

Evaluation of Yield and Forage Quality in Intercropping of Millet (*Panicum miliaceum* L) with Bean (*Phaseolus vulgaris* L) and Vetch (*Vicia villosa* L) under Application of Magnetic Water

Behnam Omrani^{1*} , Adel Dabbagh Mohammadi Nassab², Mohammad Reza Shakiba², Rouhollah Amini²

Received: August 31, 2024

Accepted: February 12, 2025

1-Member of the Faculty of Agriculture, University of Payame noor, Tehran, Tehran, Iran.

2-Prof., Dept. of Plant Eco. Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author: E-mail: b_omrani@pnu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: One way to sustainably increase forage production is to use intercropping patterns of forage crops, which can help maintain biodiversity and resource efficiency. Forage quality also indicates the nutritional value and amount of energy available to livestock, or rather, it indicates the amount of nutrients that the animal obtains from the forage in the shortest possible time. The present research was carried out in order to evaluate the forage yield and quality of millet, bean and vetch in intercropping and application of magnetic water.

Materials and Methods: The experiment was conducted in the years of 2019 and 2020 in the research farm of the Faculty of Agriculture, University of Tabriz. Experimental design was factorial based on randomized complete blocks with three replications. The first factor included two types of irrigation (normal water and magnetic water with an intensity of 430 mtesla) and the sub-factor included seven cropping systems (intercropping of millet and beans with a ratio of 2:1 (two rows of millet and one row of beans), and 4:1 (four rows of millet and one row of beans), intercropping of millet and vetch with a ratio of 2:1 (two rows of millet and one row of vetch) and intercropping 4:1 (four rows of millet and one row of vetch)). The traits studied included ash content, crude protein, NDF, forage yield, and the LER index was calculated to evaluate intercropping advantage.

Results: The results showed that the highest NDF (47%) was obtained in pure millet cultivation and the highest ash (5.2%) and crude protein (15.8%) were obtained in the intercropping of millet-bean (ratio 4:1) and millet-vetch (ratio 4:1) using magnetized water. The application of magnetized water increased the crude protein by 22% and the forage quality by 18% on average compared to conventional irrigation. Magnetic irrigation and cropping system had significant effects on the characteristics ($p < 0.01$). The intercropping of millet-bean (ratio 2:1) and millet- vetch (ratio 4:1) showed a 25% and 30% increase in protein and yield, respectively, compared to the mono cropping.

Conclusion: The application of magnetized water improved the forage quality and increased the protein content. All intercropping systems showed advantage compare to mono cropping on LER.

Keywords: Ash, Beans, Protein, Fodder Vetch, Intercropping, Mono Cropping, Magnetic Water, Millet

ارزیابی عملکرد و کیفیت علوفه در کشت مخلوط ارزن (*Panicum miliaceum* L.) با لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و ماشک گل خوشه ای (*Vicia villosa* L.) تحت کاربرد آب مغناطیسی

بهنام عمرانی^{۱*}، عادل دباغ محمدی نسب^۲، محمد رضا شکیبای^۲، روح اله امینی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴
--------------------------	-------------------------

۱-عضو هیئت علمی گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲-استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
* مسئول مکاتبه: Email: b_omrani@pnu.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: یکی از راه‌های افزایش پایدار تولید علوفه، استفاده از الگوهای کشت مخلوط گیاهان زراعی علوفه ای است که می‌تواند به حفظ تنوع زیستی و کارایی منابع کمک کند. کیفیت علوفه نیز بیانگر ارزش غذایی و مقدار انرژی است که در دسترس دام قرار می‌گیرد به عبارت بهتر، نشانگر مقدار مواد مغذی است که حیوان در کوتاه‌ترین مدت ممکن از علوفه به دست می‌آورد. در این راستا تحقیق حاضر به منظور ارزیابی عملکرد و کیفیت علوفه ارزن، لوبیا و ماشک گل خوشه‌ای در کشت مخلوط و خالص سه گونه زراعی و کاربرد آب مغناطیسی اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز اجرا شد. دو نوع آبیاری (معمولی و مغناطیسی با شدت ۴۳۰ میلی‌تسلا) و هفت سیستم کشت شامل کشت‌های خالص ارزن، خالص لوبیا، خالص ماشک گل خوشه‌ای و چهار سطح کشت مخلوط (مخلوط ارزن و لوبیا با نسبت ۲:۱ (دو ردیف ارزن و یک ردیف لوبیا) مخلوط ارزن و لوبیا با نسبت ۴:۱ (چهار ردیف ارزن و یک ردیف لوبیا) مخلوط ارزن و ماشک گل خوشه‌ای با نسبت ۲:۱ (دو ردیف ارزن و یک ردیف ماشک گل خوشه‌ای) و مخلوط ارزن و ماشک گل خوشه‌ای با نسبت ۴:۱ (چهار ردیف ارزن و یک ردیف ماشک گل خوشه‌ای) به عنوان تیمارهای آزمایش بود. صفات مورد بررسی شامل میزان خاکستر، پروتئین خام، NDF، عملکرد علوفه خشک بود و شاخص LER برای ارزیابی کشت مخلوط محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بیشترین میزان NDF (۴۷٪) در کشت خالص ارزن و بالاترین مقادیر خاکستر (۵/۲٪) و پروتئین خام (۱۵/۸٪) در کشت مخلوط ارزن-لوبیا (نسبت ۴:۱) و ارزن-ماشک گل خوشه‌ای (نسبت ۴:۱) با کاربرد آب مغناطیسی حاصل شد. کاربرد آب مغناطیسی به‌طور متوسط باعث افزایش ۲۲ درصدی پروتئین خام و ۱۸ درصدی کیفیت علوفه در مقایسه با آبیاری معمولی شد. آبیاری مغناطیسی و نوع کشت اثرات معنی‌داری بر ویژگی‌ها داشتند ($p < 0/01$). کشت مخلوط ارزن-لوبیا (نسبت ۲:۱) و ارزن-ماشک گل خوشه‌ای (نسبت ۴:۱) نسبت به کشت خالص، به‌ترتیب ۲۵٪ و ۳۰٪ افزایش در میزان پروتئین و عملکرد علوفه را نشان دادند.

نتیجه‌گیری: کاربرد آب مغناطیسی باعث بهبود کیفیت و افزایش پروتئین علوفه شد. تمامی کشت‌های مخلوط نسبت به کشت‌های خالص بر اساس شاخص LER از مزیت زراعی و عملکردی برخوردار بودند.

واژه های کلیدی: آب مغناطیسی، ارزن، پروتئین، خاکستر، کشت مخلوط، کشت خالص، لوبیا، ماشک گل خوشه ای

مقدمه

یکی از راه‌های افزایش پایدار تولید علوفه، استفاده از الگوهای کشت مخلوط گیاهان زراعی و مرتعی است

که می‌تواند به حفظ تنوع زیستی و کارایی منابع کمک کند. این الگوها نه تنها باعث افزایش بهره‌وری تولید می‌شوند بلکه با کاهش فشار بر منابع طبیعی، هم‌زمان پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی را تقویت می‌کنند (دفیجوردو و همکاران ۲۰۲۳). کیفیت علوفه، به مجموع کل مواد تشکیل دهنده گیاهی اطلاق می‌شود که استفاده دام از غذا را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند به عنوان تابعی از مصرف علوفه و قابلیت هضم آن باشد و بستگی به ترکیب فیزیکی و شیمیایی گیاهان مختلف دارد که می‌تواند از طریق فرآیندهای مختلف تولید مانند انتخاب گیاهان مقاوم و متناسب با شرایط اقلیمی بهبود یابد. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای کشت مخلوط می‌تواند به بهبود هضم و مصرف بیشتر علوفه توسط دام‌ها کمک کند. به عنوان مثال، استفاده از گونه‌های غنی از پروتئین و فیبر به همراه گیاهان مقاوم به خشکی می‌تواند کیفیت و قابلیت هضم علوفه را در شرایط محیطی مختلف بهبود بخشد (اسمیت و همکاران ۲۰۲۳).

کیفیت علوفه بیانگر ارزش غذایی و مقدار انرژی است که در دسترس دام قرار می‌گیرد به عبارت بهتر، نشانگر مقدار مواد مغذی است که حیوان در کوتاه‌ترین مدت ممکن از علوفه به دست می‌آورد (گارسیا و همکاران ۲۰۲۴). گیاه ارزن (*Panicum miliaceum* L.) یک گیاه دارویی و علوفه‌ای است که تاریخچه فراوانی در طب سنتی و کشاورزی دارد و به طور گسترده در آسیا و مناطق گرمسیری رشد می‌کند. ارزن علوفه‌ای نوتریفید در دسته ارزن‌های مرواریدی قرار می‌گیرد. سطح زیرکشت این دسته از ارزن‌ها در ایران بسیار محدود می‌باشد. با توجه به خصوصیات خوب ارزن علوفه‌ای نوتریفید، تحقیقات کاربردی روی آن در کشور آغاز شده است. این گیاه به علت ویژگی‌های بومی، خصوصیات زراعی و خواص دارویی‌اش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ارزن حاوی مواد مؤثر فیتوشیمیایی مانند فلاوانوئیدها، تانن‌ها، اسیدهای آمینه و مواد معدنی مفیدی است که از آن برای مصارف طبی، غذایی و علوفه استفاده می‌شود (کاظمی اربط ۲۰۰۵).

ماشک گل خوشه ای از تیره بقولات (*Fabaceae*) و زیر تیره پروانه آسایان (*Faboideae*) بوده و به جنس *Vicia* و گونه *villosa* تعلق دارد و جزء گیاهان دولپه‌ای یکساله محسوب می‌شود. گیاهی خودگرد افشان، دیپلوئید و دارای شش جفت کروموزم ($2n=12$) است (اکینیم و اوجو ۲۰۲۳). مهم‌ترین ویژگی‌های کشت ماشک گل‌خوشه‌ای علاوه بر اضافه کردن نیتروژن به خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، تهیه علوفه تازه و خشک برای دام، تهیه کود سبز، کنترل علف‌های هرز تابستانه و رعایت تناوب زراعی و جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

گیاه لوبیا با نام عمومی *Dry Bean*، *Common Bean*، نام علمی (*Phaseolus vulgaris* L.) و از تیره حبوبات (*Fabaceae*) گیاهی خودگشن است. دارای پنج گونه زراعی و حدود ۵۰ گونه وحشی است (دری و همکاران ۲۰۰۳).

لوبیا گیاهی بومی قاره آمریکا و دنیای جدید می‌باشد و به دلیل همزیستی با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن نقش مؤثری در افزایش حاصلخیزی خاک دارد و به همین دلیل در تناوب با سایر گیاهان زراعی کشت شده و یا به عنوان کود سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، کاه و کلش و بقایای این گیاهان نیز به دلیل کیفیت مناسب، کاربرد وسیعی در تغذیه دام دارد (جمشیدی ۲۰۰۸).

با توجه به تحقیقات اخیر، مشخص شده است که گیاهان علوفه‌ای ارزن، ماشک گل‌خوشه ای و لوبیا دارای عملکرد بالا و خصوصیات کیفی برجسته ای برای تأمین علوفه هستند. علاوه بر این، این گیاهان از لحاظ تغذیه‌ای حاوی مواد معدنی و پروتئین‌های لازم برای تأمین نیازهای غذایی دام‌ها بسیار ارزشمند هستند. نقش مهمی که این گیاهان در تأمین علوفه دارند، در بهبود تنوع منابع غذایی دامی، افزایش بهره‌وری دامی و حفظ سلامت زیستی دام‌ها بسیار مهم است. به طور کلی، گیاهان علوفه‌ای با توجه به خصوصیات کشت و نیازهای منطقه‌ای می‌توانند به عنوان یک منبع علوفه مؤثر برای

تأمین نیازهای غذایی دام‌ها و تأمین علوفه با کیفیت باشند (تانکارا و همکاران ۲۰۲۰).

