

## Research Article

Vol. 18, No.2, 2026, p. 185-203



## Evaluation of the Effect of Integrated Biochar and Fertilizer Management on Forage Corn (*Zea mays* L.) Yield and Quality

Seyed Jalil Davarpanah<sup>1</sup>, Parviz Rezvani Moghaddam <sup>1\*</sup>, Soroor Khorramdel <sup>1</sup>, Mehdi NassiriMahallati <sup>1</sup>, Jafar Nabati<sup>1</sup>

1- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

\*Corresponding Author's Email: [rezvani@um.ac.ir](mailto:rezvani@um.ac.ir)**How to cite this article:**

Received: 01-11-2025

Revised: 20-12-2025

Accepted: 05-01-2026

Available Online: 22-06-2026

Davarpanah, S. J., Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., & Nabati, J. (2026). Evaluation of the effect of integrated biochar and fertilizer management on forage corn (*Zea mays* L.) yield and quality. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 18(2), 185-203. (In Persian).  
<https://doi.org/10.22067/ijasr.2026.96295.1277>

**Introduction:** Corn (*Zea mays* L.) ranks alongside wheat and rice as a major staple crop, essential for its nutritional role and as a primary feed source for livestock. In Iran, forage corn production is pivotal to the livestock sector, with annual silage demand reaching approximately 15 million tons (Bazri *et al.*, 2021). Domestic production covers this requirement, but the system faces persistent sustainability challenges. Nitrogen use efficiency is low, around 29%, compared with a global mean of 33%, and this inefficiency drives both economic loss and environmental damage through nitrate leaching and water contamination (Kazemi *et al.*, 2018). Heavy reliance on chemical fertilizers, particularly urea, exacerbates these issues by endangering groundwater and raising health concerns, including methemoglobinemia and certain cancers (World Health Organization, 2017; Sidana *et al.*, 2023). Consequently, a transition toward sustainable practices has been proposed, involving the partial replacement of chemical inputs with organic amendments such as biochar and manure. These materials have been shown to enhance soil properties and reduce ecological risks (Gliessman, 2014; Kizilkaya, 2008). Biochar, produced by pyrolyzing plant residues under oxygen-limited conditions, is highly stable in soil, enhances fertility, and contributes to carbon sequestration (Darby *et al.*, 2024; Feng *et al.*, 2012). The present study examined forage yield and quality responses when biochar was combined with fertilizers and amendments, including cattle manure, slurry, and their mixtures.

**Materials and Methods:** The field experiment was conducted at the experimental station of Ferdowsi University of Mashhad during the 2021 and 2022 growing seasons. The study site is located in a semi-arid zone, with a mean annual temperature of 15.7°C and a mean yearly rainfall of 256 mm. A split-plot layout based on a randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications was used. Main plots were biochar (applied or not), and subplots included seven fertilizer treatments: control (C), urea fertilizer (U), cattle manure (M), slurry (S), and three mixtures (UM, US, MS). Biochar was applied only in the first season at 20 t/ha, following earlier recommendations (Kabir *et al.*, 2023; Qiu *et al.*, 2024). Fertilizer rates were



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/))

 <https://doi.org/10.22067/ijasr.2026.96295.1277>

adjusted to nitrogen equivalence: 340 kg/ha urea fertilizer, 50 ton/ha cattle manure, 60.15 m<sup>3</sup>/ha slurry. Slurry was prepared from cattle waste, fermented aerobically with *Bacillus*, and then sterilized with ozone. Before sowing, soil, biochar, and slurry samples were analyzed for their physicochemical properties. Corn was planted with pneumatic seeders at 143,000 plants/ha. Irrigation was applied via a drip tape to maintain a 60% depletion of field capacity. Urea treatments were split into equal applications at the 4-leaf, 6-leaf, and tasseling stages. Weeds were removed manually, and no pest or disease incidence was recorded. The indicators studied included corn forage yield and quality characteristics, such as neutral detergent insoluble fiber (NDF) and acidic detergent insoluble fiber (ADF), which measure the amount of cell wall and hemicellulose-free cell wall in the forage. Analysis of variance (ANOVA) was performed using SAS v9.1 software, and MS Excel 2019 was used for mathematical calculations and preparing figures. Mean comparisons were performed using the least significant difference (LSD) test at  $P < 0.05$ . An initial examination of the homogeneity of the error variances between the two years' data was performed using the Bartlett test. It was found that many traits did not exhibit homogeneity, so the data for each year were analyzed separately for variance.

