems can be improved by practices such as intercropping and conservation tillage systems. This research aimed to investigate the intercropping of wheat with clover and vetch to increase the quantitative and qualitative yield and the beneficial use of environmental resources in conservation and conventional tillage systems.

Materials and methods: The experiment was carried out in the form of split plots in a randomized complete block design with three replications in the research farm of Ilam University in the crop year of 2018-2019. Tillage regimes as the main factor in three levels were assigned to the main plots, including conventional tillage, minimum tillage and no tillage. The sub-plots included different cultivation patterns at five levels (Wheat monoculture, monoculture clover, monoculture vetch, 100% wheat + 50% clover intercropping and 100% wheat + 50% vetch intercropping).

Results: The results showed that the grain yield of wheat in the intercropping of wheat+ clover and wheat + vetch in the system no-

tillage was 29.7 and 19.4% respectively and in conventional tillage it was lower by 13.6 and 17.9% respectively compared to monoculture. In the minimum tillage system, wheat grain yield in the intercropping of wheat + clover was higher by 6.6% compared to wheat monoculture. The forage yield of vetch in the monoculture pattern in the system no-tillage, minimum tillage and conventional tillage was higher by 41.3, 73.4 and 54.3%, respectively, compared to the intercropping of wheat + vetch. In minimum tillage, the forage yield of clover was 24.7% higher than the conventional tillage system. Phosphorus concentration of wheat grain increased by 21.9% the intercropping of wheat + vetch compared to monoculture of wheat. The concentration of wheat grain protein in the intercropping of wheat+ clover and wheat + vetch was on average 8.5% higher than that of wheat monoculture. Calcium content of vetch forage in the system without tillage decreased by 16.81% compared to conventional tillage. Phosphorus of clover and vetch forage in minimum tillage was 34.5 and 15.1% higher than no-tillage. Phosphorus content of vetch forage in intercropping decreased by 11.40% compared to monoculture of vetch. In the intercropping of wheat+ clover and wheat + vetch forage protein was 14.06 and 6.71% less than the monoculture of these plants, respectively. The amount of neutral detergent fiber (NDF) in the monoculture of clover and vetch was on average about 11% lower than their intercropping patterns. The amount of ADF (acid detergent fiber) in monoculture of clover and vetch was 12.65% and 9.62% less than the intercropping patterns. The land equivalent ratio in all intercropping patterns of wheat with legume cover crops was more than one, indicating the advantage of intercropping patterns for land use and increasing the yield over monoculture. Calculating the aggressivity index showed that wheat was more dominate than legumes under different tillage systems.

Conclusion: The intercropping of wheat with leguminous plants improved the quality of wheat and increased the percentage of phosphorus, nitrogen and wheat grain protein. In general, the results of this research showed that the intercropping of wheat with clover and vetch under conservation tillage system improves the forage production and increase the productivity of the land.

Cite this article: Amini, E., Taab, A.R., Radicetti, E. 2024. Evaluation of conservation and conventional tillage systems on the forage quality and quantity of wheat (*Trifolium resupinatum* L.), vetch (*Vicia villosa* L.) and clover (*Trifolium resupinatum* L.) in intercropping. *Crop Production Journal*, 17 (3), 85-106.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2024.22568.2633
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

تأثیر خاک‌ورزی متداول و حفاظتی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی گندم (*Triticum aestivum* L.) و علوفه ماشک (*Vicia villosa* L.) و شبدر (*Trifolium resupinatum* L.) در کشت مخلوط

اخلاص امینی[۱]، علیرضا تاب[۲*]، امانول رادیستی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری سابق رشته اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، رایانامه: amini8620@yahoo.com

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

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

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱۴

واژه‌های کلیدی:
الگوی کاشت
شخم
عملکرد کمی و کیفی
نسبت برابری زمین

چکیده

سابقه و هدف: پایداری سامانه‌های کشاورزی را می‌توان با اقداماتی مانند کشت مخلوط و خاک‌ورزی حفاظتی بهبود داد. هدف از این تحقیق، بررسی کشت مخلوط گندم با شبدر و ماشک در جهت افزایش عملکرد کمّی و کیفی و استفاده مفید از منابع محیطی تحت سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی و متداول بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. خاک‌ورزی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل خاک‌ورزی متداول، خاک‌ورزی حداقل و بدون خاک‌ورزی در کرت‌های اصلی قرار گرفت. کرت‌های فرعی شامل الگوهای مختلف کاشت در پنج سطح (کشت خالص گندم، شبدر، ماشک و کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد گندم+ ۵۰ درصد شبدر و کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد گندم+ ۵۰ درصد ماشک) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد عملکرد دانه گندم در کشت مخلوط گندم+ شبدر و گندم+ ماشک در سامانه بدون خاک‌ورزی به‌ترتیب ۲۹/۷ و ۱۹/٤ درصد و در خاک‌ورزی متداول به‌ترتیب ۱۳/٦ و ۱۷/۹ درصد در مقایسه با کشت خالص گندم کاهش یافت. در سامانه خاک‌ورزی حداقل عملکرد دانه گندم در کشت مخلوط افزایشی گندم+ شبدر در مقایسه با کشت خالص گندم به‌میزان ٦/٦ درصد بیشتر بود. عملکرد علوفه ماشک در الگوی کشت خالص در سامانه بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حداقل و خاک‌ورزی متداول در مقایسه با کشت مخلوط ماشک به‌ترتیب ٤١/٣، ٧٣/٤ و ٥٤/٣ درصد بیشتر بود. در خاک‌ورزی حداقل عملکرد علوفه شبدر ٢٤/٧ درصد نسبت به سامانه خاک‌ورزی متداول بیشتر بود. غلظت فسفر دانه گندم در الگوی کشت مخلوط افزایشی گندم+ ماشک ۲۱/۹ درصد در مقایسه با کشت خالص گندم افزایش یافت. غلظت پروتئین دانه گندم در کشت مخلوط گندم+ ماشک و گندم+ شبدر به‌طور متوسط ۸/۵ درصد نسبت به کشت خالص گندم بیشتر بود. میزان کلسیم علوفه ماشک در سامانه بدون خاک‌ورزی ١٦/٨١ درصد در مقایسه با خاک‌ورزی متداول کاهش یافت. فسفر علوفه شبدر و

ماشـک در خاک‌ورزی حداقل به‌ترتیب ۳٤/۵ و ۱۵/۱ درصـد نسبت به بدون خاک‌ورزی بیشتر بودند. میزان فسـفر علوفه ماشـک در کشـت مخلوط ۱۱/٤۰ درصد در مقایسه با کشت خالص ماشک کاهش نشان داد. در کشت مخلوط پروتئین علوفه شبدر و ماشک به‌ترتیب ۱٤/۰٦و ٦/۷۱ درصد کمتر از کشت خالص این گیاهان بود. میزان NDF (الیاف غیرقابل حل در شوینده خنثی) در الگوی کشت خالص ماشک و شبدر به‌طور متوسط حدود ۱۱ درصد کمتر از کشت مخلوط آن‌ها بود. میزان ADF علوفه (الیاف غیرقابل حل در شـوینده اسیدی) در کشت خالص شبدر و ماشـک به‌ترتیب ۱۲/٦۵ و ۹/٦۲ درصد کمتر از کشت مخلوط بود. نسبت برابری زمین در همه الگوهای کشت مخلوط گندم با لگوم‌ها تحت سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی بیشتر از یک بود که بیانگر مزیت الگوهای کشـت مخلوط برای اسـتفاده از زمین و افزایش عملکرد می‌باشـد. محاسـبه ضـریب غالبیت نشـان داد که تحت سـامانه‌های مختلف خاک‌ورزی گندم از غالبیت بیشتری نسبت به بقولات برخوردار بود.

نتیجه‌گیری: کشت مخلوط گندم با گیاهان لگوم سبب بهبود کیفیت گندم و افزایش درصد فسفر، نیتروژن و پروتئین دانه گندم شد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد کشت مخلوط گندم با گیاهان علوفه‌ای شبدر و ماشک تحت سامانه خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش بهره‌وری از زمین می‌شود.

استناد: امینی، اخلاص؛ تاب، علیرضا؛ رادیستی، امانول. (۱٤۰۳). تأثیر خاک‌ورزی متداول و حفاظتی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی گندم (*Triticum aestivum* L.) و علوفه ماشک (*Vicia villosa* L.) و شبدر (*Trifolium resupinatum* L.) در کشت مخلوط. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۷ (۳)، ۱۰٦-۸۵.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.22568.2633
ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

در سال‌های اخیر، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و خاک‌ورزی‌های فشرده ضمن داشتن هزینه‌های زیاد، به‌علت کاهش کیفیت محصولات زراعی، کاهش ماده آلی خاک و آلودگی آب و محیط زیست آسیب‌پذیری نظام‌های کشاورزی را افزایش داده است؛ بنابراین به‌کارگیری یک راهبرد مؤثر که شرایط ایده‌آلی برای مدیریت علف‌های‌هرز، بازچرخش عناصر غذایی و افزایش تولید گیاهان زراعی را فراهم آورد، ضروری کرده است (۱). در راستای حفاظت و مدیریت خاک، استفاده از سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی مانند سامانه بدون خاک‌ورزی به‌منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی و بهبود کیفیت خاک در زمین‌های زراعی توصیه شده است. علاوه بر این حفاظت از خاک به‌عنوان یکی از شاخص‌های عمده جهت پایداری بوم نظام‌های کشاورزی تعریف شده است (۲). در راستای کشاورزی پایدار رویکرد دیگری که می‌تواند مفید واقع شود، کشت مخلوط است. کشت مخلوط به کشاورز کمک می‌کند که فقط به یک محصول اتکا نداشته و بتواند مدیریت صحیحی از منابع طبیعی داشته باشد و از تخریب ذخایر طبیعی نیز جلوگیری نماید (۳ و ٤). در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، ترکیب غلات با گیاهان تثبیت کننده نیتروژن از جمله قدیمی‌ترین و معمول‌ترین بوم نظام‌های کشاورزی در مناطق مختلف جهان به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه می‌باشند (۵).