کشت مخلوط و کشاورزی پایدار دو مفهوم کلیدی در توسعه کشاورزی امروزی هستند. کشت مخلوط یعنی کشت چندین گونه مختلف گیاهی در یک مزرعه یا قطعه زمین، که به مزایای زیادی مانند افزایش باروری خاک، کاهش آفات و بیماری‌ها، حفظ تنوع گیاهی و ارتقاء تولید محصولات کمک می‌کند. این روش می‌تواند به تعادل بیولوژیکی در مزرعه کمک کرده و وابستگی به کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی را کاهش دهد. از سوی دیگر، کشاورزی پایدار به مدیریت منابع طبیعی می‌پردازد تا از آن‌ها برای نسل‌های آینده نیز استفاده شود که موجب استفاده بهینه از آب، خاک و منابع زنده، مدیریت دقیق کود و سموم، حفظ تنوع گیاهی و حیات وحش و همچنین رعایت عدالت اجتماعی و اقتصادی می‌شود (هلال و همکاران ۲۰۱۳).

کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای، بویژه غلات علوفه‌ای دانه ریز با لگوم‌های علوفه‌ای نظیر ماشک گل خوشه‌ای، شبدر و غیره بیشتر به روش کشت درهم انجام می‌گیرد (زانگ و لی ۲۰۲۳). کشت مخلوط این گیاهان می‌تواند مزایایی متعدد در ارتقاء محصولات کشاورزی داشته باشد. این روش به کشاورزان امکان می‌دهد تا از تنوع گیاهان و مزایای آن‌ها بهره‌مند شوند. یکی از مزایای کشت مخلوط ارزن، ماشک گل خوشه‌ای و لوبیا افزایش تنوع محصول و تغییرات در زمان برداشت است که می‌تواند به حفاظت از خاک و حشرات کمک کرده و آفات و بیماری‌ها را کاهش دهد. کاشت مخلوط این سه گیاه می‌تواند در کشت مشترک کارایی مصرف آب را بالا برده و به نگه‌داشتن رطوبت خاک کمک کنند و همین امر در مدیریت بهینه آب، بهبود محصول و کاهش هزینه‌های کشاورزی تأثیر مثبت دارد. از مزایای دیگر کشت مخلوط این سه گیاه می‌توان به بهبود کیفیت و ساختار خاک، افزایش کیفیت عالی علوفه، افزایش پروتئین و فیبر، افزایش مقادیر مواد معدنی از جمله پتاسیم، فسفر و کلسیم در علوفه تولید شده توسط آن‌ها، اشاره کرد. به

طور کلی، کشت مخلوط این سه گیاه می‌تواند منجر به تولید علوفه با کیفیت بالا و تنوع غذایی برای دام‌ها شود که این موضوع به بهبود محصول و عملکرد کمک می‌کند و در نتیجه به توسعه پایدار در کشاورزی کمک خواهد کرد. همچنین، سیستم ریشه‌ای قوی ارزن می‌تواند به ماشک گل خوشه‌ای و لوبیا کمک کند تا از منابع آبی و معدنی بهتری بهره‌برد و محصول با کیفیت تولید کند و به تنوع زراعی و پایداری محصولات کمک کند (آبراهام ۲۰۲۰).

سیروس‌مهر و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی کشت مخلوط ارزن با ماشک گل خوشه‌ای نشان دادند که عملکرد مخلوط در مقایسه با کشت خالص، نسبت برابری زمین (LER) بالاتری دارد. این امر از بهره‌گیری ارزن از بقایای نیتروژن ماشک گل خوشه‌ای و کاهش رقابت درون گونه‌ای ناشی می‌شود.

محدودیت منابع آبی یکی از چالش‌های اساسی در کشاورزی است که در بسیاری از نقاط جهان وجود دارد. کشاورزی یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان منابع آبی است و با توجه به رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی، فشار بر منابع آبی به شدت افزایش یافته است. با استفاده از روش‌های نوین مدیریت و فناوری‌های پیشرفته مانند آب مغناطیسی می‌توان به کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آبی در کشاورزی کمک کرد (ماکومبر ۲۰۱۰). این اقدامات می‌توانند به کشاورزان کمک کنند تا با محدودیت منابع آبی عملکرد محصولات خود را بهبود بخشند.

آبیاری مغناطیسی یک تکنولوژی نوین است که در کشت مخلوط و کشاورزی پایدار مورد بررسی قرار گرفته است. در این تکنولوژی با استفاده از میدان‌های مغناطیسی، آب را بهبود می‌بخشند و اثرات مفیدی بر رشد گیاهان و استفاده بهینه از آب دارد (رشید و انوار ۲۰۲۳). با توجه به مطالعات موجود، آبیاری مغناطیسی می‌تواند تأثیر مثبتی بر کشت مخلوط داشته باشد. این ممکن است شامل کاهش فشار سطحی آب، بهبود جذب مواد معدنی توسط گیاهان، کاهش رسوبات و تجمع خاک

و بهبود ساختار خاک باشد. همچنین، در برخی منابع مشخص شده است که این نوع آب اثرات مثبتی بر رشد و توسعه گیاهان مختلف از جمله گیاهان مخلوط دارد (گوپالا و سینگال ۲۰۲۲).

با این حال، تحقیقات بیشتری در زمینه اثبات اثرات واقعی و کارایی آبیاری مغناطیسی در کشت مخلوط و کشاورزی نیاز است (میرزایی و شریفان ۲۰۱۴). برخی مطالعات (راس و همکاران ۲۰۰۵) این روش را موثر می‌دانند در حالی که برخی دیگر این موضوع را کاملاً اثبات نکرده‌اند. در نتیجه، کاربرد آن در کشت مخلوط به عنوان یک روش تکمیلی است، اما نیازمند تحقیقات دقیق‌تر و شواهد علمی قاطع برای اثبات کارایی آن است (محمد عادل ماجد و همکاران ۲۰۱۷).

جوانمرد و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که، میزان خاکستر بالاترین تأثیر را در کشت مخلوط دارد. خاکستر یک منبع غنی از مواد معدنی مهم مانند پتاسیم، فسفر و کلسیم است که برای رشد و توسعه گیاهان ضروری است. همچنین، خاکستر می‌تواند pH خاک را تعدیل کند و از عملکرد بهتر گیاهان حمایت نماید. همچنین حضور خاکستر در خاک می‌تواند باعث بهبود ساختار خاک و تخلیه هوا، آب و مواد مغذی گردد. همچنین پروتئین خام یکی از مهمترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت علوفه است (لیتورجیدیس و همکاران ۲۰۰۶). انصار و همکاران (۲۰۱۰) در کشت مخلوط ماشک گل‌خوشه ای با غلات گزارش کردند که میزان پروتئین خام در هر یک از کشت‌های مخلوط ماشک گل‌خوشه‌ای با غلات به مراتب بیشتر از تک کشتی غلات است. آلوس و همکاران (۲۰۲۳) مشاهده کردند که پروتئین تولیدی در همه الگوهای مخلوط استفاده شده ۸ تا ۱۷ درصد در هکتار نسبت به تک کشتی ذرت بیشتر است. در کشت مخلوط سویا و سورگوم در برخی کشورهای گرمسیری، سویا برای افزایش پروتئین در واحد سطح در بین ردیف‌های سورگوم کشت می‌شود (رضایی و شیردل ۲۰۲۳).

در کشت مخلوط غلات - لگوم به عنوان علوفه، از آنجایی که لگوم‌ها پروتئین بالاتری را نسبت به غلات دارند، بنابراین، دامداران، لگوم‌ها را برای افزایش عملکرد و کیفیت علوفه و کاهش احتمالی کمبود پروتئین خام به علوفه اضافه می‌کنند (بوکستون و مرتنس ۱۹۹۵). همچنین میرزایی و شریفان (۲۰۱۴) نشان دادند که کاربرد آبیاری مغناطیسی می‌تواند باعث بهبود قابل توجهی در خصوصیات کیفی گیاهان مخلوط ارزن، ماشک گل‌خوشه‌ای و لوبیا شود. این تحقیق نشان داد که آبیاری مغناطیسی می‌تواند باعث افزایش محتوای پروتئین خام و بهبود ویژگی‌های ساختاری پروتئین شود. مزایای کشت مخلوط ماشک گل‌خوشه‌ای با غلات فراتر از افزایش مقدار پروتئین، شامل بهبود تثبیت خاک، کاهش آفات و بیماری‌ها، افزایش تنوع بیولوژیکی و بهره‌وری منابع می‌باشد.

جوانمرد و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کشت مخلوط هیبریدهای ذرت با چند لگوم (لوبیا، ماشک گل‌خوشه‌ای، گاوآینه و شبدر برسیم) موجب کاهش^۱ NDF (فیبر غیر قابل حل در محلول خنثی) ذرت گردید. همچنین آنها بیان کردند که بیشترین کاهش NDF ذرت ۷۰۴ در مخلوط با ماشک گل‌خوشه‌ای حاصل شد.

در این مقاله به بررسی عملکرد و ویژگی‌های کیفی گیاه علوفه‌ای ارزن به عنوان منبع مهم برای تغلیف دام پرداخته شده است. همچنین با روش‌های آبیاری مناسب، کوددهی بهینه و اثرات آنها بر صفات کیفی و عملکرد گیاه ارزن مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای ارزیابی کشت مخلوط از شاخص نسبت برابری زمین استفاده شد.

هدف از این آزمایش بررسی اثرات کشت مخلوط ارزن، ماشک گل‌خوشه‌ای و لوبیا در مقایسه با کشت خالص آن‌ها و ارزیابی پاسخ این ترکیب کشت به افزایش احتمالی برخی خصوصیات کیفی، عملکرد علوفه خشک، درصد و عملکرد پروتئین، میزان خاکستر، میزان پروتئین خام، میزان NDF این سه محصول تحت تأثیر دو نوع آبیاری، شامل آبیاری معمولی و آبیاری مغناطیسی بود.

^۱ Neutral Detergent Fiber

این پژوهش به دنبال شناسایی مزایای بالقوه کشت مخلوط در بهبود کیفیت و عملکرد محصولات زراعی و همچنین بررسی تأثیر آبیاری مغناطیسی بر ویژگی‌های کیفی این گونه‌های زراعی است.