**Results and Discussion:** Biochar combined with fertilizers significantly affected forage yield and quality. Biochar-amended plots showed improved soil structure and nutrient retention, consistent with earlier findings of enhanced water-holding capacity and microbial activity (Zhang *et al.*, 2009; Yuniwati, 2018; Liu *et al.*, 2024). Mixtures of manure and chemical fertilizers, particularly UM and MS, produced higher yields and improved forage quality traits: acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), total digestible nutrients (TDN), dry matter intake (DMI), and net energy for lactation (NEL), all critical for livestock feeding efficiency (Pedersen *et al.*, 2017). Evidence also indicates that manure–slurry combinations support microbial diversity and nutrient cycling (Zhang *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2024). Biochar's role in carbon stabilization and nitrogen retention is highly relevant in Iranian soils with low organic matter. Slurry provided readily available nitrogen, complementing the slower release from manure, ensuring a steady nutrient supply. Results indicated that biochar mitigated excess nitrogen, reducing the risk of nitrate contamination and related health issues (World Health Organization, 2017; Sidana *et al.*, 2023). Some reports (Darby *et al.*, 2024) noted limited yield effects from biochar alone, but in this experiment, its integration with amendments clearly enhanced both yield and forage quality. Mixing biochar with fertilizers thus improves forage corn output, decreases dependence on chemical inputs, and strengthens soil condition.

**Conclusion:** Integrating biochar with manure and chemical fertilizers improved forage yield and quality parameters, including ADF, NDF, TDN, DMI, and NEL. Biochar combined with manure and slurry mixtures reduced dependence on chemical fertilizers while enhancing soil properties. Therefore, integrated biochar and fertilizer management can be recommended as a sustainable strategy for forage corn production in semi-arid regions.

**Keywords:** Acid detergent fiber, Forage quality, Net energy for lactation, Neutral detergent fiber

## ارزیابی تأثیر مدیریت تلفیقی بیوپار و منابع کودی مختلف بر عملکرد و شاخص های کیفی ذرت (*Zea mays* L.) علوفه ای

سید جلیل داورپناه<sup>۱</sup>، پرویز رضوانی مقدم<sup>۱\*</sup>، سرور خرم دل<sup>۱</sup>، مهدی نصیری محلاتی<sup>۱</sup>، جعفر نباتی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

### چکیده

چالش های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی، پایداری تولید ذرت (*Zea mays* L.) علوفه ای به عنوان نهاده مهم تولیدات دامی را تهدید می کند. این تحقیق به منظور بررسی امکان تولید پایدار ذرت علوفه ای با جایگزینی یا کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه اجرا گردید. آزمایش در طی دو سال متوالی در قالب کرت های خرد شده براساس طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد به طوری که کرت های اصلی شامل استفاده و عدم استفاده از بیوپار و کرت های فرعی شامل هفت سطح کودی شامل شاهد، کود اوره، کود گاوی، شیرابه دامی، ترکیب دوگانه کود شیمیایی و گاوی، ترکیب دوگانه کود شیمیایی و شیرابه دامی و همچنین ترکیب دوگانه کود گاوی و شیرابه دامی بودند. شاخص های مورد بررسی شامل عملکرد کمی و کیفی علوفه ذرت بود. نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین تیمارهای آزمایش از لحاظ عملکرد علوفه و کاهش درصد فیبر خام وجود داشت. همچنین ترکیب های مختلف کودهای گاوی و شیمیایی تأثیر مطلوبی بر شاخص های کیفی شامل درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، کل مواد مغذی قابل هضم، ماده خشک مصرفی و انرژی ویژه شیردهی داشت. براساس یافته های آزمایش می توان ترکیب بیوپار با کودهای مختلف را بسته به شرایط محیطی و مدیریتی برای دستیابی به حداکثر کمیت و کیفیت علوفه مورد استفاده قرار داد.