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهمترین گیاه زراعی و غذای اصلی اغلب مردم جهان است و به‌عنوان یکی از محصولات راهبردی در توسعه کشورهای مختلف می‌باشد؛ بنابراین افزایش محصول آن همیشه مورد توجه پژوهشگران بوده است. امروزه به‌دلیل الگوی تک‌کشتی گندم و اعمال پیوسته روش‌های خاک‌ورزی متداول تولید آن با چالش مواجه است. به‌علاوه در راستای تعدیل تبعات تغییرات اقلیمی در جریان می‌توان از سودمندی کشت مخلوط گندم به‌عنوان گیاه اصلی با گیاهان لگوم تثبیت کننده نیتروژن هوا و نیز به‌عنوان منبع علوفه جهت احشام نیز بهره جست. گیاهان علوفه‌ای در تعلیف دام و در نتیجه تأمین نیاز انسان از نظر فرآورده‌های دامی از اهمیت غیرقابل انکاری برخوردار هستند (٦). ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده لگوم‌ها است. با توجه به بومی بودن این گیاه علوفه‌ای، پتانسیل تولید بالا، تحمل به سرما و خشکی و دارا بودن درصد پروتئین بالا می‌تواند در الگوهای کشت مخلوط با گیاهان غلات به‌ویژه گندم مورد استفاده قرار گیرد. شبدر (*Trifolium* sp.) نیز یکی از مهمترین لگوم‌های علوفه‌ای در خاورمیانه و مناطق مدیترانه‌ای است که دارای سرعت رشد بالا، تثبیت نیتروژن اتمسفری، پتانسیل بالای تولید و علوفه با ارزش غذایی زیاد است (۷).

درصد پروتئین، درصد خاکستر[1]، درصد الیاف غیرقابل حل در شوینده خنثی (NDF[2]) و درصد الیاف غیرقابل حل در شوینده اسیدی (ADF[3]) از مهمترین خصوصیات کیفی گیاهان علوفه‌ای می‌باشند و در بیشتر تحقیقات به‌منظور ارزیابی کیفیت علوفه مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۸). کشت مخلوط لگوم‌ها با سایر گیاهان، یک استراتژی پایدار جهت افزایش کیفیت علوفه به‌شمار می‌رود. نتایج تحقیقات حاکی از تأثیر مثبت کشت مخلوط در افزایش عملکرد و تولید علوفه با کیفیت بهتر و پایداری عملکرد بوده است (۳). گزارش‌های زیادی از تأثیر کشت مخلوط بر ویژگی‌های کیفی علوفه وجود

[1] Ash
[2] Acid Detergent Fiber
[3] Acid Detergent Fiber

دارد (۸، ۹ و ۱۰). زو و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند کشت مخلوط گندم با باقلا (*Vicia faba* L.) عملکرد و پروتئین دانه گندم را افزایش داد (۱۰). صالحی و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه الگوهای کشت مخلوط تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmak.) با لگوم‌های یکساله مشاهده نمودند که الگوهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی تریتیکاله موجب افزایش کیفیت علوفه شدند (۱۱). در بررسی الگوهای کشت مخلوط جایگزینی جو (*Hordeum vulgare* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.)، بیشترین میزان کربوهیدارت‌های محلول در آب، فیبر خام علوفه، درصد دیواره سلولی عاری از همی‌سلولز در کشت خالص جو مشاهده شد (۱۲). همچنین صادق‌پور و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی جو و یونجه (*Medicago sativa* L.) گزارش کردند که کشت مخلوط این گیاهان باعث افزایش کمّی و کیفی علوفه شد (۱۳). درخشانی و همکاران (۲۰۲۱) نیز در بررسی الگوهای کشت مخلوط افزایشی جو بهاره و گاودانه (*Vicia ervilia* L.) با تراکم‌های ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد نشان دادند با افزایش تراکم گاودانه در الگوهای کشت مخلوط افزایشی مقدار نیتروژن، پتاسیم و سدیم گاودانه افزایش یافت. بیشترین میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی (۳۷/۶ درصد) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۲۵/۸ درصد) به تراکم ۱۲/۵ درصد گاودانه و کمترین مقدار این صفات (به‌ترتیب ۳۲/۹ و ۲۲/۸ درصد) به تراکم ۷۵ درصد گاودانه تعلق داشت. بنابرین تراکم کاشت ۷۵ درصد گاودانه به‌واسطه کاهش الیاف نامحلول از کیفیت علوفه بهتری برخوردار بود (۳). در پژوهشی دیگر عاشوری و همکاران (۲۰۲۱) بیشترین عملکرد علوفه را از الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد شبدر+ ۱۰۰ درصد سورگوم و کمترین مقدار علوفه در کشت خالص شبدر گزارش کردند. بیشترین مقدار پروتئین قابل هضم (۱۱/۴۸ درصد)، پروتئین قابل متابولیسم (۸/۰۳ درصد)، انرژی قابل هضم (۲/۷۷ مگاکالری در کیلوگرم ماده خشک) و کیفیت نسبی علوفه (۱۲۲/۷ درصد) در کشت خالص شبدر حاصل گردید (۱۴). همچنین کشت مخلوط ماشک (*Vicia villosa* L.) و تریتیکاله موجب افزایش نسبت برابری زمین و افزایش پروتئین هر دو گیاه شد (۹). کرمی (۲۰۲۰) در ارزیابی سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی و متداول بر عملکرد گندم گزارش کرد بیشترین عملکرد دانه گندم (۶۱۳۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به خاک‌ورزی متداول و کمترین عملکرد دانه آن (۳۵۸۹ کیلوگرم در هکتار) نیز به سامانه بدون خاک‌ورزی تعلق داشته است (۱۵). همچنین بیشترین میزان عملکرد دانه (۷/۱ تن در هکتار)، عملکرد بیولوژیکی (۱۵/۹ تن در هکتار) و وزن هزار دانه (۳۷/۲ گرم) در سامانه خاک‌ورزی متداول با ۳۰ و ۶۰ درصد بقایای گیاهی حاصل شد (۱۶).

با توجه به مجموعه نکات ذکر شده در مورد اهمیت خاک‌ورزی حفاظتی، کشت مخلوط و بهبود عملکرد کمّی و کیفی علوفه، این پژوهش با هدف بررسی کشت مخلوط افزایشی گندم و لگوم‌ها و سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی بر خصوصیات کمی و کیفی علوفه ماشک و شبدر انجام گرفت.

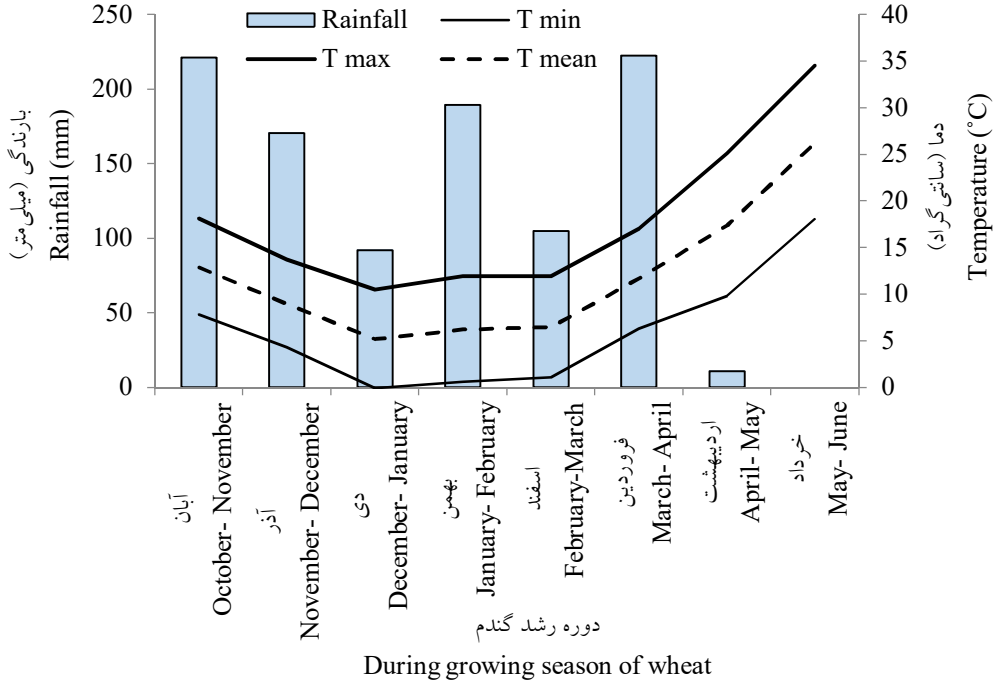
مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام، واقع در شمال غربی شهر ایلام با مختصات طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۷۴ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. ویژگی‌های خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. در طول دوره رشد مقدار بارش ۶۵۱ میلی‌متر و میانگین دمای حداکثر و حداقل، به‌ترتیب ۱۸/۸ و ۶/۱ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۱).

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)

Table 1- Some physical and chemical characteristics of experimental field soil (0-30 cm depth)

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS m^{-1})	اسیدیته pH	ماده آلی (درصد) OM (%)	فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K (mg kg^{-1})	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)
لومی رسی سیلتی Silty clay loam	0.30	8.09	3.09	3.52	339.68	0.19



شکل ۱- دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای متوسط و میزان بارندگی در طول دوره رشد گندم

Figure 1- Maximum (T max), minimum (T min), and average temperature (T mean) and rainfall during wheat growth cycle

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. خاک‌ورزی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح، خاک‌ورزی متداول، خاک‌ورزی حداقل و بدون خاک‌ورزی و الگوهای مختلف کشت شامل کشت خالص گندم، شبدر، ماشک و کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد گندم+ ۵۰ درصد شبدر و کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد گندم+ ۵۰ درصد ماشک به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند.

برای کشت از گندم رقم بهاران به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم بذر در هکتار و بذر مصرفی گیاهان شبدر ایرانی رقم هفت چین و ماشک گل‌خوشه‌ای رقم مراغه استفاده شد. رقم گندم بهاران جزء ارقام بهاره با پتانسیل عملکرد بالا، متوسط عملکرد ٦/٣ تن در هکتار، مقاوم به زنگ، کیفیت نانوایی بالا، متوسط وزن هزار دانه ٤٤ گرم، زودرس، ریشک‌دار و مقاوم به خوابیدگی و ریزش دانه می‌باشد (۱۷). ماشک گل‌خوشه‌ای رقم مراغه دارای تیپ رشدی بهاره، حالت رونده، مقاوم به سرما و خشکی، مناسب برای کشت مخلوط با غلات و با عملکرد ٢/٤ تن در هکتار مناسب برای کشت در دیمزارهای مناطق معتدل و سرد است. این رقم جزء ارقام یک چین برداشت است

(۱۸). پتانسیل عملکرد شبدر ایرانی رقم هفت چین معادل ۵۸/٦ تن علوفه تر و ۹/۷۸ تن علوفه خشک در هکتار است (۱۹).