مواد و روش‌ها

آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۴ تیمار به منظور بررسی اثر آب مغناطیسی و الگوی کشت مخلوط در سه محصول ارزن، لوبیا و ماشک گل خوشه ای در سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در اراضی کرکچ در ۱۲ کیلومتری شرق تبریز، با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵ دقیقه شمالی انجام شد. متوسط بارندگی سالیانه برابر ۳۱۳ میلی متر گزارش گردیده است (جدول ۲). دور آبیاری شامل آب معمولی و آب مغناطیسی با شدت ۴۳۰ میلی تسلا و سیستم کشت در

هفت سطح شامل کشت خالص ارزن، کشت خالص لوبیا، کشت خالص ماشک گل خوشه‌ای، کشت مخلوط ارزن و لوبیا با نسبت ۲:۱، کشت مخلوط ارزن و لوبیا با نسبت ۴:۱، کشت مخلوط ارزن و ماشک گل خوشه ای با نسبت ۲:۱ و کشت مخلوط ارزن و ماشک گل خوشه ای با نسبت ۴:۱ در نظر گرفته شدند. قبل از انجام آزمایش از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه برداری شد و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱، آورده شده است. علاوه بر این، عملیات آماده سازی خاک مانند شخم برای آزمایشات سال اول و دوم انجام شد. کاشت سه نوع گیاه ارزن، لوبیا و ماشک گل خوشه ای، در بهار و بر اساس الگوی کاشت خالص و مخلوط انجام گرفت. تراکم مورد استفاده برای لوبیا، ارزن و ماشک گل خوشه ای معادل ۶۵، ۱۴ و ۳۴ بوته در متر مربع است، صفات مورد ارزیابی شامل میزان خاکستر، پروتئین خام، NDF (فیبر غیر قابل حل در محلول خنثی)، عملکرد علوفه خشک در گیاهان لوبیا، ارزن و ماشک گل خوشه‌ای بود.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Soil texture	رس %	لوم %	شن %	pH	EC (dS.m ⁻¹)	%OC	%TN	K (mg/kg)	P (mg/kg)
لوم شنی	۱۳	۴۲	۴۵	۷/۹	۱/۵	۱/۶	۰/۰۵۸	۵۵۰	۱۱/۹

جدول ۲- میانگین بارندگی و دما طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹

بارندگی (mm)		دما (°C)		
۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹	
۳۹/۷	۵۲/۳	۸/۸	۹/۳	فروردین
۳۱/۱	۳۲/۸	۱۵/۵	۱۳/۳	اردیبهشت
۱۰/۷	۱۱/۶	۲۳	۲۳/۳	خرداد
۰	۶/۱۷	۲۶/۱	۲۷/۳	تیر
۰	۵/۳	۲۶/۳	۴/۲۷	مرداد
۱۷/۱	۱۵/۳	۲۳	۲۲/۳	شهریور

نحوه اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی

۱. اندازه‌گیری خاکستر (Ash): برای اندازه‌گیری خاکستر نمونه‌های گیاهی، مراحل زیر انجام گردید
آماده‌سازی نمونه: به مقدار ۲ گرم از نمونه خشک گیاهی با دقت وزنی دقیقاً وزن و در یک بوته چینی (چینی مخصوص کوره) قرار داده شد.
گرما دادن: بوته چینی حاوی نمونه در کوره‌ای با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت قرار گرفت. این دما به گونه‌ای انتخاب شده است که تمامی مواد آلی در نمونه سوزانده شود و تنها مواد معدنی باقی بماند.
سرد کردن: بعد از اتمام زمان تعیین شده، بوته چینی به آرامی از کوره خارج شده و اجازه می‌دهد که به دمای محیط برسد. این مرحله برای جلوگیری از جذب رطوبت توسط خاکستر باید به سرعت انجام شود.
وزن‌کشی: وزن بوته چینی با خاکستر باقی‌مانده (بعد از سرد شدن) اندازه‌گیری می‌شود.
تعیین درصد خاکستر: درصد خاکستر به وسیله معادله ۱ محاسبه شد.

$$\%Ash = \left(\frac{A - B}{C - B} \right) \times 10 \quad (\text{معادله ۱})$$

در معادله ۱:

A: وزن بوته چینی + نمونه خشک

B: وزن بوته چینی

C: وزن بوته چینی + نمونه اولیه

۲. اندازه‌گیری پروتئین خام: برای اندازه‌گیری پروتئین خام از روش کجلال استفاده شد که مراحل کار به شرح زیر است:

آماده‌سازی نمونه: یک مقدار معین از نمونه خشک (معمولاً ۰/۵ تا ۱ گرم) در یک لوله آزمایش قرار داده می‌شود.

هضم: به نمونه، ۱۰ میلی‌لیتر از محلول هضم (معمولاً شامل اسید سولفوریک و کاتالیزورها) اضافه می‌شود و لوله‌ها به مدت ۲-۴ ساعت در گرما (معمولاً تا حدود ۳۵۰

درجه سانتی‌گراد) نگه‌داشته می‌شوند تا نمونه به طور کامل حل شود و نیتروژن به فرم آمونیوم تبدیل گردد. تقطیر: بعد از هضم، نمونه از کوره بیرون آورده شده و با آب سرد رقیق می‌شود. سپس نیتروژن آمونیوم موجود از محلول خارج شده و با استفاده از بخار به صورت آمونیاک درآورده می‌شود.

اندازه‌گیری: بخارهای تولیدشده با استفاده از یک محلول اسیدی (معمولاً اسید بوریک یا اسید هیدروکلریک) جذب می‌شوند و میزان نیتروژن با استفاده از تیتراسیون اندازه‌گیری می‌شود.

محاسبه پروتئین خام: مقدار نیتروژن اندازه‌گیری شده با استفاده از ضریب ۶/۲۵ به پروتئین خام تبدیل می‌شود (جنسن ۱۹۹۶).

پروتئین خام = نیتروژن کل $\times 6/25$

اندازه‌گیری NDF

NDF از جوشاندن مواد گیاهی در محلول شوینده خنثی (که پکتین‌ها، پروتئین‌ها، قندها و چربی‌های گیاهی را حل می‌کند و اجزای دیگری مانند سلولز، همی سلولز و لیگنین را بر جای می‌گذارد) و اندازه‌گیری مواد نامحلول به دست می‌آید. درصد NDF با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد:

$$\%NDF = \left(\frac{Y - X}{Z} \right) \quad (\text{معادله ۲})$$

در معادله ۲:

Y: وزن نمونه بعد از آون

X: وزن نمونه بعد از کوره

Z: وزن اولیه نمونه

نسبت برابری زمین (LER)

برای ارزیابی کشت مخلوط از شاخص نسبت برابری زمین (LER) استفاده شد. این شاخص عبارت از نسبت سطح زمین لازم برای تک کشتی یک گیاه است که عملکردی مشابه یک هکتار کشت مخلوط تولید شود (جوانشیر و همکاران ۲۰۰۹). برای تعیین این

شاخص، عملکرد نسبی هر جزء محاسبه و مجموع آنها میزان LER خواهد بود.

(معادله ۳)

$$LER = \left(\frac{Y_{ab}}{Y_{aa}} \right) + \left(\frac{Y_{ba}}{Y_{bb}} \right) = LER_a + LER_b$$

که در معادله ۳:

Y_{ab} : عملکرد گونه a در کشت مخلوط با گونه b،

Y_{aa} : عملکرد گونه a در کشت خالص،

Y_{ba} : عملکرد گونه b در کشت مخلوط با گونه a

Y_{bb} : عملکرد گونه b در کشت خالص،

RY_a و RY_b : به ترتیب عملکرد نسبی گونه‌های a و b

می‌باشد

نتایج و بحث

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش (جدول ۳)، اثر تیمارهای نوع آب آبیاری و الگوی کشت بر صفت عملکرد علوفه ارزن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. ضمن اینکه اثر متقابل نوع آب آبیاری در الگوی کشت نیز در سطح احتمال یک درصد بر صفت مذکور معنی‌دار بود. همچنین نتایج نشان داد که اثر تیمارهای نوع آب آبیاری و الگوی کشت بر صفات عملکرد علوفه لوبیا در سطح احتمال پنج درصد و عملکرد علوفه خشک ماشک گل خوشه‌ای در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. بقیه تیمارها بر صفات مذکور هر سه گیاه از نظر آماری تأثیر معنی‌دار نداشته‌اند. اثر سال فقط برای صفت عملکرد علوفه ارزن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد علوفه خشک ارزن، ماشک گل خوشه‌ای و لوبیا در طی دو سال آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد علوفه ارزن	عملکرد علوفه ماشک گل خوشه‌ای	عملکرد علوفه لوبیا
سال	۱	۲۱۹۳۳/۳۲*	۰/۸۳۷ ^{ns}	۷۳۸/۳۲ ^{ns}
تکرار/ سال	۴	۱۴۷۸/۵۵	۰/۸۳	۳۹۷/۵۵
نوع آب آبیاری	۱	۱۱۵۶۱۳*	۴۴/۱۳**	۷۳۸/۸۳*
الگوی کشت	۲	۱۵۵۱۸۷*	۳/۹۲**	۱۱۸۳/۲۹*
سال × نوع آب آبیاری	۱	۴۰۳۲/۹۲ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۳۹۴/۹۴ ^{ns}
سال × الگوی کشت	۲	۵۵۷/۵۳ ^{ns}	۰/۰۹۲ ^{ns}	۷۳۸/۵۱ ^{ns}
نوع آب آبیاری × الگوی کشت	۲	۳۴۱۶۰/۰۸**	۰/۱۸۲**	۸۳۶/۲۵ ^{ns}
نوع آب آبیاری × الگوی کشت × سال	۲	۵۲۸/۴۶ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۵۹۸/۴۸ ^{ns}
خطا	۲۰	۱۵۰۵/۶۵	۳/۵۵۳	۱۸۳/۴۹
ضریب تغییرات (%)	–	۱۸/۹۹	۸/۱۴	۱۲/۴۷

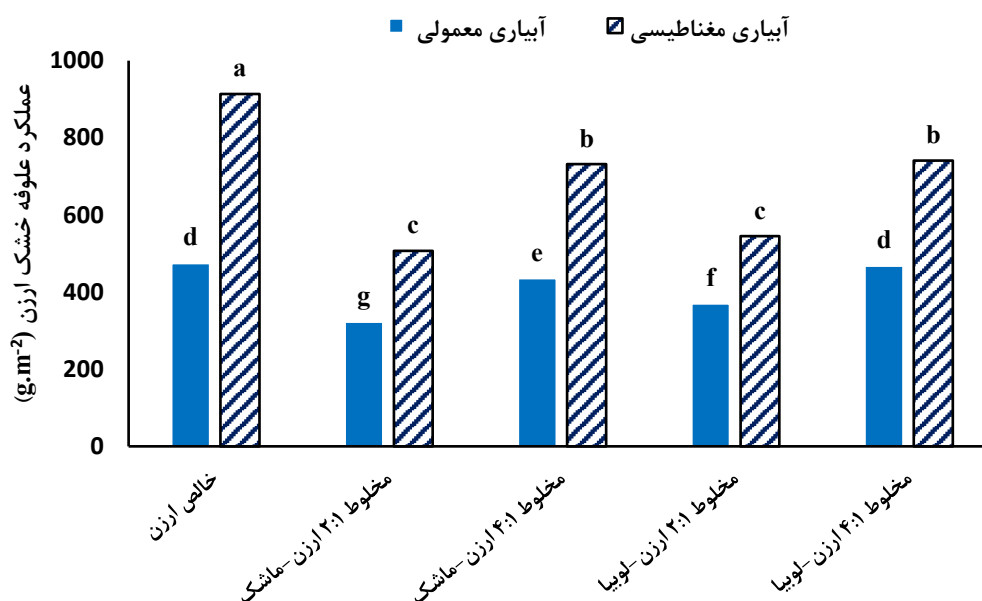
ns، * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

با توجه به شکل ۱، بیشترین میزان عملکرد علوفه خشک ارزن (۹۱۳/۶۵ گرم در متر مربع در واحد سطح) در کشت خالص ارزن با کاربرد آب مغناطیسی و کمترین آن (۳۲۳/۳۵ گرم در متر مربع گرم در واحد سطح) در کشت مخلوط ۲:۱ ارزن-ماشک گل خوشه‌ای با آبیاری معمولی حاصل شده است. بنابراین کاربرد آب مغناطیسی در تمامی سطوح کشت (کشت خالص و کشت مخلوط) سبب افزایش در میزان عملکرد علوفه در مقایسه با کاربرد آب معمولی شده و از این نظر دارای برتری

بوده است. برای توجیه علمی افزایش عملکرد گیاهان تحت تأثیر آب مغناطیسی، می‌توان به چندین جنبه کلیدی اشاره کرد مانند تغییر در ساختار و خصوصیات فیزیکی آب، که در این حالت آب مغناطیسی معمولاً به مولکول‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود و این امر می‌تواند به افزایش سطح تماس آب با ریشه گیاهان منجر شود. مولکول‌های کوچک‌تر می‌توانند به راحتی از دیواره‌های سلولی عبور کنند و به درون سلول‌های گیاه نفوذ کنند. از موارد دیگر، افزایش قدرت حلالیت می‌باشد

آب کمک کند و به گیاهان کمک می‌کند تا شرایط بهتری را در برابر تنش‌های محیطی تجربه کنند (کاهش تنش آبی). در نهایت، آب مغناطیسی می‌تواند تغییراتی در فعالیت‌های زیستی موجودات میکروسکوپی خاک ایجاد کند که منجر به بهبود ساختار خاک و عملکرد کلی آن می‌شود (تأثیرات زیستی). جمع بندی این نکات می‌تواند نشان‌دهنده آن باشد که آب مغناطیسی با تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خود و بهبود شرایط محیطی، به افزایش کارایی جذب مواد مغذی و آب توسط گیاهان منجر می‌شود و بنابراین عملکرد کل گیاه را افزایش می‌دهد (لیدر وود ۲۰۰۵).