**واژه های کلیدی:** انرژی ویژه شیردهی، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی، فیبر نامحلول در شوینده خنثی، کیفیت علوفه

### مقدمه

ذرت با نام علمی *Zea mays* L. یکی از سه محصول اصلی زراعی جهان در کنار گندم (*Triticum aestivum* L.) و برنج (*Oryza sativa* L.) ارزیابی می شود. ارزش غذایی بالای دانه و علوفه و به تبع آن، مصارف و کاربردهای گسترده آن باعث شده که ذرت با دارا بودن جایگاهی ویژه در تولیدات زراعی و دامی، نقشی بی بدیل در امنیت غذایی ایفا کند (Aller et al., 2018; Dehghani, 2024). براساس آمار رسمی وزارت جهاد کشاورزی، نیاز سالانه کشور به ذرت علوفه ای سیلویی در حدود ۱۵ میلیون تن است. با وجود اینکه تولید ملی این محصول به سطح خودکفایی رسیده، اما چالش های موجود در زمینه پایداری تولید همچنان جدی و

نگران کننده است (Bazri et al., 2021). یافته های برخی تحقیقات داخلی نشان داده است که به کارگیری برخی تکنیک های مدیریتی فنی زراعی و همچنین توصیه های تحقیقاتی، می تواند بهره وری نهاده ها علی الخصوص کود و آب را افزایش دهد. در این راستا، در مزارعی در کرمانشاه، استفاده از این توصیه ها سبب رشد ۱۶/۴ درصدی عملکرد علوفه و کاهش هزینه های تولید شد (Zarei et al., 2023).

ذرت گیاهی با نیاز بالا به نیتروژن (نیتروفیل) به حساب می آید و این نیاز معمولاً با کودهای شیمیایی نیتراتی همچون اوره تأمین می شود، با این حال، کارایی مصرف نیتروژن در سطح جهانی حدود ۳۳ درصد و در ایران ۲۹ درصد گزارش شده (Kazemi et al., 2018) که نشان دهنده اتلاف بالای این منبع تغذیه ای در کشت بوم های زراعی ذرت است. با توجه به حجم قابل توجه کود اوره مصرفی در تولید ذرت، بدیهی است که حتی افزایش یک درصدی کارایی مصرف نیتروژن می تواند مزایای اقتصادی و زیست محیطی قابل توجهی

۱- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
(\*) نویسنده مسئول: (Email: rezvani@um.ac.ir)

داشته باشد.

کشاورزی پایدار برای کاهش وابستگی به نهاده‌های شیمیایی و استفاده از نهاده‌های سازگار با محیط زیست اهمیت ویژه‌ای قائل است (Gliessman, 2014; Kizilkaya, 2008).

بیوپار به‌عنوان یکی از این نهاده‌های بوم‌سازگار، ماده‌ای آلی حاصل از پیرولیز مواد آلی (بقایای گیاهی، دامی و کودهای آلی و نظایر این‌ها) است که به‌دلیل ساختار آروماتیک، در برابر تجزیه میکروبی در خاک مقاوم بوده و برای مدتی طولانی در خاک باقی می‌ماند (Darby et al., 2024). بیوپار با داشتن درصد بالای کربن پایدار، توانایی قابل قبولی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد و می‌تواند سطح کربن آلی خاک را افزایش دهد (Feng et al., 2012; Dong et al., 2013). این مزیت برای خاک‌های بوم‌نظام‌های کشاورزی ایران که از نظر ماده آلی بسیار فقیر به‌شمار می‌آید، علاوه‌بر ارتقاء حاصل‌خیزی، به‌عنوان راهبرد مؤثری برای ترسیب کربن در خاک اهمیت دارد.

مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنه در کشت ذرت، مشکلاتی مانند آلودگی نیتراتی منابع آب و بیماری‌های گوارشی ایجاد کرده است (World Health Organization, 2017; Sidana et al., 2023).

مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که ترکیب بیوپار با کودهای اوره و آلی می‌تواند بر خصوصیات خاک تأثیر سازنده‌ای داشته باشد، اگرچه ممکن است که در برخی موارد نیز تفاوتی قابل توجه و معنی‌دار در عملکرد علوفه مشاهده نشود (Darby et al., 2024). در ایران نیز یافته‌های تحقیقاتی، تأثیرات مشابهی برای بیوپار برشمرده‌اند. در پژوهشی نشان داده شد که بیوپار حاصل از کود مرغی سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و غلظت عناصر کم‌مصرف در ذرت علوفه‌ای شده و در نتیجه کارایی تولید و عملکرد محصول را افزایش داده و می‌تواند هزینه‌های تولید را کاهش دهد (Kazemi et al., 2018).

همچنین در پژوهشی دیگر نیز استفاده از بیوپار به‌همراه سطوح مختلف آبیاری، عملکرد ذرت علوفه‌ای را به‌میزان قابل توجهی بهبود داد (Bazri et al., 2021). مطالعات دیگری نیز تأثیرات مثبت بیوپار بر ظرفیت نگهداری آب خاک، کاهش تنش رطوبتی و بهبود فعالیت میکروبی را تأیید (Zhang et al., 2009; Yuniwati, 2018; Liu et al., 2024; Lavagi et al., 2024; Jagnade et al., 2022; Hu et al., 2024) و تأکید کرده‌اند که ترکیب بیوپار علاوه‌بر استفاده هم‌زمان با کودهای شیمیایی، در ترکیب با کودهای آلی مانند کمپوست و کود دامی نیز موجب افزایش تنوع میکروبی، بهبود تجزیه مواد آلی و ذخیره بیشتر کربن در خاک گردید (Zhang et al., 2024; Wang et al., 2024).

کودهای آلی دامی به‌عنوان قدیمی‌ترین کود مورد استفاده در کشاورزی، نقش مهمی در حفظ و ارتقاء عملکرد محصولات داشته‌اند (Singh et al., 2002). شیرابه دامی نیز به‌عنوان منبعی ارزان و قابل

دسترس برای تأمین نیتروژن شناخته می‌شود (Simon et al., 2017; Pedersen et al., 2015). پژوهش‌های مختلفی در کشت ذرت، برنج، سویا (Glycine max (L.) Merr) و مرکبات نشان داده‌اند که شیرابه دامی اثرات مثبت قابل توجهی داشت (Baradhan et al., 2022; Turabi et al., 2024; Kahandage et al., 2023; Imran, 2024).

اهمیت تولید ذرت علوفه‌ای در امنیت غذایی کشور در عین مواجهه با چالش‌های زیست‌محیطی ناشی از کارایی مصرف کم کودهای شیمیایی، در کنار پتانسیل مطلوب بیوپار و شیرابه دامی به‌عنوان ارتقادهنده و اصلاح‌کننده پایدار حاصلخیزی خاک، نیاز به پژوهشی جامع که ترکیب این نهاده‌ها را مورد بررسی قرار دهد را مورد تأکید قرار می‌دهد. فراتر از آن، با در نظر گرفتن وجود خلأ محسوس در ادبیات علمی کشور در زمینه ارزیابی جامع کیفیت علوفه تحت تأثیر بیوپار و شیرابه دامی، هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر استفاده از ترکیبات مختلف منابع کودی در حضور و عدم حضور بیوپار برای تولید علوفه ذرت و همچنین، بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه تولیدی بود.