در کشت خالص شبدر و ماشک به‌ترتیب ٤۰ و ۷۰ کیلوگرم بذر در هکتار متناسب با شیوه کشت مرسوم منطقه در نظر گرفته شد. سال قبل از اجرای آزمایش مزرعه زیر کشت گندم بود. آماده‌سازی و شخم زمین در اواسط مهرماه ۱۳۹۸ بر اساس خاک‌ورزی متداول، خاک‌ورزی حداقل و بدون خاک‌ورزی انجام گردید. برای انجام خاک‌ورزی متداول از دستگاه‌های متداول و مرسوم منطقه (گاوآهن برگردان‌دار و دیسک) 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 خاک‌ورزی متداول بقایای گندم کشت قبلی به‌صورت کامل با خاک مخلوط وارد عمق خاک شدند. در روش خاک‌ورزی حداقل، زمین با استفاده از گاوآهن قلمی شخم زده شد، به‌طوری که حدود ۵۰ درصد بقای در سطح خاک باقی ماندند. در روش بدون خاک‌ورزی نیز کشت بدون شخم صورت گرفت. بعد از اعمال سطوح خاک‌ورزی عملیات کاشت تمام گیاهان به‌طور همزمان در هفته دوم آبان ماه با دست به‌صورت ردیفی انجام شد. کرت‌های فرعی آزمایش به مساحت شش مترمربع (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. در کشت خالص همه گیاهان فاصله خطوط از هم ۲۰ سانتی‌متر بود و در کرت‌های مربوط به کشت مخلوط افزایشی، بین خطوط گندم، لگوم‌ها کاشته شدند و فاصله خطوط کاشت ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل هم‌زمان با کاشت به‌صورت نواری استفاده گردید ولی از کودهای نیتروژن و پتاسیم استفاده نشد. آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاهان و شرایط اقلیمی متناسب با سیستم کشت رایج منطقه و به روش غرقابی انجام گرفت. در طول آزمایش از هیچ‌گونه علف‌کش و یا آفت‌کشی استفاده نشد.

جهت تعیین عملکرد کمّی و کیفی علوفه نمونه‌گیری از گیاهان لگوم (ماشک و شبدر) در مرحله گلدهی انجام شد. برای برداشت علوفه با در نظر گرفتن حاشیه سطحی معادل یک مترمربع برداشت شد. قابل ذکر است شبدر یک چین برداشت گردید. برداشت گندم پس از رسیدگی فیزیولوژیک در هفته چهارم خرداد ماه انجام گرفت. برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم سطحی معادل دو مترمربع با لحاظ اثر حاشیه، برداشت شد.

به‌منظور ارزیابی کیفیت علوفه گیاهان لگوم پس از خشک و خرد نمودن نمونه‌ها، فاکتورهای کیفیت علوفه نمونه‌های آسیاب شده شامل درصد فسفر، درصد کلسیم، درصد پروتئین، درصد خاکستر، درصد الیاف غیرقابل حل در شوینده خنثی و درصد الیاف غیرقابل حل در شوینده اسیدی با استفاده از دستگاه طیف سنج مادون قرمز نزدیک (NIR[4]) اندازه‌گیری شدند. تکنولوژی این دستگاه بر اساس جذب و انعکاس اشعه مادون‌قرمز در طول موج‌های بین ۲۵۰۰-۷۰۰ نانومتر استوار است. اندازه‌گیری مقدار فسفر دانه گندم مطابق روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید (۲۰). میزان نیتروژن دانه گندم بر اساس هضم، تقطیر و تیتراسیون توسط دستگاه کجلدال (۲۱) اندازه‌گیری شد. درصد پروتئین دانه و

[4]. Near Infrared Spectrometer

عملکرد پروتئین دانه گندم با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند (۲۲).

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

رابطه ۲: عملکرد پروتئین دانه گندم (کیلوگرم در هکتار) = عملکرد دانه × پروتئین دانه

جهت تعیین مقدار سودمندی الگوهای کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص گندم از شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER[5])، شاخص غالبیت (A[6]) و افت واقعی عملکرد (AYL[7]) مطابق روابط ذیل استفاده شد (۲۳ و ۲٤).

رابطه ۳:
$$LER = \frac{Y_{wl}}{Y_{ww}} + \frac{Y_{lw}}{Y_{ll}}$$

رابطه ٤:
$$A_{wheat} = \frac{Y_{wl}}{Y_{ww} \times Z_{wl}} - \frac{Y_{lw}}{Y_{ll} \times Z_{lw}} \qquad A_{legumes} = \frac{Y_{lw}}{Y_{ll} \times Z_{lw}} - \frac{Y_{wl}}{Y_{ww} \times Z_{wl}}$$

رابطه ۵:
$$AYL_{wheat} = \left(\left(\frac{Y_{wl}}{Z_{wl}}\right) / \left(\frac{Y_{ww}}{Z_{ww}}\right)\right) - 1 \qquad AYL_{legumes} = \left(\left(\frac{Y_{lw}}{Z_{lw}}\right) / \left(\frac{Y_{ll}}{Z_{ll}}\right)\right) - 1$$

$$AYL = AYL_{wheat} + AYL_{legumes}$$

در این روابط Y_{wl} و Y_{ll} به‌ترتیب عملکرد علوفه لگوم‌ها در کشت مخلوط و کشت خالص، Y_{ww} و Y_{wl} به‌ترتیب عملکرد زیستی گندم در کشت خالص و کشت مخلوط است. Z_{lw} نسبت مخلوط گیاه لگوم و Z_{wl} نسبت مخلوط گیاه گندم است.

قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون‌های اندرسون دارلینگ، کولموگراف- اسمیرنوف و شاپیرو- والک بررسی شدند. داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزاری آماری SAS ver. 9.4 آنالیز گردیدند. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و جهت ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار MS Excel 2010 استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن اثرات متقابل خاک‌ورزی و الگوی کاشت، برش‌دهی اثرات متقابل بر اساس خاک‌ورزی و مقایسه میانگین‌ها به روش Lsmeans صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم: عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم تحت اثرات خاک‌ورزی و الگوی کاشت به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد قرار گرفتند. همچنین اثرات متقابل (خاک‌ورزی× الگوی کاشت) بر عملکرد دانه گندم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲).

در سامانه بدون خاک‌ورزی عملکرد دانه گندم در کشت مخلوط افزایشی گندم+ شبدر و گندم+ ماشک در مقایسه با کشت خالص گندم به‌ترتیب ۲۹/۷ و ۱۹/٤ درصد کمتر بود. در سامانه خاک‌ورزی حداقل عملکرد دانه گندم در کشت مخلوط افزایشی گندم+ شبدر در مقایسه با کشت خالص گندم ٦/٦ درصد بیشتر بود؛ همچنین در سامانه خاک‌ورزی متداول عملکرد دانه گندم در کشت مخلوط افزایشی گندم+ شبدر و گندم+ ماشک در مقایسه با کشت خالص گندم به‌ترتیب ۱۳/٦ و ۱۷/۹ درصد کاهش یافت (شکل ۲).

[5]. Land Equivalent Ratio (LER)
[6]. Aggressivity (A)
[7]. Actual Yield Loss (AYL)

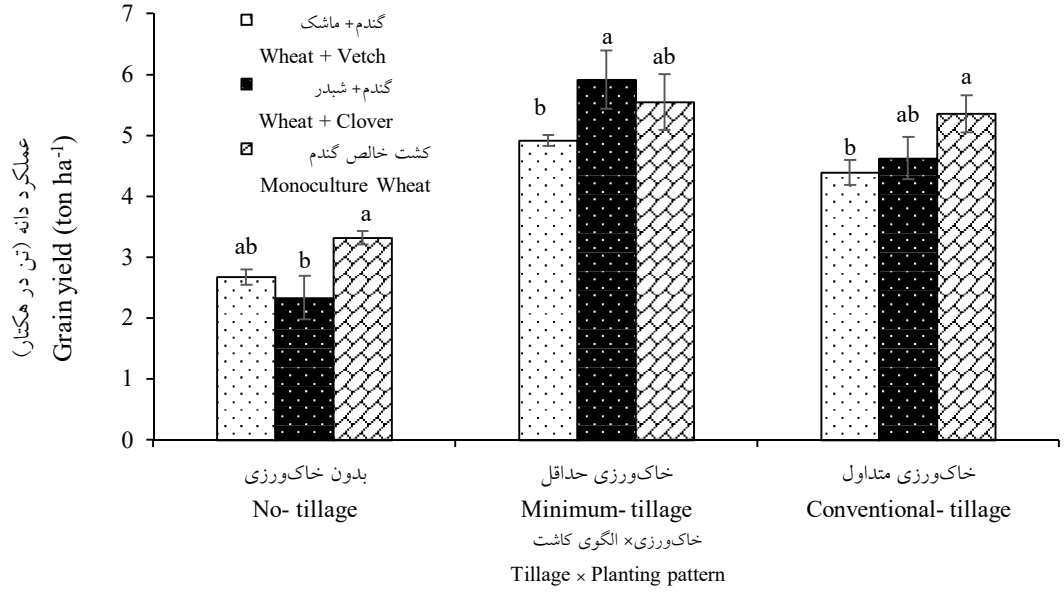
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات خاک‌وری و الگوی کاشت بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و غلظت عناصر و مقدار پروتئین گندم

Table 2- Analysis of variance (mean square) of the effects of tillage and planting pattern on grain yield, biological yield, elements concentration and protein content of wheat

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	نیتروژن N content	فسفر P content	پروتئین Protein content	عملکرد پروتئین Protein yield
بلوک Block	2	0.872^{ns}	11.408*	0.00211^{ns}	0.00017^{ns}	0.0695^{ns}	7611.1^{ns}
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	17.617**	100.009**	0.00457^{ns}	0.00050^{ns}	0.1469^{ns}	117096.7**
خطای اصلی Error a	4	0.203	0.947	0.00223	0.00088	0.0721	1406.2
الگوی کاشت Planting pattern (P)	2	1.265*	11.068*	0.04234**	0.00372**	1.3694**	2597.2^{ns}
خاک‌ورزی× الگوی کاشت (T) × (P)	4	0.780*	2.646^{ns}	0.00727^{ns}	0.00039^{ns}	0.2375^{ns}	2749.4^{ns}
خطای فرعی Error b	12	0.214	1.725	0.00352	0.00024	0.1138	2030.8
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		10.66	12.65	3.97	7.62	3.96	12.27

*، **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار

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



شکل ۲- تأثیر الگوی کاشت بر عملکرد دانه گندم تحت تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی

Figure 2- The effect of planting pattern on grain yield of wheat under the influence of different tillage systems

بیشترین عملکرد زیستی گندم (۱۲/۷۷ و ۱۱/۸۱ تن در هکتار) به‌ترتیب تحت سامانه خاک‌ورزی حداقل و خاک‌ورزی متداول مشاهده شد. عملکرد زیستی گندم در سامانه بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی متداول ۴۸/۵ درصد کمتر بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد زیستی گندم (۱۱/۵۹ تن در هکتار) در کشت

خالص گندم مشاهده شد. کشت مخلوط افزایشی گندم+ شبدر و گندم+ ماشک باعث کاهش عملکرد زیستی گندم به‌ترتیب به‌میزان ۱۲/٤ و ۱۸/۸ درصد در مقایسه با کشت خالص گندم شدند (جدول ۳).