که آب مغناطیسی به دلیل تغییرات ساختاری می‌تواند حلالیت مواد مغذی در خاک را افزایش دهد. این بدان معناست که مواد مغذی بیشتری در دسترس گیاه قرار می‌گیرد و می‌تواند جذب شود، که زمینه‌ساز رشد بهتر و افزایش عملکرد می‌شود. همچنین آب مغناطیسی می‌تواند باعث کاهش پیوستگی مولکول‌های آب شود که می‌تواند موجب بهبود تهویه خاک و افزایش دسترسی ریشه‌های گیاه به اکسیژن شود (بهبود دسترسی اکسیژن). این امر به بهبود فرآیندهای متابولیکی گیاه کمک می‌کند. در شرایط عمومی، گیاهان تحت استرس آبی ممکن است نتوانند از آب و مواد مغذی به درستی استفاده کنند. آب مغناطیسی می‌تواند به بهبود استفاده از



شکل ۱- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نوع آب آبیاری در الگوی کشت برای عملکرد علوفه خشک ارزن (در واحد سطح مخلوط)
(حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است)

خالص به دلیل عدم رقابت بین گونه‌ای است ولی کاهش آن در کشت مخلوط به دلیل وجود رقابت بین گونه‌ای و کاهش سهم فضای کشت می‌باشد (صدرا و حمزه‌ئی ۲۰۲۱). بر اساس نتایج خوشقدم پیره یوسفان و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی که روی کشت مخلوط نخود و بالنگوی شهری انجام گردید، مشخص شد که کشت

با توجه به جدول ۴، بیشترین مقدار عملکرد علوفه خشک لوبیا (۷۸/۵ گرم در متر مربع در واحد سطح مخلوط) در کشت خالص لوبیا مشاهده گردید. مقدار عملکرد بدست آمده در کشت مخلوط ۲:۱ ارزن-لوبیا، حدود ۱۸ درصد بیشتر از بیوماس حاصل از کشت مخلوط ۴:۱ ارزن-لوبیا بود. افزایش عملکرد در کشت

خالص نخود بالاترین عملکرد علوفه را داشته است و علت کاهش عملکرد علوفه در کشت مخلوط را می‌توان به افزایش رقابت نوری بین اجزای عملکرد نسبت داد، چون در کشت مخلوط به دلیل وجود رقابت بین دو گیاه برای جذب منابع از قبیل نور، آب، فضا و عناصر غذایی عملکرد

گونه ضعیف، کاهش می‌یابد (شکرانی و همکاران ۲۰۱۸). نتایج پژوهش حاضر نیز با نتایج گزارش شده توسط صدرا و حمزه‌ئی (۲۰۲۱)؛ خوشقدم پیره یوسفان و همکاران (۲۰۲۱) و شکرانی و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد.

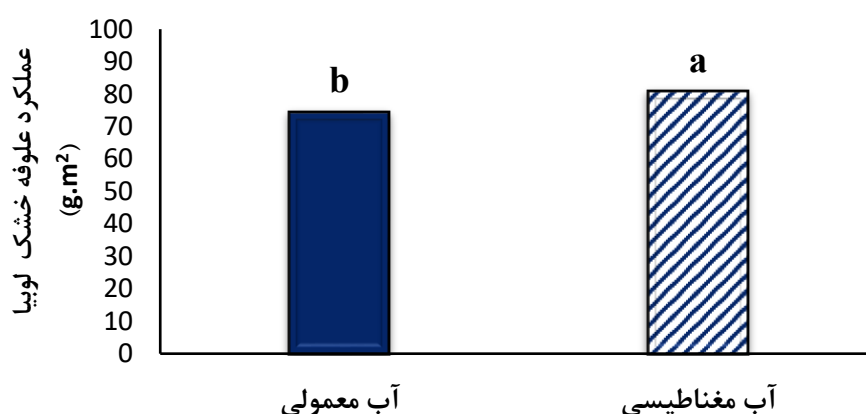
جدول ۴- نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمار الگوی کشت برای عملکرد علوفه خشک لوبیا (در واحد سطح مخلوط)

صفت	عملکرد علوفه خشک لوبیا (در واحد سطح مخلوط) (g.m ⁻²)
الگوی کشت	
خالص لوبیا	۷۸/۵ ^a
مخلوط ۲:۱ ارزن-لوبیا	۲۶/۵۱ ^b
مخلوط ۴:۱ ارزن-لوبیا	۱۲/۸۵ ^c

حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف آماری معنی دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می باشند

شکل ۲ نشان می‌دهد که کاربرد آب مغناطیسی، عملکرد علوفه خشک لوبیا را به میزان ۵/۵ درصد در مقایسه با آبیاری با آب معمولی افزایش داده است. آب مغناطیسی سبب کاهش گرفتگی منافذ خاک، آبشویی آن و افزایش تعداد مولکول‌های آب در واحد حجم و همچنین افزایش قدرت حلالیت آب می‌شود که همه این‌ها باعث استفاده بهتر گیاه از آب موجود شده و به تبع آن موجب افزایش افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته و در

نهایت بیوماس کل رویشی در لوبیا می‌شود (کیانی ۲۰۰۷). با استناد به مطالعات (گوش، ۲۰۲۱؛ ارشاد و همکاران ۲۰۲۲)، می‌توان چنین استنباط کرد که کاربرد آب مغناطیسی به‌طور قابل توجهی منجر به افزایش عملکرد علوفه خشک در گیاهان می‌شود و می‌تواند به عنوان یک استراتژی مؤثر در بهبود تولیدات کشاورزی در نظر گرفته شود.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمار نوع آب آبیاری بر عملکرد علوفه خشک لوبیا (در واحد سطح مخلوط) (با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد)

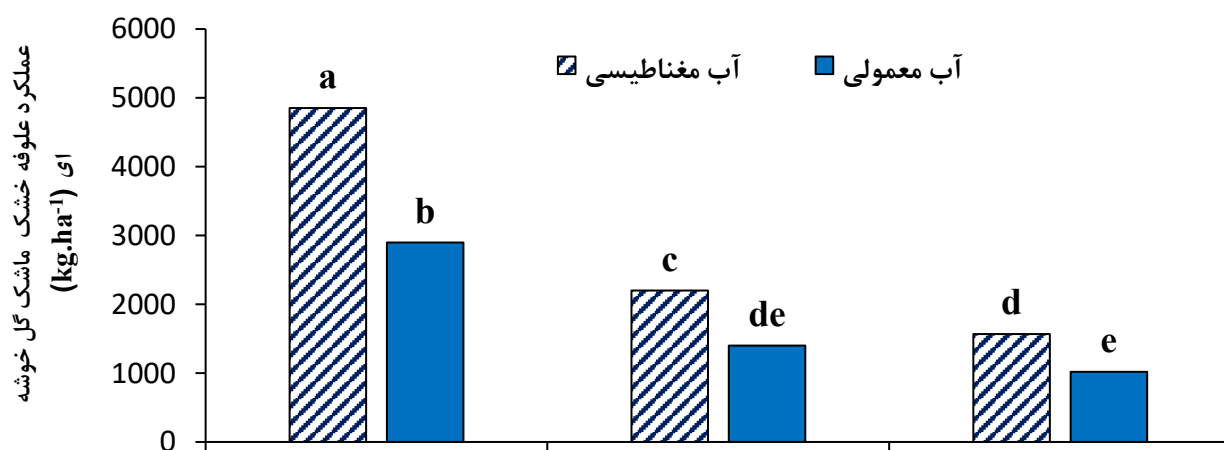
نتایج شکل ۳ نشان دهنده آن است که بیشترین عملکرد علوفه خشک ماشک گل خوشه ای (۴۸۵۰)

کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص ماشک گل خوشه‌ای و کاربرد آب مغناطیسی و کمترین آن (۱۰۲۰ کیلوگرم در

گیاهان کمک کند تا در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری مقاوم‌تر شوند و از این طریق عملکرد بهتری از خود نشان دهند (میشرا و همکاران ۲۰۱۹). در مجموع، شواهد علمی و تحقیقاتی نشان می‌دهند که آب مغناطیسی می‌تواند تأثیرات مثبت مشهودی بر رشد گیاهان و عملکرد آنها داشته باشد. این تحقیقات می‌تواند در برنامه‌های کشاورزی به عنوان یک استراتژی مفید برای بهبود عملکرد گیاهان در شرایط مختلف به کار گرفته شود.

دلیل اصلی کاهش عملکرد علوفه خشک ماشک گل‌خوشه ای در پلات‌های کشت مخلوط نسبت به تک کشتی آن، کاهش تراکم بوته ماشک گل‌خوشه ای در واحد سطح زمین و به عبارت دیگر کاهش فضای اختصاص یافته به آن می‌باشد. راس و همکاران (۲۰۰۵) دلیل کاهش عملکرد لگوم‌ها را در مخلوط با گراس‌ها رقابت برای نور ذکر کردند. همچنین کندال و استرینگر (۱۹۸۵) گزارش کردند که میزان رشد نسبی گیاهان علوفه‌ای لگوم در شرایط سایه به سرعت کاهش می‌یابد، زیرا در شرایط سایه خاکستر می‌باشد. همچنین اثر بقیه تیمارها بر صفت میزان فتوسنتز برگ‌ها کاهش یافته و به تبع آن میزان عملکرد بیولوژیک نیز کاهش می‌یابد (بوکستون و میرتنس ۱۹۹۵).