## مواد و روش‌ها

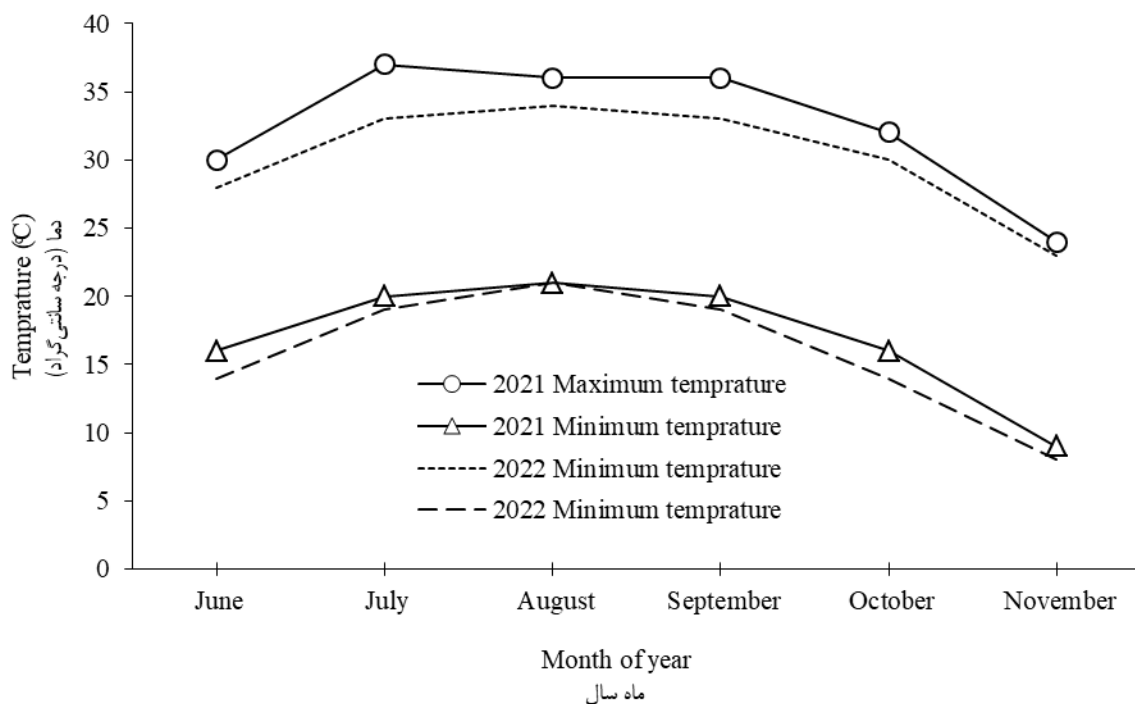
**الف- محل اجرای آزمایش:** پژوهش حاضر در دو سال زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در مزرعه آموزشی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. اقلیم این منطقه در طبقه‌بندی کوپن با عنوان نیمه‌خشک (BSk) مشخص می‌شود. ارتفاع متوسط از سطح دریا ۹۸۵ متر، میانگین سالانه بارش ۲۵۶ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۵/۷ درجه سانتی‌گراد است، متوسط درجه حرارت طی دوره رشد در شکل ۱ نشان داده شده است.

**طرح آماری و عامل‌های آزمایش:** آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ اجرا شد. عامل اصلی بیوپار در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد و عامل فرعی نیز انواع مختلف کود با هفت سطح شامل شاهد (C)، کود شیمیایی (U)، کود گاوی (M)، شیرابه دامی (S)، ترکیب دوگانه UM، ترکیب دوگانه US و همچنین ترکیب دوگانه MS بود.

**روش تهیه شیرابه دامی:** برای تهیه شیرابه دامی، ابتدا مایع استراتر شیرابه تهیه شد. به این منظور، مایه تلقیح باکتری‌های هوازی *Bacillus* را در بشکه‌ای ریخته و پس از مخلوط کردن آن با مقداری از بقایای جامد و مایع فضولات گاوی، شرایط هوازای برای مخلوط ایجاد گردید. در این راستا، جهت هوادهی بهینه و پیش‌برد بهتر و افزایش سرعت تکثیر جمعیت باکتری‌ها، به مدت دو هفته، روزانه در چند نوبت مخلوط توسط همزن دستی به هم زده شد. تغییرات

مخلوط استارتر نیز به صورت روزانه و با استفاده از دستگاه اوزون ژنراتور و تزریق گاز به مخلوط انجام شد. کلیه فرآیندهای مورد اشاره تا زمان ثابت شدن اسیدیته مخلوط ادامه پیدا کرد.