جدول ۳- اثرات خاک‌ورزی و الگوی کاشت بر عملکرد زیستی و غلظت عناصر و مقدار پروتئین گندم

Table 3- The effects of tillage and planting pattern on biological yield, elements concentration and protein content of wheat

Tillage	خاک‌ورزی	عملکرد زیستی (تن در هکتار) Biological yield (ton ha^{-1})	فسفر (درصد) P (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	پروتئین (درصد) Protein (%)	عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار) Protein yield (kg ha^{-1})
No-tillage	بدون خاک‌ورزی	6.57^{b}± 0.670	0.21^{a}± 91.4	1.517^{a}± 0.034	8.64^{a}± 0.196	239.23^{c}± 14.70
Minimum- tillage	خاک‌ورزی حداقل	12.77^{a}± 0.641	0.21^{a}± 89.7	1.472^{a}± 0.024	8.39^{a}± 0.134	457.79^{a}± 20.55
Conventional- tillage	خاک‌ورزی متداول	11.81^{a}± 0.502	0.20^{a}± 74.8	1.489^{a}± 0.025	8.49^{a}± 0.141	405.14^{b}± 14.65
LSD (5%)		1.274	0.039	0.062	0.351	49.08
Planting patterns	الگوی کاشت					
Monoculture Wheat	کشت خالص گندم	11.59^{a}±1.009	0.18^{b}±60.0	1.413^{b}±0.026	8.06^{b}±0.107	380.88^{a}± 30.49
Wheat + Clover	گندم+ شبدر	10.15^{b}±1.352	0.22^{a}±65.6	1.531^{a}±0.017	8.73^{a}±0.097	372.98^{a}± 47.16
Wheat + Vetch	گندم+ ماشک	9.41^{b}±0.858	0.22^{a}±71.8	1.533^{a}±0019	8.74^{a}±0.147	348.31^{a}± 29.67
LSD (5%)		1.349	0.016	0.061	0.346	46.28

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

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to the Least Significant Difference (LSD) test (P<0.05). means± SE

خاک‌ورزی حداقل بیشترین عملکرد دانه و زیستی گندم را به خود اختصاص داد؛ علت برتری عملکرد گندم در سامانه خاک‌ورزی حداقل در مقایسه با سامانه بی‌خاک‌ورزی می‌تواند تهیه بستر مناسب بذر، وزن مخصوص ظاهری پایین، تخلخل بیشتر خاک (۲۵) و فراهم شدن شرایط مناسب برای رشد ریشه و افزایش جذب آب و مواد غذایی و همچنین تراکم کمتر علف‌های‌هرز در این سامانه باشد (۲٦) که منجر به افزایش عملکرد گندم شد. معمولاً روش‌های خاک‌ورزی و الگوهای کاشت با تغییر در شرایط فیزیکی بستر کاشت و خصوصیات خاک باعث تغییر در رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (۲). افزایش عملکرد دانه گندم در سامانه‌های خاک‌ورزی متداول در مقایسه با بدون خاک‌ورزی توسط خلیلی‌طرقبه و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش شده است (۱٦). این محققان گزارش کردند بیشترین عملکرد دانه گندم (۷/۱ تن در هکتار) و عملکرد زیستی (۱۵/۹ تن در هکتار) در سامانه خاک‌ورزی متداول با ۳۰ و ٦۰ درصد بقایای گیاهی مشاهده شد (۱٦). کاهش عملکرد گندم در کشت مخلوط افزایشی با ماشک در مقایسه با کشت خالص گندم به‌دلیل وجود رقابت بین‌گونه‌ای و کاهش دسترسی به آب و عناصر غذایی بوده است. این نتایج با نتایج درخشانی و همکاران (۲۰۲۱) در کشت مخلوط ماشک و جو مطابقت دارد؛ این محققان گزارش کردند در تراکم‌های بالا در کشت مخلوط به‌علت سایه‌اندازی و افزایش رقابت درون و برون‌گونه‌ای، دسترسی به منابع محیطی مختلف و نور برای هر گیاه کاهش می‌یابد و از این‌رو، عملکرد ماده خشک نیز کاهش پیدا می‌کند (۳). عاشوری و همکاران (۲۰۲۱) نیز بیشترین عملکرد علوفه را از الگوهای کشت مخلوط ۱۰۰ درصد شبدر+ ۱۰۰ درصد سورگوم گزارش کردند (۱٤). صدرا و

حمزه‌یی (۲۰۲۱) نیز بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی تریتیکاله را در کشت خالص و سامانه خاک‌ورزی متداول گزارش کردند. این محققان دلیل کاهش عملکرد تریتیکاله در کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک را افزایش رقابت بین گونه‌ای و محدودیت منابع در دسترس بیان کردند (۹).

غلظت نیتروژن و فسفر دانه گندم: با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها، غلظت نیتروژن و فسفر دانه گندم تحت تأثیر الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۲). بیشترین غلظت فسفر دانه گندم در الگوی کشت مخلوط افزایشی گندم+ ماشک به‌میزان ۰/۲۲ درصد حاصل گردید؛ که با الگوی کشت مخلوط افزایشی گندم+شبدر اختلاف معنی‌دار نداشت و در مقایسه با کشت خالص گندم ۲۱/۹ درصد بیشتر بود (جدول ۳). بالاترین غلظت نیتروژن دانه گندم در کشت مخلوط گندم+ ماشک و گندم+ شبدر معادل ۱/۵۳ درصد حاصل گردید؛ که نسبت به کشت خالص گندم ۸/۵ درصد بیشتر بود (جدول ۳).

در کشت مخلوط گندم با گیاهان لگوم‌ها، لگوم‌ها بیشتر نیتروژن مورد نیاز خود را از طریق تثبیت نیتروژن اتمسفری به‌دست می‌آورند؛ این امر باعث کاهش رقابت برای نیتروژن غیرآلی می‌شود. از طرفی دیگر در بیشتر مواقع لگوم‌ها قادرند مقداری از نیتروژن مازاد خود را به غلات منتقل کنند. این عوامل باعث افزایش جذب نیتروژن در کشت مخلوط توسط گندم شده است. مشابه چنین نتایجی توسط میکی و همکاران (۲۰۱۵) نیزگزارش شده است (۲۷).

بیشترین غلظت فسفر دانه گندم در الگوهای کشت مخلوط با لگوم‌ها حاصل گردید که می‌تواند به علت اختلافات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی بین دو گیاه گندم با لگوم‌ها (ماشک و شبدر) باشد. وقتی دو گیاه با خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی متفاوت (از جمله خصوصیات ریشه) به‌صورت مخلوط با یکدیگر کشت می‌شوند، قادر خواهند بود از عوامل محیطی (آب، مواد غذایی و نور) استفاده بهینه نمایند و به همین دلیل غلظت عناصر در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص گندم افزایش یافت. در کشت مخلوط ترشحات ریشه‌ای دو گیاه بر فراهمی و جذب عناصر غذایی اثر دارند (۲۸). فسفر یک عنصر غذایی غیرمتحرک در خاک است و تنها زمانی جذب می‌شود که ریشه‌های در حال رشد با مواد آلی و غیرآلی که حاوی شکل قابل جذب این عنصر هستند، تماس برقرار کنند. ریشه گیاهان در شرایط کمبود فسفر آنزیم‌هایی مثل فسفاتاز و فیتاز و کربوکسیلات‌ها را ترشح می‌کند که باعث افزایش حلالیت و تحرک فسفر در خاک می‌شود (۲۸). آینال و همکاران (۲۰۰۷) دلیل افزایش غلظت فسفر در اندام‌های هوایی ذرت و جو را کاهش اسیدیته ریزوسفر گیاه و افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز در خاک و ریشه این دو گیاه در کشت مخلوط بیان نمودند (۲۹). نتایج به‌دست آمده از تحقیقی دیگر نشان داد که در کشت مخلوط یولاف (*Avena sativa* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.)، جذب پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم در دانه یولاف در کشت خالص و کشت مخلوط با نسبت ۷۵ درصد یولاف، بیشترین مقدار بود (۳۰). افزایش جذب فسفر در کشت مخلوط ذرت با گندم و باقلا (۳۱) نیز گزارش شده است.

غلظت پروتئین و عملکرد پروتئین دانه گندم: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد پروتئین دانه گندم فقط تحت تأثیر الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت؛ اما عملکرد پروتئین فقط تحت تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی قرار داشت (جدول ۲). درصد پروتئین دانه گندم در کشت مخلوط گندم+ شبدر و گندم+ ماشک در مقایسه با کشت خالص گندم به‌ترتیب ۸/۳ و ۸/٤ درصد بیشتر بود (جدول ۳).

عملکرد پروتئین دانه گندم در سامانه خاک‌ورزی حداقل در مقایسه با خاک‌ورزی متداول ۱۳درصد بیشتر بود؛ اما در سامانه بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی متداول ۴۰/۹ درصد کمتر بود (جدول ۳).