هکتار) در کشت مخلوط ۴:۱ ارزن - ماشک گل‌خوشه ای مشاهده گردید. افزایش قابل توجه در عملکرد علوفه خشک ماشک گل‌خوشه‌ای با کاربرد آب مغناطیسی، به واقع یک نتیجه چشمگیر است. مطالعات نشان داده‌اند که آب مغناطیسی می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب را تغییر دهد. این تغییرات به افزایش جذب آب توسط ریشه و بهبود قابلیت حلالیت مواد مغذی منجر می‌شود. به عنوان مثال، یک مطالعه در سال ۲۰۲۱ نشان داد که آب مغناطیسی می‌تواند باعث بهبود جذب یون‌های معدنی در گیاهان شود (ماتیس و راپ ۲۰۲۱). همچنین آب مغناطیسی می‌تواند بر فرآیندهای متابولیکی گیاه تأثیر مثبت بگذارد که شامل افزایش فعالیت آنزیم‌ها و بهبود فرآیند فتوسنتز است. این موضوع در تحقیقات صورت گرفته در چندین گیاه مختلف تأیید شده است (فوجیت و همکاران ۲۰۲۰). استفاده از آب مغناطیسی ممکن است به بهبود ساختار خاک و نفوذپذیری آن کمک کند، که در نتیجه باعث ایجاد شرایط بهتر برای رشد ریشه و تأمین آب و مواد مغذی بیشتر می‌شود (افزایش پوشش ریشه). بررسی‌های علمی نشان داده‌اند که این موضوع می‌تواند یکی از عوامل کلیدی در ارتقاء عملکرد محصولات زراعی باشد (خان و همکاران ۲۰۱۶). آب مغناطیسی می‌تواند به



شکل ۳- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نوع آب آبیاری در الگوی کشت برای عملکرد علوفه خشک ماشک گل‌خوشه‌ای (در واحد سطح مخلوط)

(با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد)

نتایج تجزیه واریانس مرکب برای صفات کیفی ارزن نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر تیمارهای نوع آب آبیاری و الگوی کشت در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار بودن اثر متقابل تیمار نوع آب آبیاری در الگوی کشت در سطح احتمال یک درصد بر میزان خاکستر می‌باشد. اثر بقیه تیمارها بر صفت مذکور از نظر آماری معنی‌دار نشده است (جدول ۵).

اثر تیمار الگوی کشت در سطح احتمال پنج درصد و اثر تیمار نوع آب آبیاری و اثر متقابل تیمار نوع آب

آبیاری در الگوی کشت در سطح احتمال یک درصد بر صفت میزان پروتئین خام ارزن معنی‌دار شده است و اثر مابقی تیمارها بر صفت مذکور از نظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۵). اثر تیمار نوع آب آبیاری در سطح احتمال یک درصد و اثر تیمار الگوی کشت و اثر متقابل تیمار نوع آب آبیاری در الگوی کشت بر صفت میزان NDF ارزن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شده است. اثر بقیه تیمارها بر صفت مذکور از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۵).

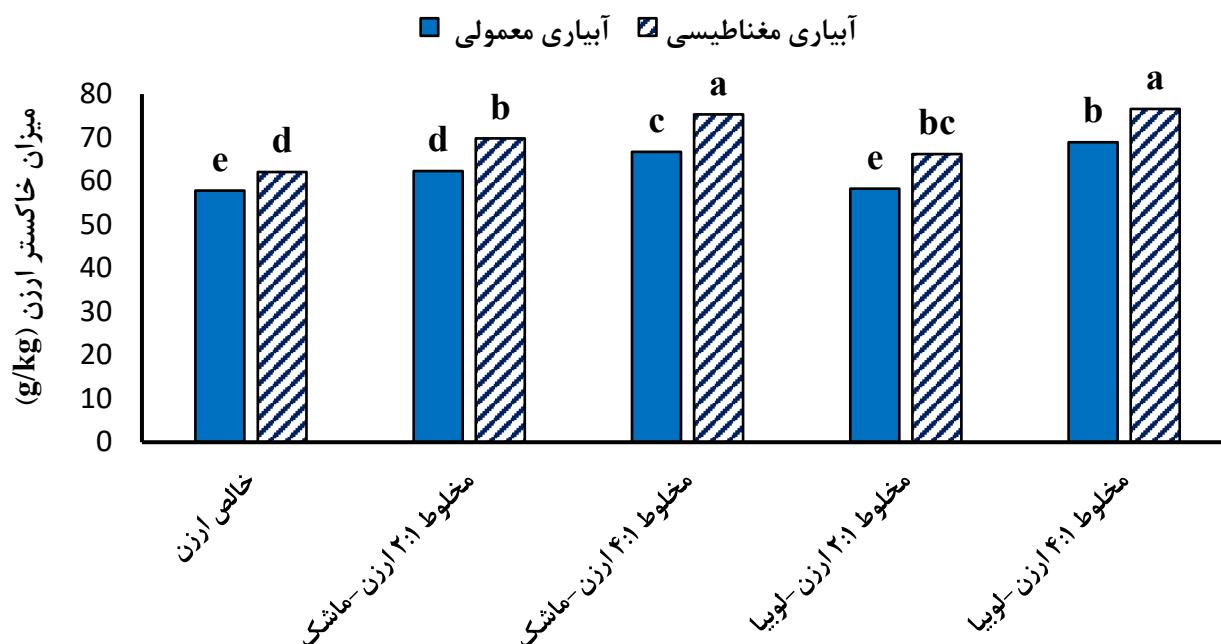
جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب برای ارزیابی صفات کیفی ارزن

منابع تغییر	درجه آزادی	میزان خاکستر ارزن	میزان پروتئین خام ارزن	میزان NDF علوفه ارزن
سال	۱	۷۴۸/۳۲ ns	۶۷/۴۳ ns	۶۳۷/۳۳ ns
تکرار/ سال	۴	۳۹۷/۵۵	۳۲/۷۱	۴۸/۷۲
نوع آب آبیاری	۱	۷۳۸/۸۳*	۹۸/۵۳**	۴۸۳/۱۹**
الگوی کشت	۴	۱۸۳/۲۹*	۹۲/۱۲*	۹۶۳/۲*
سال × نوع آب آبیاری	۱	۳۹۴/۹۴ ns	۸۳/۴۸ ns	۲۱/۴۸ ns
سال × الگوی کشت	۴	۷۳۸/۵۱ ns	۵۵/۴۱ ns	۷۶/۴۱ ns
نوع آب آبیاری × الگوی کشت	۴	۸۳۶/۲۵**	۲۷۱/۶۳**	۳۴۶/۶۳*
نوع آب آبیاری × الگوی کشت × سال	۴	۵۹۸/۴۸ ns	۷۷۲/۷۹ ns	۸۶۵/۷۹ ns
خطا	۳۶	۱۸۳/۴۹	۷۳/۱۳	۹۱/۱۳
ضریب تغییرات (%)	-	۱۲/۴۷	۱۵/۱۵	۱۱/۱۵

حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود بیشترین میزان خاکستر ارزن (۷۶/۶ و ۷۵/۳ گرم در کیلوگرم) به ترتیب در کشت مخلوط ۴:۱ با لوبیا همراه با آب مغناطیسی و کشت مخلوط ۴:۱ با ماشک تحت کاربرد آب مغناطیسی و کمترین آن (۵۷/۸ گرم در کیلوگرم) در

کشت خالص ارزن همراه با آبیاری با آب معمولی حاصل شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استفاده همزمان از کشت مخلوط و آبیاری مغناطیسی باعث افزایش در میزان خاکستر علوفه ارزن شده است.

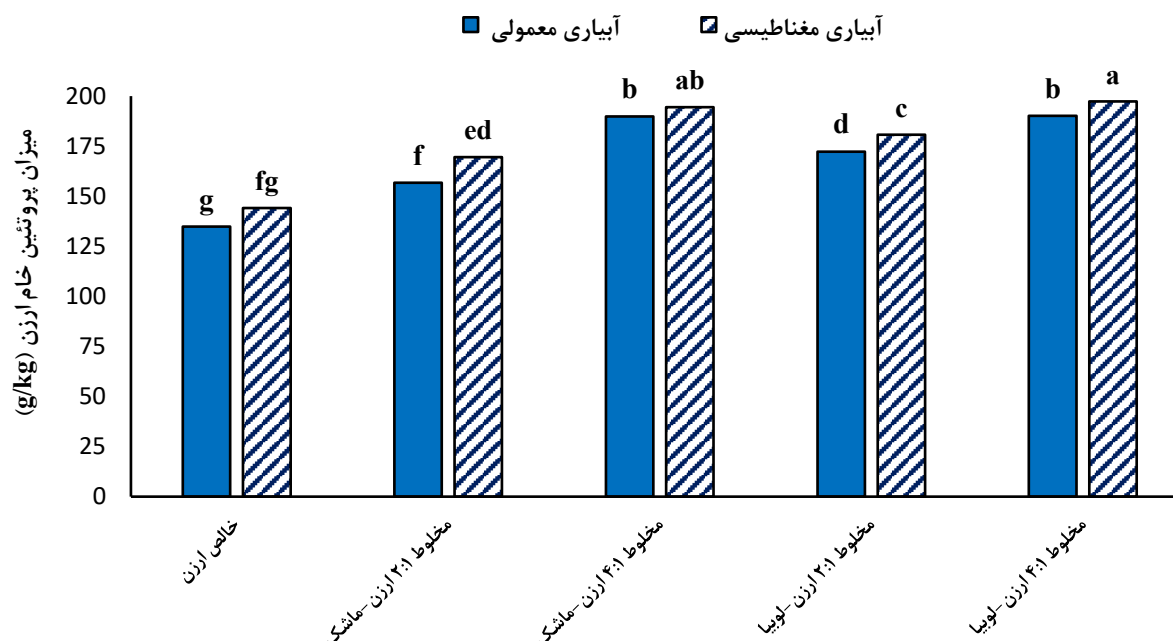


شکل ۴- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نوع آب آبیاری در الگوی کشت برای میزان خاکستر ارزن (با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد)

مخلوط ۴:۱ ارزن- لوبیا و کشت مخلوط ۴:۱ ارزن- ماشک گل خوشه ای با کاربرد آب مغناطیسی و کمترین آن (۱۳۴/۸ گرم در کیلوگرم) مربوط به کشت خالص ارزن با آبیاری معمولی بود (شکل ۵). به نظر می‌رسد کاربرد آبیاری مغناطیسی و کشت مخلوط جایگزینی در مقایسه با آبیاری معمولی و کشت خالص سبب افزایش در میزان پروتئین خام ارزن شده است. ارول و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی کشت مخلوط یولاف با ماشک معمولی در نواحی مدیترانه گزارش کردند که بیشترین پروتئین خام از تیمار مخلوط یولاف با ماشک معمولی (۴۵٪ یولاف + ۵۵٪ ماشک معمولی) به میزان ۱۰۹۸ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر مؤید یافته‌های انصار و همکاران (۲۰۱۰)؛ توکلی و همکاران (۲۰۱۲) می‌باشد.

در گیاهان علوفه‌ای خاکستر به عنوان قسمت غیر آلی هیچ نوع انرژی برای دام تأمین نمی‌کند، ولی به عنوان یک جزء حیاتی خوراک دام، انواع املاح و مواد معدنی مورد نیاز دام، اعم از عناصر پرمصرف و کم مصرف را شامل می‌شود. این مواد جهت ادامه فعالیت- های متابولیک و سلامت دام لازم است. درصد خاکستر به‌طور مستقیم با کیفیت علوفه مرتبط است (راس و همکاران ۲۰۰۵). جوانمرد و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که با اضافه شدن ماشک گل خوشه‌ای به الگوی کشت، کیفیت علوفه از نظر مواد معدنی بسیار بالا می‌رود و بالاترین میزان خاکستر در کشت مخلوط هیبریدهای نرت با شبدر برسیم و لوبیا مشاهده شد. ایشان دلیل آن را به جذب بهتر عناصر غذایی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیان کردند.