از آن‌جایی که 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 نیزافزایش یافته است که با نتایج تامبورگ و همکاران (۲۰۱٤) مطابقت دارد (۳۲). در نتیجه کشت مخلوط گندم با لگوم‌ها می‌تواند باعث افزایش پروتئین دانه گندم و کیفیت محصول گردد.

عملکرد علوفه شبدر و ماشک: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد عملکرد زیستی شبدر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوی کاشت و خاک‌ورزی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ٤). اثر تیمارهای خاک‌ورزی، الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل (خاک‌ورزی× الگوی کاشت) بر عملکرد علوفه ماشک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

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

Table 4- Analysis of variance (mean square) of the effects of tillage and planting pattern on the quantitative and qualitative yield of clover

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	عملکرد علوفه Forage yield	کلسیم Ca	فسفر Pa	خاکستر Ash	الیاف غیرقابل حل در شوینده خنثی NDF	الیاف غیرقابل حل در شوینده اسیدی ADF	پروتئین Protein
بلوک Block	2	0.006^{ns}	0.00036^{ns}	0.00084^{ns}	0.700^{ns}	0.355^{ns}	2.360^{ns}	6.270^{s}
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	12.627**	0.00027^{ns}	0.01936*	0.760^{ns}	23.638^{ns}	14.695^{ns}	4.343^{ns}
خطای اصلی Error a	4	0.066	0.00262	0.00169	2.126	14.428	13.134	2.013
الگوی کاشت Planting pattern (P)	1	10.612**	0.00020^{ns}	0.00009^{ns}	3.790^{ns}	133.879*	49.236*	34.196*
خاک‌ورزی× الگوی کاشت (T) × (P)	2	0.303^{ns}	0.00002^{ns}	0.00009^{ns}	0.544^{ns}	0.476^{ns}	0.115^{ns}	3.587^{ns}
خطای فرعی Error b	6	0.094	0.00091	0.00144	1.377	17.527	7.198	3.464
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	8.923	7.28	10.67	10.96	9.69	10.95	10.20

*، **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار

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

عملکرد علوفه ماشک در الگوی کشت خالص در سامانه بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حداقل و خاک‌ورزی متداول در مقایسه با کشت مخلوط ماشک به‌ترتیب ٤۱/۳، ۷۳/٤ و ۵٤/۳ درصد بیشتر بود (شکل ۳).

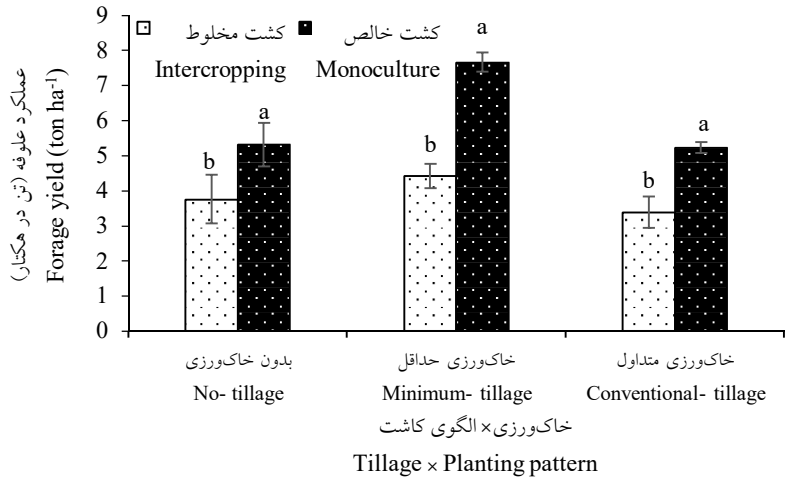
جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات خاک‌ورزی و الگوی کاشت مخلوط بر عملکرد کمی و کیفی ماشک

Table 5- Analysis of variance (mean square) of the effects of tillage and planting pattern on the quantitative and qualitative yield of vetch

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	عملکرد علوفه Forage yield	کلسیم Ca	فسفر Pa	خاکستر Ash	الیاف غیرقابل حل در شوینده خنثی NDF	الیاف غیرقابل حل در شوینده اسیدی ADF	پروتئین Protein
بلوک Block	2	1.248^{ns}	0.00015^{ns}	0.00027^{ns}	0.058^{ns}	3.927^{ns}	0.118^{ns}	0.093^{ns}
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	5.320**	0.00572*	0.00276**	14.274**	1.604^{ns}	0.086^{ns}	0.151^{ns}
خطای اصلی Error a	4	1.014	0.00057	0.00007	0.391	2.643	2.286	1.714
الگوی کاشت Planting pattern (P)	1	21.993**	0.00934**	0.00534*	6.396**	127.840**	27.851*	6.576*
خاک‌ورزی× الگوی کاشت (T) × (P)	2	1.230*	0.00007^{ns}	0.00016^{ns}	0.400^{ns}	4.839^{ns}	0.586^{ns}	2.128^{ns}
خطای فرعی Error b	6	0.199	0.00049	0.00045	0.279	2.759	3.266	0.608
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	8.99	6.91	7.33	5.34	3.91	7.31	4.47

*، **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار

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



شکل ۳- تأثیر الگوی کاشت بر عملکرد علوفه ماشک تحت تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی

Figure 3- The effect of planting pattern on forage yield of vetch under the influence of different tillage systems

در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی، بیشترین عملکرد علوفه شبدر (٤/٦٩ تن در هکتار) در خاک‌ورزی حداقل مشاهده شد؛ که نسبت به سامانه خاک‌ورزی متداول ٢٤/٧ درصد بیشتر بود. سامانه بدون خاک‌ورزی با ٥٠/٧ درصد کاهش عملکرد کمترین میزان علمکرد علوفه شبدر را به خود اختصاص داد (جدول ٦). عملکرد علوفه شبدر در کشت خالص در مقایسه با کشت مخلوط ٥٧/٨ درصد بیشتر بود؛ که با توجه به تراکم بالاتر شبدر در کشت خالص در این تیمار این نتیجه دور از انتظار نیست (جدول ٦).

جدول ٦- اثرات خاک‌ورزی و الگوی کاشت بر عملکرد، مقدار خاکستر، غلظت فسفر و کلسیم علوفه شبدر و ماشک

Table 6- The effects of tillage and planting pattern on forage yield, ash, phosphorus and calcium concentration of clover and vetch

خاک‌ورزی Tillage	شبدر Clover		ماشک Vetch		
	فسفر (درصد) Pa (%)	عملکرد علوفه (تن در هکتار) Forage yield (ton ha^{-1})	خاکستر (درصد) Ash (%)	کلسیم (درصد) Ca (%)	فسفر (درصد) Pa (%)
بدون خاک‌ورزی No-tillage	0.290^{b}±0.011	1.8462^{c}±0.27	23.730^{a}±0.25	0.287^{b}±0.011	0.265^{b}±0.007
خاک‌ورزی حداقل Minimum- tillage	0.390^{a}±0.017	4.6920^{a}±046	24.330^{a}±0.44	0.345^{a}±0.011	0.305^{a}±0.010
خاک‌ورزی متداول Conventional- tillage	0.387^{a}±0.014	3.7583^{b}±0.35	25.312^{a}±0.31	0.333^{a}±0.016	0.298^{a}±0.013
LSD (5%)	0.066	0.411	2.183	0.038	0.014
الگوی کاشت Planting patterns					
کشت مخلوط Intercropping	0.353^{a}±0.021	4.200^{a}±0.36	24.051^{a}±0.43	0.344^{a}±0.012	0.307^{a}±0.007
کشت خالص Monoculture	0.358^{a}±0019	2.6643^{b}±0.49	24.863^{a}±0.52	0.299^{b}±0.010	0.272^{b}±0.009
LSD (5%)	0.044	0.353	1.657	0.026	0.025

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

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test (P<0.05). means± SE

با توجه به تراکم بالاتر شبدر و ماشک در واحد سطح در کشت خالص، بیشتر بودن عملکرد علوفه آن‌ها در کشت خالص طبیعی به‌نظر می‌رسد. در کشت مخلوط ماشک و تریتیکاله نیز عملکرد علوفه ماشک همراه با کاهش تراکم آن در کشت مخلوط، کاهش یافته است (۹). قریب (۲۰۱۵) اعلام نمود 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 بین‌گونه‌ای 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 (۳۳). از طرفی هم پوشش مناسب سطح زمین توسط کانوپی مخلوط و در نتیجه عدم رشد علف‌های‌هرز از جمله عواملی هستند که می‌توانند در افزایش عملکرد بسیار مؤثر باشند (۳٤). در پژوهشی که توسط بانجارا و همکاران (۲۰۱۷) روی نخود صورت گرفت، مشاهده شد بیشترین میزان عملکرد دانه و اجزای عملکرد آن در سامانه شخم حداقل به‌دست آمد (۳۵).

غلظت فسفر و کلسیم علوفه شبدر و ماشک: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثر خاک‌ورزی بر درصد فسفر علوفه ماشک و شبدر معنی‌دار بود و اثر الگوی کاشت تنها بر درصد فسفر علوفه ماشک معنی‌دار بود (جدول‌های ٤ و ٥). همچنین اثر خاک‌ورزی و الگوی کاشت بر کلسیم علوفه ماشک معنی‌دار بود. هیچ‌کدام از تیمارهای مورد بررسی اثر معنی‌دار بر کلسیم علوفه شبدر نداشتند (جدول‌های ٤ و ٥). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در میان سطوح خاک‌ورزی، بیشترین درصد کلسیم علوفه ماشک (۰/۳٤٥) در سامانه خاک‌ورزی حداقل مشاهده شد که با خاک‌ورزی متداول اختلاف معنی‌دار

نداشت و با تغییر سامانه خاک‌ورزی از حداقل به بدون خاک‌ورزی، میزان کلسیم علوفه ماشک ۱۶/۸۱ درصد کاهش یافت (جدول ٦). در میان سطوح خاک‌ورزی، بیشترین درصد فسفر علوفه شبدر (۰/۳۹۰) و ماشک (۰/۳۰۵) در خاک‌ورزی حداقل به‌دست آمد؛ که نسبت به بدون خاک‌ورزی به‌ترتیب ۳٤/۵ و ۱۵/۱ درصد بیشتر بودند. 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 می‌باشد. در میان الگوهای کاشت، بیشترین درصد فسفر علوفه به کشت خالص ماشک به‌میزان ۰/۳۰۷ اختصاص یافت. میزان فسفر علوفه الگوی کشت مخلوط ماشک ۱۱/٤۰ درصد کاهش نشان داد (جدول ٦).

در سامانه بی‌خاک‌ورزی شرایط خاک برای رشد ریشه نامناسب بوده که سبب ایجاد محدودیت در جذب آب و عناصر غذایی می‌گردد (۳٦) و جذب کلسیم از خاک و در نتیجه درصد کلسیم علوفه نیز در این شرایط کاهش می‌یابد. در میان دو الگوی کشت خالص و مخلوط، بیشترین درصد کلسیم علوفه ماشک (۰/۳٤٤) به کشت خالص اختصاص یافت و الگوی کشت مخلوط ماشک ۱۳/۳۷درصد کاهش در میزان کلسیم علوفه داشت (جدول ٦). در کشت مخلوط رقابت برای جذب عناصر غذایی بیشتر می‌شود (۳٦). به‌نظر می‌رسد در کشت مخلوط گندم و گیاهان لگوم رقابت گیاهان در جذب کلسیم افزایش می‌یابد که منجر به کاهش کلسیم علوفه می‌شود.

خاکستر علوفه شبدر و ماشک: بر اساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تیمار خاک‌ورزی و الگوی کاشت بر خاکستر علوفه ماشک معنی‌دار بود (جدول‌های ٤ و ۵). در بین سطوح مختلف خاک‌ورزی، بالاترین درصد خاکستر علوفه ماشک (۱۰/۸۱) در خاک‌ورزی حداقل مشاهده شد؛ که با خاک‌ورزی متداول تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین درصد خاکستر علوفه در سامانه بدون خاک‌ورزی به‌دست آمد و با تغییر سامانه خاک‌ورزی از حداقل به بدون خاک‌ورزی، خاکستر علوفه ماشک به‌میزان ۲٤/۹۸ درصد کاهش یافت (جدول ٦). در سامانه بی‌خاک‌ورزی با افزایش فشردگی خاک و فراهم نبودن شرایط مناسب برای رشد ریشه، جذب مواد غذایی توسط گیاه کاهش یافته که در نهایت منجر به کاهش میزان خاکستر در شرایط بدون خاک‌ورزی می‌شد (جدول ٦).

کوبلنز و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند با دسترسی به عناصر غذایی، میزان خاکستر علوفه یولاف به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند (۳۷). درصد خاکستر بیانگر مقدار مواد معدنی موجود (کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم، روی و منگنز) در بافت‌های گیاهی است هر چه درصد خاکستر بیشتر باشد گیاه حاوی مواد معدنی بیشتری خواهد بود و لذا ارزش غذایی علوفه برای دام بیشتر می‌شود (۳۸). در یک تحقیق اثر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر کیفیت علوفه و دانه ذرت ارزیابی شد و نتایج این مطالعه نشان داد که سامانه‌های خاک‌ورزی دارای اثر معنی‌دار بر درصد خاکستر بودند و کمترین درصد خاکستر در تیمار بدون خاک‌ورزی مشاهده شد (۳۹). در آزمایشی بررسی کمّیت و کیفیت علوفه در چند کشتی ذرت با ماشک‌گل‌خوشه‌ای، شبدر، اسپرس (*Onobrychis sativa* L.) و خلر نشان داد که بیشترین میزان خاکستر در کشت خالص شبدر (۱۲۳/۵ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و سپس ماشک (۱۲۰/۱ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) حاصل گردید و کمترین میزان خاکستر در کشت خالص ذرت مشاهده شد (۸).

مقدار الیاف غیرقابل حل در شوینده خنثی (NDF) و الیاف غیرقابل حل در شوینده اسیدی (ADF)

علوفه شبدر و ماشک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که تنها اثر الگوی کاشت بر میزان NDF (الیاف غیرقابل حل در شوینده خنثی) و ADF (الیاف غیرقابل حل در شوینده اسیدی) علوفه شبدر و ماشک معنی‌دار بود (جدول‌های ٤ و ٥). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین NDF علوفه به الگوی کشت مخلوط شبدر (٤٥/٩٥) و ماشک (٤٥/١٦) تعلق گرفت و الگوی کشت خالص این گیاهان حدود ١١ درصد کاهش در میزان NDF علوفه نشان داد (جدول ٧). بیشترین ADF علوفه در الگوی کشت مخلوط شبدر (٢٦/١٦) و ماشک (٢٥/٩٨) مشاهده شد و میزان کاهش ADF علوفه در کشت خالص شبدر و ماشک به‌ترتیب ١٢/٦٥ و ٩/٦٢ درصد بود (جدول ٧).

جدول ٧- اثرات خاک‌ورزی و الگوی کاشت بر مقدار پروتئین، الیاف غیرقابل حل در شوینده اسیدی و خنثی علوفه شبدر و ماشک

Table 7- The effects of tillage and planting pattern on forage protein, NDF and ADF of clover and vetch

خاک‌ورزی Tillage	شبدر Clover			ماشک Vetch		
	الیاف غیرقابل حل در شوینده خنثی (درصد) NDF (%)	الیاف غیرقابل حل در شوینده اسیدی (درصد) ADF (%)	پروتئین (درصد) Protein (%)	الیاف غیرقابل حل در شوینده خنثی (درصد) NDF (%)	الیاف غیرقابل حل در شوینده اسیدی (درصد) ADF (%)	پروتئین (درصد) Protein (%)
بدون خاک‌ورزی No-tillage	45.13^{a}±1.32	25.91^{a}±0.74	19.06^{a}±1.09	42.97^{a}±1.80	24.71^{a}±1.02	17.49^{a}±0.49
خاک‌ورزی حداقل Minimum- tillage	41.17^{a}±2.12	22.82^{a}±0.96	18.34^{a}±0.96	42.60^{a}±1.18	24.85^{a}±0.74	17.56^{a}±0.57
خاک‌ورزی متداول Conventional- tillage	43.37^{a}±1.93	24.79^{a}±0.80	17.36^{a}±0.80	41.95^{a}±1.06	24.61^{a}±0.58	17.26^{a}±0.38
LSD (5%)	6.09	5.8092	2.27	2.6061	2.4237	2.10
الگوی کاشت Planting patterns						
کشت مخلوط Intercropping	40.497^{b}±1.49	22.854^{b}±0.71	19.629^{a}±0.71	39.839^{b}±0.66	23.479^{b}±0.33	18.039^{a}±0.25
کشت خالص Monoculture	45.951^{a}±0.85	26.162^{a}±0.54	16.872^{b}±0.54	45.169^{a}±0.48	25.967^{a}±0.48	16.830^{b}±0.39
LSD (5%)	4.829	3.095	2.147	1.916	2.085	0.899

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

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to the Least Significant Difference (LSD) test (P<0.05). means± SE

الیاف غیرقابل حل در شوینده‌های خنثی (NDF) و اسیدی (ADF) جزء مهمترین ترکیبات شیمیایی علوفه می‌باشند که تعیین مقدار آن‌ها در علوفه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. NDF و ADF به‌عنوان شاخصی برای بیان میزان دیواره سلولی گیاه شناخته شده و عاملی تأثیرگذار بر کیفیت و خوش‌خوراکی علوفه می‌باشند (٤٠). بررسی‌ها نشان داد وقتی درصد NDFافزایش می‌یابد، مصرف ماده خشک به‌دلیل افزایش میزان سیرکنندگی علوفه کاهش می‌یابد، پس به این دلیل درصد پایین NDF در علوفه مطلوب است (٤٠). احتمالاً در کشت مخلوط گندم+ شبدر و گندم+ ماشک چون ارتفاع بوته‌های لگوم بیشتر است و درصد ساقه بیشتری نسبت به کشت خالص تولید می‌کنند، میزان NDF در حالت کشت

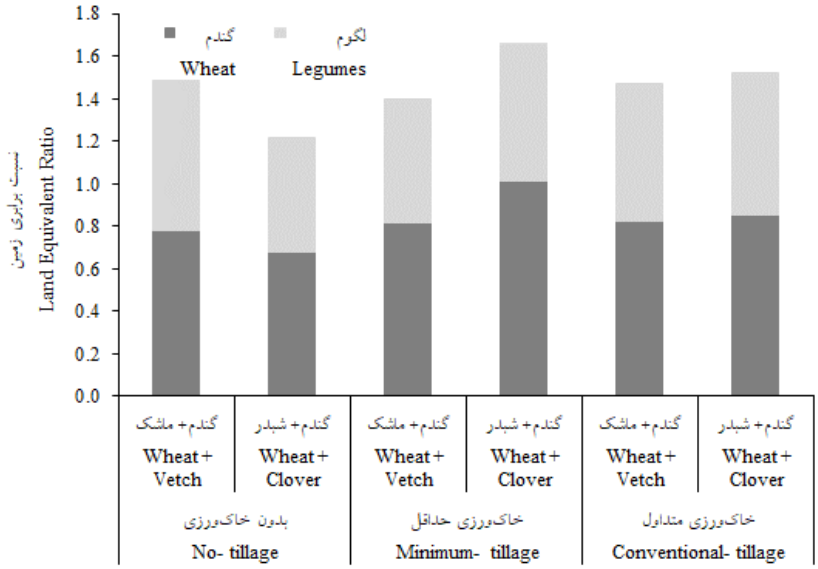
مخلوط در مقایسه با کشت خالص لگوم‌ها بیشتر است. در ارزیابی کمّی و کیفی کشت مخلوط ماشک و جو، بیشترین درصد NDF ماشک از تیمار کشت مخلوط ۲۵ درصد ماشک+ ۷۵ درصد جو+ ازتوبارور+ سوپرجاذب با ۵۱/٤ درصد و کمترین درصد NDF ماشک از تیمار کشت خالص ماشک+ ازتوبارور به‌میزان ٤۷/۸ درصد حاصل شد؛ که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (٤۱). محققان در تک‌کشتی خلر و جو کمترین و بیشترین درصد NDF را گزارش کردند، چون لگوم‌ها نسبت به غلات از میزان مواد سلولزی و همی‌سلولزی کمتری برخوردار بوده و با اضافه شدن جو به **الگوی** کشت، درصد NDF افزایش یافت (٤۲). دانش‌نیا و همکاران (۲۰۱٦) نتیجه گرفتند که میزان NDF و ADF در کشت مخلوط به‌دلیل رقابت برون‌گونه‌ای و به تبع آن کاهش نسبت ساقه به برگ کاهش می‌یابند (٤۳). کیفیت علوفه با این دو شاخص نسبت معکوس دارد؛ و با توجه به پایین‌تر بودن NDF و ADF علوفه شبدر و ماشک 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 می‌یابد. ADF از لیگنین و سلولز تشکیل شده و همانند NDF از قابلیت هضم پایینی برخوردار می‌باشد (٤۰). افزایش ADF را می‌توان به کاهش نسبت برگ به ساقه و لیگنینی شدن ساقه‌ها نسبت داد. پایین بودن 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 (۸). عاشوری و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی ویژگی‌های کمّی 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 گردید (۱٤).