بیشترین میزان پروتئین خام ارزن (۱۹۷/۳ و ۱۹۴/۵ گرم در کیلوگرم) به ترتیب متعلق به تیمارهای کشت

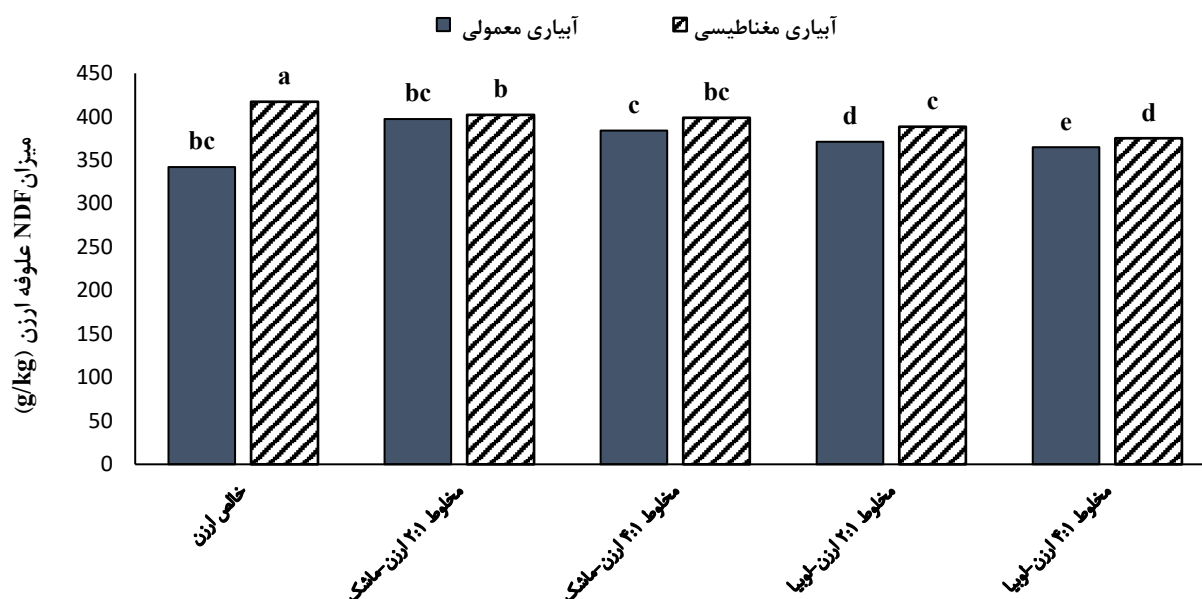


شکل ۵ - میانگین ترکیبات تیماری نوع آب آبیاری در الگوی کشت برای میزان پروتئین خام ارزن (با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد)

بالاست، این امر موجب لطافت و ظرافت شدن ساقه‌ها می‌شود و در نتیجه مواد فیبری، سلولزی و لیگنینی در علوفه کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از جدول ۶ نشان می‌دهد که اثر تیمارهای نوع آب آبیاری و الگوی کشت و اثرات متقابل آنها بر صفت میزان خاکستر ماشک گل خوشه‌ای در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. اثر مابقی تیمارهای آزمایش بر صفت فوق الذکر معنی‌دار نشده است. همچنین اثر تیمارهای نوع آب آبیاری و الگوی کشت بر صفت میزان پروتئین خام ماشک گل خوشه‌ای در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل تیمار نوع آب آبیاری در الگوی کشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. لازم به ذکر است که اثر بقیه تیمارهای آزمایش بر صفت مذکور معنی‌دار نشد. اثر تیمارهای نوع آب آبیاری و الگوی کشت بر صفت میزان NDF ماشک گل خوشه‌ای در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل نوع آب آبیاری در الگوی کشت بر صفت مذکور در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود.

بیشترین میزان NDF علوفه ارزن (۴۱۷/۴) گرم در کیلوگرم) در کشت خالص ارزن با کاربرد آب مغناطیسی و کمترین آن (۳۶۴/۸) گرم در کیلوگرم) در کشت مخلوط ۴:۱ ارزن-لوبیا با آبیاری معمولی مشاهده شد (شکل ۶). یکی از موارد مهم در تعیین مرغوبیت و خوش خوراکی علوفه، کیفیت آن می‌باشد. کاربرد آب مغناطیسی در کشت خالص ارزن توانست حدود ۶ درصد و در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط ارزن با لوبیا و ارزن با ماشک گل خوشه‌ای بین ۲ تا ۴ درصد در مقایسه با آبیاری با آب معمولی میزان NDF را بهبود بخشد. NDF نشان‌دهنده پتانسیل مصرف علوفه توسط دام است. لاوریاوالت و کرکسی (۲۰۰۴) از تحقیق خود نتیجه گرفتند که کشت مخلوط غلات با لگوم‌ها NDF را در همه الگوهای کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی غلات کاهش می‌دهد. کاهش میزان NDF نشان‌دهنده افزایش مصرف علوفه است. نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده این موضوع است که الگوی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص از NDF پایین‌تری برخوردار است که موجب افزایش کیفیت علوفه تولیدی می‌شود. به علاوه، می‌توان نتیجه گرفت که در کشت مخلوط چون تراکم



شکل ۶- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نوع آب آبیاری در الگوی کشت برای میزان NDF علوفه ارزن با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب برای ارزیابی صفات کیفی مورد مطالعه در ماشک گل خوشه‌ای

منابع تغییر	درجه آزادی	میزان خاکستر	میزان پروتئین خام	میزان NDF
سال	۱	۲۶/۱۷ ^{ns}	۵۳/۱۷ ^{ns}	۱/۳۸ ^{ns}
تکرار/ سال	۴	۳۷/۲۹	۲۹/۲۹	۳۵/۵۳
نوع آب آبیاری	۱	۲۸۴/۲۸ ^{**}	۶۷۴/۳۲ ^{**}	۸۸/۲۷ ^{**}
الگوی کشت	۲	۸۴/۷۵ ^{**}	۵۲/۴۳ ^{**}	۵/۳۷ ^{**}
سال × نوع آب آبیاری	۱	۶/۲۶ ^{ns}	۱۴/۰۹ ^{ns}	۸/۳۹ ^{ns}
سال × الگوی کشت	۲	۱۶/۹۳ ^{ns}	۶۳/۶۵ ^{ns}	۵/۳۷ ^{ns}
نوع آب آبیاری × الگوی کشت	۲	۲۱/۴۳ ^{**}	۸۲/۳۵ [*]	۱۴/۵۳ [*]
نوع آب آبیاری × الگوی کشت × سال	۲	۶/۲۹ ^{ns}	۶۱۱/۷۲ ^{ns}	۲/۵۱ ^{ns}
خطا	۲۰	۲۸/۸۳	۳۱/۴۳	۸/۶۳
ضریب تغییرات/%	–	۷/۴۳	۱۴/۳۵	۹/۵۳

ns و * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی دار می باشد

گل خوشه‌ای را در مقایسه با آبیاری معمولی افزایش داد (جدول ۷). نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد استفاده همزمان از الگوی کشت خالص و آب مغناطیسی منجر به افزایش میزان خاکستر در ماشک گل خوشه‌ای می‌شود. بیشترین میزان پروتئین خام (۳۷۹/۵ گرم در کیلوگرم) در تیمار کشت مخلوط ۴:۱ ارزن – ماشک گل

بیشترین میزان خاکستر (۸۸/۴ گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار کشت خالص ماشک گل خوشه‌ای با کاربرد آب مغناطیسی و کمترین آن (۷۰/۱ گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار کشت مخلوط ۴:۱ ارزن – ماشک گل خوشه‌ای با آبیاری معمولی بود. تیمار آبیاری با آب مغناطیسی حدود ۴/۵ درصد میزان خاکستر ماشک

خوشه ای با کاربرد آب مغناطیسی و کمترین آن (۳۶۲/۲) گرم در کیلوگرم) در کشت خالص ماشک گل خوشه ای با آبیاری معمولی مشاهده شد (جدول ۷). به نظر می رسد کاربرد همزمان آب مغناطیسی و کشت مخلوط در مقایسه با آبیاری معمولی و کشت خالص سبب افزایش در میزان پروتئین خام ماشک گل خوشه ای شده است. پروتئین خام یکی از مهمترین شاخص های ارزیابی کیفیت علوفه است. انصار و همکاران (۲۰۱۰) از کشت مخلوط ماشک گل خوشه ای با غلات گزارش کردند که میزان پروتئین خام در هر یک از کشت های مخلوط ماشک گل خوشه ای با غلات به مراتب بیشتر از کشت خالص غلات است. کشت مخلوط غلات و لگوم می تواند در کاهش

هزینه ها مؤثر باشد. عملکرد بالا و هزینه کم از ویژگی هایی هستند که غلات را برای تولید علوفه مناسب می کند و لگوم ها نیز به دلیل برخورداری از محتویات پروتئینی و مواد معدنی بیشتر نسبت به غلات موجب افزایش کیفیت علوفه می شوند. مزیت کشت مخلوط غلات - لگوم، بیشتر به دلیل اثر مکملی آن در استفاده از نیتروژن معدنی و اتمسفری است که موجب کاهش رقابت آن برای استفاده از نیتروژن می شود (قنبری بنجار و لی، ۲۰۰۲). نتایج حاصل از پژوهش حاضر مؤید یافته های انصار و همکاران (۲۰۱۰) و قنبری بنجار و لی (۲۰۰۲) می باشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نوع آب آبیاری در الگوی کشت برای صفات کیفی ماشک گل خوشه ای

میزان پروتئین خام (g/kg)	میزان خاکستر (g/kg)	میزان NDF (g/kg)	میزان پروتئین خام (g/kg)	میزان خاکستر (g/kg)	میزان NDF (g/kg)	میزان پروتئین خام (g/kg)	میزان خاکستر (g/kg)	میزان NDF (g/kg)	میزان پروتئین خام (g/kg)	میزان خاکستر (g/kg)	میزان NDF (g/kg)
آب معمولی	آب مغناطیسی	آب معمولی	آب مغناطیسی	آب معمولی	آب مغناطیسی	آب معمولی	آب مغناطیسی	آب معمولی	آب مغناطیسی	آب معمولی	آب مغناطیسی
۳۶۵/۸ ^{cd}	۳۶۲/۲ ^d	۸۸/۴ ^a	۸۲/۵ ^b	۴۰۲/۴ ^a	۳۸۸/۵ ^b	۳۶۵/۸ ^{cd}	۳۶۲/۲ ^d	۸۸/۴ ^a	۸۲/۵ ^b	۴۰۲/۴ ^a	۳۸۸/۵ ^b
۳۷۷/۲ ^{ab}	۳۷۱/۷ ^c	۷۹/۶ ^c	۷۳/۸ ^{de}	۳۸۷/۲ ^{bc}	۳۷۹/۷ ^b	۳۷۷/۲ ^{ab}	۳۷۱/۷ ^c	۷۹/۶ ^c	۷۳/۸ ^{de}	۳۸۷/۲ ^{bc}	۳۷۹/۷ ^b
۳۷۹/۵ ^a	۳۷۴/۲ ^{bc}	۷۳/۲ ^{de}	۷۰/۱ ^e	۳۸۸/۷ ^b	۳۷۳/۲ ^c	۳۷۹/۵ ^a	۳۷۴/۲ ^{bc}	۷۳/۲ ^{de}	۷۰/۱ ^e	۳۸۸/۷ ^b	۳۷۳/۲ ^c

حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف آماری معنی دار در آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می باشند

نتایج جدول ۷ بیانگر آن است بیشترین میزان NDF (۴۰۲/۴) گرم در کیلوگرم) در کشت خالص ماشک گل خوشه ای با کاربرد آب مغناطیسی و کمترین آن (۳۶۲/۲) گرم در کیلوگرم) در کشت مخلوط ۴:۱ - ماشک با آبیاری معمولی حاصل شد. نتایج پژوهش حاضر نشان دهنده این موضوع است که الگوی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص از NDF پایین تری برخوردار است که موجب افزایش کیفیت علوفه تولیدی می شود. آبیاری با آب مغناطیسی در مقایسه با آبیاری معمولی موجب افزایش میزان NDF در ماشک و به تبع آن کاهش کیفیت علوفه تولیدی می گردد.