مقدار پروتئین علوفه شبدر و ماشک: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوی کاشت بر پروتئین علوفه شبدر و ماشک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول‌های ٤ و ۵). در کشت مخلوط پروتئین علوفه شبدر و ماشک به‌ترتیب ۱٤/۰٦و ٦/۷۱ درصد کمتر از کشت خالص این گیاهان بود (جدول ۷). علوفه‌ای که دارای محتوای بالای پروتئین باشد از نظر کیفیت و ارزش غذایی برای دام مناسب‌تر است (٤٤). 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 (٤۵).

میزان خوش‌خوراکی علوفه تولیدی رابطه مستقیمی با درصد پروتئین دارد، میزان پروتئین خام یکی از مهمترین خصوصیات کیفی گیاهان علوفه‌ای است و در بیشتر تحقیقات به‌منظور ارزیابی کیفیت علوفه در زمان برداشت استفاده می‌شود (٤٦). محققان در کشت مخلوط ماشک و جو، بیشترین درصد پروتئین خام را معادل ۲۱/٦۸ درصد از کشت خالص ماشک گل‌خوشه‌ای گزارش کردند (٤۷). بررسی‌های دیگر نشان داد که بیشترین و کمترین پروتئین خام علوفه به‌ترتیب ۲۷/۸٤ و ٤/۸۰ درصد از کشت خالص ماشک و جو مشاهده گردید (٤۸). رشیدزاده و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردن پروتئین دانه نخود تحت تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی قرار نگرفت (٤۹).

نسبت برابری زمین: مقدار نسبت برابری زمین در همه الگوهای کشت مخلوط گندم با لگوم‌ها تحت شرایط مختلف خاک‌ورزی بیشتر از یک بود. تحت شرایط بدون خاک‌ورزی الگوی کشت مخلوط گندم+ ماشک بالاترین نسبت برابری زمین (۱/٤۹) را دارا بود که سهم گندم و ماشک به‌ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۷۱ بود. تحت

شرایط خاک‌ورزی حداقل کشت مخلوط گندم+ شبدر با ۱/٦٦ بیشترین نسبت برابری زمین را به خود اختصاص داد. این بدان معنی است که ٦٦ درصد سطح زیرکشت بیشتری در کشت خالص نیاز است تا عملکردی برابر کشت مخلوط حاصل شود این مسئله بیانگر کارایی بیشتر استفاده از زمین در سیستم کشت مخلوط است (شکل ٤). در سیستم خاک‌ورزی متداول نسبت برابری زمین روند مشابهی به شرایط خاک‌ورزی حداقل داشت و بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۵۲) الگوی کشت مخلوط گندم+ شبدر مشاهده شد (شکل ٤). بنابراین کشت مخلوط بر تک‌کشتی ارجحیت دارد و لگوم‌ها بررسی شده از پتانسیل مناسبی به‌منظور تولید علوفه در کشت مخلوط با گندم برخوردار می‌باشند.



شکل ٤- نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط گندم با ماشک و شبدر تحت سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی

Figure 4- Land equivalent ratio in different patterns of intercropping of vetch and clover under different tillage systems

افزایش نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ماشک و تریتیکاله (۹) و باقلا و جو (۵۰) نیز گزارش شده است. سلما و همکاران (۲۰۱٦) در ارزیابی کشت مخلوط لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و جو گزارش دادند که نسبت برابری زمین در الگوهای کشت مخلوط افزایشی بیشتر از یک بود و بیانگر سودمندی کشت مخلوط این دو گیاه بود (۵۱). لوپز- بلیدو و همکاران (۲۰۲٤) در کشت مخلوط ردیفی دو ردیف گندم+ یک ردیف باقلا در سامانه‌های خاک‌ورزی حداقل و بدون خاک‌ورزی نسبت برابری زمین بیشتر از یک و استفاده کارآمدتر از زمین در کشت مخلوط گندم و باقلا گزارش کردند (۵۲).

شاخص غالبیت: نتایج بررسی شاخص غالبیت نشان داد که در همه الگوهای کشت مخلوط تحت سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی گیاه گندم نسبت به ماشک و شبدر دارای غالبیت بالاتر و توانایی رقابتی بیشتری بود (جدول ۸). غالبیت گندم در کشت مخلوط نشان دهنده توانایی بالاتر آن در بهره‌برداری از منابع در ارتباط با لگوم‌ها بوده، که در تحقیقات سایر محققین نیز در مورد غالبیت غلات در کشت مخلوط با بقولات نیز گزارش شده است (۹). نتایج مشابه مبنی بر غالبیت گندمیان در کشت مخلوط با بقولات گزارش شده است (۵۳).

افت واقعی عملکرد: محاسبه افت واقعی عملکرد در سامانه بدون خاک‌ورزی نشان داد که عملکرد گندم در الگوهای کشت مخلوط گندم+ شبدر و گندم+ ماشک به‌ترتیب ۳۲ و ۲۲ درصد افت داشت، اما عملکرد شبدر و ماشک در کشت مخلوط افت واقعی نداشتند. در شرایط خاک‌ورزی حداقل عملکرد گندم در الگوی کشت مخلوط گندم+ شبدر افت واقعی نداشت؛ اما در کشت مخلوط با ماشک ۱۸ درصد کاهش نشان داد. در سامانه خاک‌ورزی متداول افت عملکرد گندم در الگوهای کشت مخلوط گندم+ شبدر و گندم+ ماشک به‌ترتیب ۱٤ و ۱۷ درصد بود (جدول ۸).

برآورد شاخص افت واقعی عملکرد علاوه بر بررسی رقابت بین‌گونه‌ای، با در نظر گرفتن عملکرد هر گیاه، وضع هر یک از اجرای مخلوط را با جزئیات دقیق‌تری بیان می‌کند. این شاخص با علامت مثبت بیانگر سودمندی مخلوط به تک‌کشتی بر پایه عملکرد هر گیاه است (۵۳). لامعی هروانی و علیزاده دیزج (۲۰۱۳) با بررسی کشت مخلوط خلر با جو و تریتیکاله گزارش کرد که در همه الگوهای کشت مخلوط مقادیر کاهش واقعی عملکرد گیاهان جو و تریتیکاله مثبت بود که نشان دهنده آن است که محصول واقعی این گیاهان در کشت مخلوط بیش از محصول پیش‌بینی شده بود، زیرا از عوامل محیطی مؤثر در رشد، استفاده بیشتری کرده‌اند (٥٤).

جدول ۸- ضریب غالبیت و افت واقعی عملکرد در الگوهای مختلف کشت مخلوط گندم با ماشک و شبدر تحت سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی

Table 8- Aggressivity (A) and actual yield loss (AYL) in intercropping patterns of wheat with vetch and clover under different tillage systems

تیمارها Treatments		ضریب غالبیت Aggressivity (A)		افت واقعی عملکرد Actual yield loss (AYL)		
خاک‌ورزی Tillage	الگوی کاشت Planting patterns	گندم Wheat	لگوم Legumes	AYL_{wheat}	$AYL_{legumes}$	AYL_{total}
بدون خاک‌ورزی No-tillage	گندم+ شبدر Wheat + Clover	-0.398	0.398	-0.322	0.076	-0.246
	گندم+ ماشک Wheat + Vetch	-0.638	0.638	-0.222	0.415	0.193
خاک‌ورزی حداقل Minimum- tillage	گندم+ شبدر Wheat + Clover	-0.282	0.282	0.014	0.296	0.310
	گندم+ ماشک Wheat + Vetch	-0.335	0.335	-0.182	0.153	-0.029
خاک‌ورزی متداول Conventional- tillage	گندم+ شبدر Wheat + Clover	-0.482	0.482	-0.145	0.337	0.192
	گندم+ ماشک Wheat + Vetch	-0.470	0.470	-0.174	0.296	0.122

نتیجه‌گیری کلی

بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم در الگوی کشت مخلوط افزایشی گندم+ شبدر تحت سامانه خاک‌ورزی حداقل حاصل گردید. نسبت برابری زمین در الگوهای کشت مخلوط گندم با لگوم‌ها تحت شرایط خاک‌ورزی مختلف بیشتر از یک بود که این امر بیانگر مزیت الگوهای کشت مخلوط برای استفاده از زمین و افزایش عملکرد است. بیشترین عملکرد علوفه خشک گیاهان لگوم شبدر و ماشک در خاک‌ورزی حداقل به‌دست آمد و کشت خالص

لگوم‌ها به‌دلیل کاهش سهم رقابت بین‌گونه‌ای و همچنین به‌دلیل تراکم بالاتر گیاهان لگوم در تک‌کشتی، عملکرد بالاتری را در مقایسه با ترکیب‌های کشت مخلوط به خود اختصاص دادند. الگوهای کشت مخلوط سبب افزایش غلظت نیتروژن و فسفر دانه گندم شدند. از آن‌جایی که غلظت پروتئین با میزان نیتروژن گیاه ارتباط مستقیم دارد، افزایش جذب نیتروژن گندم در کشت مخلوط با گیاهان لگوم سبب افزایش کیفیت دانه و درصد پروتئین دانه گندم شد به طوری که بالاترین مقدار آن از کشت مخلوط گندم با بقولات حاصل گردید.

کشت خالص گیاهان لگوم در مقایسه با کشت مخلوط، از طریق افزایش غلظت عناصر مانند فسفر و کلسیم، پروتئین، درصد خاکستر و کاهش NDF و ADFکیفیت علوفه را بهبود بخشید. سامانه بدون خاک‌ورزی باعث کاهش کیفیت علوفه گیاهان لگوم ماشک و شبدر شد. در نهایت با بررسی کلیه جوانب تحقیق می‌توان الگوی کشت مخلوط گندم+ بقولات 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 قابل‌توجهی تولید گردد. بنابراین نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند جهت تصمیم‌سازی و بهبود کارایی سامانه کشت مورد توجه قرار گیرد.

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 می‌گردد.

References

1. Sharifiziveh, P., Tobeh, A., Gholipouri, A., Alebrahim, M. T., & Samedani, B. (2023). The effect of cover crops, tillage and herbicide on weed control, soil properties, yield and yield components of corn (*Zea mays* L). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *33*(1), 53-67. [In Persian]
2. Daneshkhah, A., Ghasemi Nejad Raeini, M., Asoodar, M. A., Marzban, A., & Heidari, M. (2021). Effect of minimum tillage, conventional tillage and plasticulture pattern on strawberry yield and water use efficiency in north east of Ahvaz. *Agricultural Engineering*, *44*(3), 343-357. [In Persian]
3. Derakhshani, A., Heidari, G., & Khalesro, S. (2021). Evaluation of bitter vetch (*Vicia ervilia*) forage quality in intercropping with spring barley (*Hordeum vulgare*). *Journal of Agroecology*, *13*(3), 489-505. [In Persian]
4. Gunjan Guleria, G. G., & Naveen Kumar, N. K. (2016). Sowing methods and varying seed rates of cowpea on production potential of sorghum, sudan grass hybrid and cowpea: a review. *Agriculture Reviews*, *37*, 290-299.
5. Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., & Maggi, F. (2018). Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production*, *171*, 529-537.
6. Ahmad, S., Khan, P. A., Verma, D. K., Mir, N. H., Sharma, A., & Wani, S. A. (2018). Forage production and orchard floor management through grass/legume intercropping in apple based agroforestry systems. *International Journal of Chemical Studies*, *6*(1), 953-958.
7. Bakhtiyari, F., Zamanian, M., & Golzardi, F. (2020). Effect of mixed intercropping of clover on forage yield and quality. *South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment*, *11*(1), 49-65.

8. 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]
9. Sadra, T., & Hamzei, J. (2021). Evaluation of the efficiency of triticale (*Triticosecale* Wittmack.) intercropping with winter vetch (*Vicia villosa* L.) by competitive indices under different tillage systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(3), 1-18.[In Persian]
10. Zhu, Y. A., He, J., Yu, Z., Zhou, D., Li, H., Wu, X., & Xiao, J. (2022). Wheat and faba bean intercropping together with nitrogen modulation is a good option for balancing the trade-off relationship between grain yield and quality in the southwest of China. *Agronomy*, *12*(12), 2984.
11. Salehi, Z., Amirnia, R., Rezaeichiyaneh, E., & Khalilvandi Behrozyar, H. (2019). Evaluation of yield and some qualitative traits of forage in intercropping of triticale with annual legumes. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *28*(4), 59- 76. [In Persian]
12. Haghaninia, M., Javanmard, A., Nouraein, M., & Mollaaliabasiyan, S. (2020). Effect of arbuscular mycorrhiza fungus on forage quality in intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) and grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, *9*(4), 47-64. [In Persian]
13. Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M. B., & Hashemi, M. (2013). Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *148*, 43-48. [In Persian]
14. Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajali, J., & Nabi Elkaee, M. (2021). Quantitative and qualitative characteristics of forage in the sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) and berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.) intercropping systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(2), 1-15. [In Persian]
15. Karami, A. (2020). Effect of different tillage methods on some soil physical properties. *Applied Field Crops Research*, *33*(1), 61-81. [In Persian]
16. Khalili Torghabeh, A., Koocheki, A., Zare Feyz Abadi, A., & Nassiri Mahallati, M. (2022). Effect of different tillage methods and management of plant residues on agronomy traits of wheat and organic carbon and nitrogen of Soil in a three-years crop rotation. *Journal of Agroecology*, *14*(2), 205-217. [In Persian]
17. Najafian, G., Dehnavi, B., Kabirian, H. R., Badri, A. R., Kia, S., & Tabatabaei, N. (2017). Baharan, new bread wheat cultivar, tolerant to terminal drought with good bread making quality, recommended for irrigated conditions of temperate regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *6*(1), 1-11. [In Persian]
18. Fakhrevaezi, A., AlizadehDizaj, K., Hosni, M. H., Mahdieh, M., Ahakpaz, F., & Meidani, J. A. (2010). Maragheh, a new dryland forage vetch cultivar for cold and moderate cold areas of Iran. *Seed and Plant Journal*, *26*(4), 565-567.
19. Zamanian, M., Shahverdi, M., Nasrollahi, M., Khodadadi, H., Talebnejad, A. R., Yaghmuri, S., & Emrahimi, D. (2022). Pars, new cultivar of Persian clover, suitable for cold and tempered regions. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *11*(1), 39-50. [In Persian]
20. Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982). Phosphorus in page, A. L., Miller, R. H. & Keeny, D. R. (Eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, U.S.A. 403-430p.
21. Waling, I., Vark, W. V., Houba, V. J. G., & Vanderlee, J. J. (1989). Soil and plant analysis,a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures, Wageningen Agriculture University, the Netherland. 263p.
22. Fowler, D. B., Brydon, J., Darroch, B. A., Entz, M. H., & Johnston, A. M. (1990). Environment and genotype influence on grain protein concentration of wheat and rye. *Agronomy Journal*, *82*(4), 655-664.

23. Dhima, K. V., Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B. & Dordas, C. A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, *100*(2-3), 249-256.
24. Willey, R.W. (1979). Intercropping-its importance and research needs. Part1. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstracts*, *32*, 1-10.
25. Osunbitan, J. A., Oyedele, D. J., & Adekalu, K. O. (2005). Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, *82*(1), 57-64.
26. Amini, E., Taab, A., & Radicetti, E. (2022). Effect of winter wheat intercropped with vetch and clover on weed population under different soil tillage systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(2), 197-214. [In Persian]
27. Mikic, A., Cupina, B., Rubiales, D., Mihailovic, V., Sarunaite, L., Fustec, J., Antanasovic, S., Krstic, D., Bedoussac, L., Zoric, L., Dordevic, V., Peric, V., & Srebric, M. (2015). Models, developments, and perspectives of mutual legume intercropping. *Advances in Agronomy*, *130*, 337- 419.
28. Najafi, N., & Mostafaei, M. (2015). Improvement of corn plant nutrition by farmyard manure application and intercropping with bean and bitter vetch in a calcareous soil. *Journal of Soil Management and Sustainable*, *5*(1), 1-22. [In Persian]
29. Inal, A., Gunes, A., Zhang, F., & Cakmak, I. (2007). Peanut maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. *Plant Physiology Biochemistry*, *20*, 1-7.
30. Reinhard, W., Neugschwandtner, R., & Kaul, P. H. (2016). Concentrations and uptake of macronutrients by oat and pea in intercrops in response to N fertilization and sowing ratio. *Journal Archives of Agronomy and Soil Science*, *62*(9), 1236-1249.
31. Zhang, Y., Chen, F., Li, L., Chen, Y., Lue, B., Zhou, Y., Yuan, L., Zhang, F., & Mi Guo, (2012). The role of maize root size in phosphorus uptake productivity of maize/ faba bean and maize/ wheat intercropping system. *Science China Life Sciences*, *55*, 993- 1001.
32. 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.
33. Gebru, H. (2015). A review on the comparative advantage of intercropping systems. *International Knowledge sharing Platform*, *5*(7), 1-14.
34. 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]
35. Banjara, T. R., Pali, G. P., Tigga, B. K., Kumar, S., & Shori, A. (2017). Effect of different tillage practices on growth, yield and economics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed condition of Chhattisgarh. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*(2), 1464-1470.
36. 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*(1-2), 50-61.
37. Coblentz, W. K., Akins, M. S., Cavadini, J. S., & Jokela. W. E. (2017). Net effects of nitrogen fertilization on the nutritive value and digestibility of oat forages. *Journal of Dairy Science*, *100*, 1739–1750.
38. 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.
39. Ghasemi, A., Ghanbari, A., Fakheri, B., & Fanaie, H. (2018). Effect of different tillage management on maize forage and grain quality and quantity under the influence of different sources of organic and chemical fertilizers. *Journal of Agroecoloygy*, *10*(2), 490-503. [In Persian]

40. 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- 8.
41. 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]
42. 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]
43. Daneshnia, F., Amini, A., & Chaichi, M. R. (2016). Berseem clover quality and basil essential oil yield in intercropping system under limited irrigation treatments with surfactant. *Agricultural Water Management*, *164*, 331–339.
44. Baghdadi, A., Balazadeh, M., Kashani, A., Golzardi, F., Gholamhoseini, M., & Mehrnia, M. (2017). Effect of presowing and nitrogen application on forage quality of silage corn. *Agronomy Research*, *15*(1), 11-23.
45. 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.
46. Yolcu, H., Polat, M., & Aksakal, V. (2009). Morphologic, yield and quality parameters of same annual forages as sole crops and intercropping mixtures in dry conditions for livestock. *Journal of Food Agriculture and Environment*, *7*, 594-599.
47. 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]
48. 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. *MOJ Food Processing and Technology*, *8*(2), 56- 65.
49. Rashidzadeh, A., Mohammadi, G., & Pezeshkpour, P. (2023). The effect of different tillage systems on yield-related traits and seed quality of autumn-seeded chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *33*(3), 121-135.[In Persian]
50. Dordas, C. A., Lithourgidis, A. S. & Galanopoulou, K. (2019). Intercropping of faba bean with barley at various spatial arrangements affects dry matter and N yield, nitrogen nutrition index, and interspecific competition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *47*(4), 1116-1127.
51. Salama, H., El-Karamity, D. E. S., & Nawar, A. L. (2016). Additive intercropping of wheat, barley, and faba bean with sugar beet: impact on yield, quality and land use efficiency. *Egypt Journal Agronomy*, *38*(3), 413-430.
52. Lopez-Bellido, R. J., Munoz-Romero, V., Fernandez-Garcia, P., & Lopez-Bellido, L. (2024). Response of wheat and faba bean to intercropping and tillage system on a mediterranean rainfed vertisol. *Agricultural Research*, 1-10.
53. Yilmaz, S., Atak, M. & Erayman, M. (2008). Identification of advantages of maize–legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the east Mediterranean region. *Turkish Journal of Agriculture*, *32*, 111-119.
54. Lamei, J., & Alizadeh, K. (2012). The selection of most suitable combination in mixed cropping of hairy vetch with barley or triticale under Zanjan rainfied conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal, 1*(1), 17-39.[In Persian]