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی لوبیا نشان دهنده معنی داری تیمارهای نوع آب آبیاری، الگوی کشت و اثرات متقابل تیمار نوع آب آبیاری در الگوی کشت بر صفات میزان خاکستر و میزان پروتئین خام لوبیا در سطح احتمال یک درصد می باشد. اثرات متقابل تیمار نوع آب آبیاری در الگوی کشت بر میزان NDF لوبیا در سطح احتمال پنج درصد و اثر تیمارهای نوع آب آبیاری و الگوی کشت نیز در سطح احتمال یک درصد معنی دار شده است. اثر بقیه تیمارهای آزمایش بر صفات مذکور معنی دار نشده است (جدول ۸).

جدول ۸- تجزیه واریانس مرکب برای ارزیابی صفات کیفی لوبیا

منابع تغییر	درجه آزادی	میزان خاکستر	میزان پروتئین خام	میزان NDF
سال	۱	۱/۸۲۷ ^{ns}	۵۱/۲۲ ^{ns}	۱/۹۳۶ ^{ns}
تکرار / سال	۴	۳/۲۹	۷۳/۳۹	۲۸/۴۲
نوع آب آبیاری	۱	۵۸/۵۶**	۳۹/۱۲**	۴۷/۸۸**
الگوی کشت	۲	۶/۲۷**	۲۷/۵۳**	۲۷/۵۴**
سال × نوع آب آبیاری	۱	۳/۲۹ ^{ns}	۱۱/۶۸ ^{ns}	۲۵/۷۳ ^{ns}
سال × الگوی کشت	۲	۷/۸۳ ^{ns}	۸۰/۹۸ ^{ns}	۳/۹۴ ^{ns}
نوع آب آبیاری × الگوی کشت	۲	۳/۲۷**	۵۷/۲۲**	۷/۴۷*
نوع آب آبیاری × الگوی کشت × سال	۲	۷/۹۵ ^{ns}	۸۳/۶۳ ^{ns}	۵/۵۹ ^{ns}
خطا	—	۹/۳۴	۲۱/۷۲	۹/۸۳
ضریب تغییرات (%)	۲۰	۵/۶۲	۵۷/۲۴	۸/۴۸

ns و * و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی دار می باشد.

لگوم‌ها را به جذب بهتر عناصر غذایی در مقایسه با تک کشتی بیان کردند. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد کاربرد همزمان آبیاری مغناطیسی و کشت مخلوط در مقایسه با آبیاری معمولی و کشت خالص سبب افزایش در میزان خاکستر لوبیا شده است که مؤید نتایج بدست آمده از تحقیقات جوانمرد و همکاران (۲۰۰۹) و راس و همکاران (۲۰۰۵) می‌باشد.

مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نوع آب آبیاری در الگوی کشت برای صفات کیفی لوبیا را نشان داد که بیشترین میزان خاکستر (۶۶/۶ گرم بر کیلوگرم) مربوط به کشت مخلوط ۴:۱ ارزن-لوبیا با کاربرد آب مغناطیسی و کمترین آن (۵۲/۴ گرم بر کیلوگرم) مربوط به کشت خالص لوبیا با آبیاری معمولی می‌باشد (جدول ۹). جوانمرد و همکاران (۲۰۰۹) و راس و همکاران (۲۰۰۵) دلیل بالا بودن میزان خاکستر در کشت مخلوط غلات با

جدول ۹- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نوع آب آبیاری در الگوی کشت برای صفات کیفی لوبیا

صفات	میزان NDF (g/kg)	میزان خاکستر (g/kg)	میزان پروتئین خام (g/kg)	نوع آب آبیاری	نوع الگوی کشت
	آب معمولی	آب مغناطیسی	آب معمولی	آب مغناطیسی	آب معمولی
خالص لوبیا	۳۹۵/۳ ^b	۴۰۵/۷ ^a	۵۲/۴ ^d	۵۸/۴ ^c	۳۳۳/۱ ^d
مخلوط ارزن-لوبیا ۲:۱	۳۷۸/۲ ^d	۳۹۴/۶ ^b	۶۱/۵ ^b	۶۴/۳ ^{ab}	۳۴۷/۸ ^b
مخلوط ارزن-لوبیا ۴:۱	۳۸۰/۹ ^{cd}	۳۸۳/۴ ^c	۶۲/۸ ^{ab}	۶۶/۶ ^a	۳۴۶/۹ ^b

حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

عملکرد پروتئین خام را به افزایش ماده خشک در کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی نسبت دادند. دهمرده و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که با افزایش تراکم لوبیا در کشت مخلوط میزان پروتئین خام افزایش می‌یابد. هوگارد نیلسون و همکاران (۲۰۰۳) نتیجه گرفتند که رقابت برون گونه‌ای بیشتر در غلات در مقایسه با لگوم‌ها

بیشترین میزان پروتئین خام لوبیا (۳۵۷/۸ و ۳۵۶/۲ گرم در کیلوگرم) به ترتیب مربوط به کشت مخلوط ۴:۱ ارزن-لوبیا و مخلوط ۲:۱ ارزن-لوبیا با کاربرد آب مغناطیسی و کمترین آن (۳۳۳/۱ گرم در کیلوگرم) نیز مربوط به کشت خالص لوبیا با آبیاری معمولی می باشد (جدول ۹). اسکندری و همکاران (۲۰۰۹) دلیل افزایش

کاهش کیفیت علوفه تولیدی می‌گردد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نیز با پژوهش‌های انجام شده توسط یولکا و همکاران (۲۰۰۹)، ارول و همکاران (۲۰۰۹) و شریفی و همکاران (۲۰۰۶)، کاملاً مطابقت دارد.

نسبت برابری زمین (LER)

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۱۰، ملاحظه می‌شود که شاخص LER در سال‌های اول و دوم، آبیاری با آب معمولی و آبیاری با آب مغناطیسی مقدار عددی بیشتر از یک داشته است. یعنی کشت مخلوط ارزن با لوبیا و ماشک گل خوشه‌ای در نسبت‌های ۲:۱ و ۴:۱ دارای مزیت بوده و باعث افزایش عملکرد نسبت به کشت خالص شده است. بالاترین LER مربوط به کشت مخلوط ۴:۱ ارزن-ماشک با کاربرد آب مغناطیسی ثبت گردید که نشان دهنده آن است که محصول زراعت مخلوط بیشتر از تک کشتی می‌باشد بالا بودن LER در کشت مخلوط به دلیل رقابت ضعیف بین دو گونه برای منابعی مثل نور، آب یا عناصر غذایی می‌باشد، در واقع نیازمندی‌های دو گونه نسبت به منابع در دسترس محیطی تفکیک شده و یا تفکیک آشیان‌های اکولوژیکی در بعد زمان و مکان صورت گرفته که موجب افزایش عملکرد کل نظام و سودمندی کشت مخلوط در برابر کشت خالص می‌شود. از دلایل این افزایش به طور کلی رقابت برون گونه‌ای بیشتر نسبت به رقابت درون گونه‌ای محصولات در کشت مخلوط می‌باشد که از اختلاف در نیازهای غذایی، سیستم ریشه‌ای، سیستم فتوسنتزی، طول دوره رشد و ارتفاع دو گیاه ناشی می‌شود (صدرا و حمزه‌ئی ۲۰۲۱).

و در نتیجه کاهش غلظت نیتروژن خاک، موجب افزایش تثبیت زیستی نیتروژن توسط لگوم گردیده و در نتیجه میزان غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی کشت مخلوط غلات-لگوم، حدود سه برابر میزان تجمع نیتروژن در تک کشتی غلات است و افزایش تجمع نیتروژن به افزایش درصد پروتئین خام منجر می‌گردد. از آنجایی که پروتئین خام با میزان نیتروژن در گیاه ارتباط مستقیم دارد، بنابراین جذب بیشتر نیتروژن در کشت مخلوط می‌تواند موجب افزایش پروتئین خام در کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی شود. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نیز با پژوهش‌های ذکر شده کاملاً مطابقت دارد. بیشترین مقدار NDF لوبیا (۴۰۵/۷ گرم در کیلوگرم) در کشت خالص لوبیا با کاربرد آب مغناطیسی و کمترین آن در کشت مخلوط ۲:۱ ارزن-لوبیا برابر (۳۷۸/۲) گرم در کیلوگرم) با کاربرد آبیاری معمولی بود (جدول ۹). شریفی و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی کشت مخلوط سورگوم و لوبیا چشم بلبلی نتیجه گرفت که بیشترین میزان NDF از تیمار کشت خالص لوبیا و کمترین آن از تیمار مخلوط این دو حاصل شد. می‌توان چنین استنباط کرد که در کشت مخلوط بالا بودن تراکم بوته در واحد سطح، موجب لطافت و ظرافت ساقه‌ها می‌شود و در نتیجه مواد فیبری، سلولزی و لیگنینی در علوفه کاهش می‌یابد و بتبع میزان NDF نیز کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش حاضر نشان دهنده این موضوع است که الگوی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص از NDF پایین‌تری برخوردار است که موجب افزایش کیفیت علوفه تولیدی می‌شود. آبیاری با آب مغناطیسی در مقایسه با آبیاری معمولی موجب افزایش میزان NDF در لوبیا و به تبع آن

جدول ۱۰- شاخص LER

شاخص کشت مخلوط	کشت مخلوط	سال اول	سال دوم	آب معمولی	آب مغناطیسی
LER	ارزن - ماشک ۲:۱	۱/۱۴	۱/۱۵	۱/۱۴	۱/۱۴
	ارزن - ماشک ۴:۱	۱/۱۰	۱/۲۰	۱/۱۸	۱/۲۸
	ارزن - لوبیا ۲:۱	۱/۰۹	۱/۰۸	۱/۱۰	۱/۰۸
	ارزن - لوبیا ۴:۱	۱/۱۶	۱/۱۳	۱/۱۴	۱/۱۴

نتیجه گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد آب مغناطیسی باعث بهبود کیفیت و افزایش پروتئین علوفه شد. کشت مخلوط همراه با آبیاری مغناطیسی، می‌تواند گزینه‌ای موثر برای افزایش بهره‌وری و بهبود کیفیت علوفه ارزن، لوبیا و ماشک گل‌خوشه‌ای باشد. بیشترین میزان NDF (۴۷٪) در کشت خالص ارزن و بالاترین مقادیر خاکستر (۵/۲٪) و پروتئین خام (۱۵/۸٪) در کشت مخلوط ارزن-لوبیا (نسبت ۴:۱) و ارزن-ماشک گل‌خوشه‌ای (نسبت ۴:۱) با کاربرد آب مغناطیسی حاصل شد. کاربرد آب مغناطیسی به‌طور متوسط باعث افزایش ۲۲ درصدی پروتئین خام و ۱۸ درصدی کیفیت علوفه در مقایسه با آبیاری معمولی شد. آبیاری مغناطیسی و الگوی کشت اثرات معنی‌داری بر صفات

مورد مطالعه داشتند ($p < 0.01$). کشت مخلوط ارزن-لوبیا (نسبت ۲:۱) و ارزن-ماشک گل‌خوشه‌ای (نسبت ۴:۱) نسبت به کشت خالص، به‌ترتیب ۲۵٪ و ۳۰٪ افزایش در میزان پروتئین و عملکرد علوفه را نشان دادند. تمامی کشت‌های مخلوط نسبت به کشت‌های خالص بر اساس شاخص LER از مزیت زراعی و عملکردی برخوردار بودند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری مرکز تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، مزرعه تحقیقاتی، آزمایشگاه تغذیه و علوم دامی بخاطر همکاری صمیمانه در اجرای این پژوهش قدردانی و تشکر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Abraham T, Thenua OVS and Shivakumar BG. 2010. Impact of levels of irrigation and fertility gradients on dry matter production, nutrient uptake and yield on chickpea (*Cicer arietinum*) intercropping system. *Journal of Legume Research*, 33(1): 10-16.
- Akinyemi SO, and Ojo AA. 2023. Intercropping Legumes and Grasses for Sustainable Forage Production. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(2): 234-245. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.5830>.
- Akinyemi SO, and Ojo AA. 2023. Intercropping Legumes and Grasses for Sustainable Forage Production. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 221, 105397. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.5983>.
- Ansar M, Ahmed ZI, Maliki MA, Nadeem M, Majeed A and Rischkowsky BA. 2010. Forage yield and quality potential of winter cereal-vetch mixtures under rainfed conditions. *The Journal of food Agriculture and Environment*, 22(1): 25-36. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v22i1.4904>.
- Bundy GL and Carter PR. 1988. Corn hybrid response to nitrogen fertilization in northern Corn Belt. *Journal of Production Agriculture*, 1(2): 99-104. <https://doi.org/10.2134/jpa1988.0099>.
- Buxton DR and Mertens DR. 1995. Quality – related characteristics of forages. In: Barnes RF et al. (eds.). *The Science of Grassland Agriculture*, Fifth Edition, Vol. II, Iowa State University Press. Ames, IA, USA, 83-110.
- Dahmardeh M, Ghanbari A, Syasar B and Ramroudi M. 2009. Effect of Intercropping Maize (*Zea mays* L.) With Cow Pea (*Vigna unguiculate* L.) on Green Forage Yield and Quality Evaluation. *Asian. J. Plant. sci.*, 8 (3): 235 – 239. <https://doi.org/10.3923/ajps.2009.235.239>
- De Figueiredo PMC, De Andrade TBA, Coelho LCH. 2023. Enhancing forage yield and nutritional quality of mixed swards. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(1), 12. <https://doi.org/10.1007/s13593.2023.00799z>.
- Dorri HR, Lak MR, Bani-Jamali M, Dadivar M, Ghanbari AA, Khodshenas MA, Asadi B, Nikfam Y and Davood-Abadi A. 2003. Beans (from planting to harvesting). Ministry of Agricultural Jihad, Ostan Markazi Agricultural Jihad Organization, Extension Management and People's Participation, 76 p. (In Persian with English Abstract).

- Erol A, Kaplan M and Kizilsimsek M. 2009. Oats (*Avena sativa*) - common vetch (*Vicia sativa*) mixtures grown on a low-input basis for a sustainable agriculture. *Journal of Tropical Grasslands*, 43: 191-196.
- Eskandari H, Ghanbari A. and Javanmard A. 2009. Intercropping of Cereals and Legumes for Forage Production. *Not. Sci. Biol.*, 1(1):7 - 13. <https://doi.org/10.15835/NSB113479>
- Fujita Y, Matsumoto T, Takahashi W, and Yamatani H. 2020. Enhanced plant growth and prevention of salt stress using magnetic water treatment. *Journal of Plant Physiology*, 246, 153076. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153076>.
- García AR, Martínez AB, and Johnson HE. 2024. Forage quality and its impact on animal production: A review of recent trends and technologies. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 114785. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.114785>.
- Ghanbari Bonjar A. and Lee HC. 2002. Intercropping field beans (*Vicia faba*) and wheat (*Triticum aestivum*) for whole crop forage: Effect of nitrogen on forage yield and quality. *J. Agric. Sci. Cam.*, 138: 311 - 314. <https://doi.org/10.1017/S0021859602002149>.
- Ghosh S, and Ghosh D. 2021. Magnetic water treatment: A review on its effects on plant growth and soil properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(2): 101-118.
- Gopala K, and Singhal R. 2022. Influence of Magnetic Water on Growth Parameters and Nutrient Uptake in Mixed Crop Systems. *Agricultural Water Management*, 249, 106825. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.106825>.
- Hilal MH, El-Fakhrani YM, Mabrouk SS, Mohammed AI, Ebead BM. 2013. Effect of magnetic treatment irrigation water on salt removal from a sandy soil and on the availability of certain nutrients. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2): 36-44.
- Hauggaard- Nielsen H, Ambus P, and Jensen ES. 2003. The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutr. Cycl. Agroecosys*, 65: 289 - 300. <https://doi.org/10.1023/A:1022612528161>.
- Irshad A, Hussain R, and Kafli N. 2022. The role of magnetized water on crop yield enhancement: A systematic review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(3): 2-7.
- Jamshidi Kh. 2008. Investigating some ecophysiological traits of corn and cowpea in mixed cultivation. Doctoral thesis in agriculture, Faculty of Agriculture, University of Tehran. (In Persian with English Abstract).
- Javanmard A, Dabbagh Mohammadi-Nasab A, Javanshir A, Moghaddam M and Janmohammadi H. 2009. Forage yield and quality in intercropping of maize with different legumes as double – cropped. *Journal of food, agriculture and environment*, 7 (1): 163-166.
- Javanshir E, Hamidi A, Dabbagh Mohammadi-Nasab A and Golipour M. 2000. The Ecology of Intercropping, Jahad Daneshgahi of Mashhad Press. (In Persian with English Abstract).
- Jensen ES. 1996. Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea – barley intercrops. *Plant. Soil*, 182: 25-38. <https://doi.org/10.1007/BF00010992>.
- Kazemi Arbat H. 2005. Private agriculture (Volume I: Grains). Academic Publishing Center, Tehran. (In Persian with English Abstract).
- Kendall WA and Stringer, WC. 1985. Physiological aspects of clover. In: Taylor, N. L. (ed) *Clover Science and Technology*, pp. 111-159. Madison, WI: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr25.c4>.
- Khan S, Ali Q, Ullah W, and Murtaza G. 2016. Effects of magnetic field on seed germination and plant growth in various crops. *Journal of Environmental Biology*, 37(3):525-532. <https://doi.org/10.22438/jeb.3731>.
- Khoshghadam Pire Yousefan V, Zehtab Salmasi S, and Shafaq Kalvanaq J. 2021. The effect of different planting patterns on the agronomic characteristics of two chickpea cultivars in intercropping with urban

- pea (*Lallemantia iberica*). Scientific Research Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 31(3):19-30. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.13686>
- Kiyani AR. 2007. Water consumption efficiency and performance of different soybean cultivars under rain irrigation, organization of extension, education and Agricultural research, p 67. (In Persian with English Abstract).
- Lauriault LM, and Kirksey RE. 2004. Yield and nutritive value of irrigated winter cereal forage grass – legume intercrops in the southern high plains, USA. Agron. J., 96: 352 - 358. <https://doi.org/10.2134/agronj.2004.3520>.
- Leather Wood WR. 2005. Influence of salt stress on germination, root elongation and carbohydrate content of five salt tolerant and sensitive taxa. MSc. Thesis, Department of Horticultural Science, North Carolina State University.
- Li, X., and Wang, H. 2021. Protein content assessment in mixed cropping systems: Insights from soybean-maize intercropping. Agronomy, 11(10), 19-35. <https://doi.org/10.3390/agronomy.2021.01.935>.
- Lithourgidis AS, Vasilakoglou IB, Dordas CA and Yiakoulaki MD. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. Field Crop Res, 99: 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.03.008>.
- Macomber PSH. 2010. Guidelines on Rainwater Catchment Systems for Hawaii. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.
- Matthess G, and Rupp H. 2021. Magnetic Water Treatment: Fundamentals and Applications. Environmental Science & Technology, 55(10): 6871-6883. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00879>.
- Mirzaee Sh and Sharifan H. 2014. Effect of using sea water in magnetic and non-magnetic sea conditions on germination of barley. First National Conference on Irrigation and water productivity. Irrigation and Drainage Board, Mashhad, Ferdowsi University. (In Persian with English Abstract).
- Mishra A, Gupta A, and Narayanan S. 2019. Magnetic water treatment: Effects on plant growth under salinity stress. Agricultural Water Management, 211: 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.08.016>.
- Mohammed Abdel-Magid TI, Mohammed Hamdan RM, Bukhari Abdelgader, AA, Attaelmnan Omer ME and Rizg-Allah Ahmed NM. 2017. Effect of Magnetized Water on Workability and Compressive Strength of Concrete. The Journal of Procedia Engineering, 193: 494-500. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.242>.
- Nikbakht J, Khandeh-royan M, Tokli A and Tanpari M. 2013. The effect of under-irrigation with magnetic water on the yield and productivity of agricultural water use. The Journal of water research in agriculture, 27(4): 551-563.
- Ran C, Hongwei Y, Jinsong H and Wanpeng Z. 2009. The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. Journal of Molecular Structure, 93(8): 15-19. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2009.08.037>.
- Rashid SA, and Anwar H. 2023. Advances in Magnetic Irrigation Techniques for Sustainable Agriculture. Environmental Science and Pollution Research, 30(5):12345-12360
- Rezaei H, and Shirdel R. 2023. Intercropping Systems: A Potential Strategy for Increasing Forage Yield and Quality. Crop Science, 63(3): 789-801.
- Ross SM, King JR, O Donovan JT and Spaner D. 2005. The productivity of oats and berseem clover intercrops. I. Primary growth characteristics and forage quality at four densities of oats. Grass Forage Sci, 60: 74-86. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2005.00455.x>.
- Sadra T and Hamzei J. 2021. Investigating the efficiency of triticale (*Triticosecale*) mixed cultivation with *vicia villosa* L. using competition indicators under different tillage systems. Scientific Research Journal

- of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 31(3): 1-18. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.41625.2541>.
- Sharifi Y, Agha Alikhani M, Modarres Sanavi AM and Soroushzadeh, A. 2006. The effect of mixing ratio and plant density on fodder production in mixed cultivation of sorghum with cowpea. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 1-37(2): 370-363. (In Persian with English Abstract).
- Shokrani F, Jalilian J, Pirzad A and Rezaei-Chiyaneh E. 2018. Effect of phosphate solubilizing bacteria inoculation on yield's characteristics of dragon's head (*Lallemantia iberica*) and chickpea (*Cicer aritinum* L.) in monoculture and intercropping conditions. Iranian Dryland Agronomy Journal, 6(2): 209-228. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/idaj.2018.116307>.
- Sirousmehr A, Javanshir A, Rahimzadeh Khoye F and Moghaddam M. 2003. Pearl millet and common vetch intercropping. Journal of Biaban.8 (2): 250-263. (In Persian with English Abstract).
- Smith, J. R., Jones, A. K., & Thompson, M. L. (2023). The impact of forage quality on livestock performance: A meta-analysis. Journal of Animal Science, 101(3), 231-245. <https://doi.org/10.3168/jas.2023.00128>.
- Tavakkoli A, Qalavand A, Moradi M, Zare A and Najafi A. 2013. Investigating the quantity and quality of forages in alfalfa and fennel mixed cultivation. Summary of articles of the National Conference of Natural Products and Medicinal Plants. (In Persian with English Abstract).
- Toukara A, Clermont-Dauphin C, Affholder F, Ndiaye S, Masse D and Cournac L. 2020. Inorganic fertilizer use efficiency of millet crop increased with organic fertilizer application in rainfed agriculture on smallholdings in central Senegal. The Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment, 294(1): 106-878. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106878>
- Van Soest PJ. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. In: Van Soest PJ. (ed.) Fiber and Physicochemical Properties of Feeds. 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca and London, 140-155.
- Yolcu H, Polat M. and Aksakal V. 2009. Morphologic, yield and quality parameters of some annual forages as sole crops and intercropping mixtures in dry conditions for livestock. J. Food. Agric. Environ, 7(3&4): 594 - 599.
- Zhang J, and Li J. 2023. Effects of Intercropping Leguminous and Gramineous Species on Forage Quality and Yield in Arid Zones. Agronomy Journal, 115(4): 1035-1047