اسیدیته مایع استارتر به عنوان شاخصی از تغییرات جمعیت میکروبی در نظر گرفته شده و روزانه اندازه‌گیری گردید. تغییرات اسیدیته مخلوط از قلیایی به اسیدی و ایجاد مخلوطی همگن و غلیظ نشان‌دهنده حصول نتیجه مطلوب از ایجاد جمعیت میکروبی قابل قبول بود. ضد عفونی



شکل ۱- متوسط کمینه و بیشینه دمای محل اجرای آزمایش در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲  
Figure 1- Average minimum and maximum temperature of the test site in 2021 & 2022

مقدار مصرف این تیمارها با در نظر گرفتن مقادیری از کود گاوی و شیرابه دامی که معادل همان مقدار نیتروژن موجود در کود اوره باشد، استفاده گردید. مقدار مصرف اوره نیز براساس آزمون خاک و توصیه کودی برای گیاه ذرت تعیین گردید (جدول ۲).

براساس تحقیقات و مقالات مرتبط و با در نظر گرفتن مقدار معادل عناصر تغذیه‌ای، میزان مصرف بیوپار در سال اول ۲۰ تن در هکتار در نظر گرفته شد (Uzoma et al., 2011). پس از آن، کربندی انجام شده و تیمارهای کودی با در نظر گرفتن طرح آزمایشی و به صورت تصادفی به کرت‌های فرعی اختصاص داده شد. تیمارهای حاوی کودهای گاوی و بیوپار در کرت‌های مربوطه بر روی خاک ریخته شده و سپس با استفاده از دستگاه سیکلوتیلر و همچنین نیروی انسانی کاملاً با خاک مخلوط شدند. مساحت کرت‌های آزمایش ۱۴ مترمربع (۴×۳/۵ متر) بود و فاصله بین کرت‌ها و بلوک‌های مجاور ۱/۵ متر تعیین شد.

پس از آن، بقایای دفعی فضولات گاوی از گاوداری دانشگاه فردوسی مشهد جمع‌آوری و در بشکه‌ای ۲۰۰۰ لیتری ریخته شده و محلول استارتر به آن اضافه گردید. فرآیندهای تشریح شده برای تهیه استارتر، برای مخلوط جدید نیز به انجام رسید و پس از یک ماه، شیرابه تهیه شده نمونه‌گیری شده و به آزمایشگاه جهت تعیین مقدار درصد عناصر غذایی ارسال گردید. نتایج این آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

**روش اجرای آزمایش و مدیریت زراعی:** عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی بستر در اردیبهشت‌ماه با گاوآهن برگردان‌دار و سپس دو بار دیسک عمود بر هم انجام شده و در نهایت با لولر سطح زمین تسطیح گردید. پس از آماده‌سازی بستر کاشت، نمونه‌هایی تصادفی توسط اگر تا عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک جمع‌آوری شدند و همراه با کود گاوی و شیرابه دامی مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفتند (جدول ۱). براساس نتایج آزمایش خاک، میزان نیتروژن مورد نیاز برای کرت‌های آزمایش مشخص شد. با توجه به آنالیز میزان نیتروژن موجود در کود گاوی، شیرابه دامی و کود شیمیایی (اوره)،

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، کود گاوی و شیرابه دامی مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of the farm soil, cattle manure, and livestock leachate used in the experiment

|                           | ویژگی               | مقدار  | ویژگی                      | مقدار       | ویژگی                | مقدار     |
|---------------------------|---------------------|--------|----------------------------|-------------|----------------------|-----------|
|                           | Property            | Value  | Property                   | Value       | Property             | Value     |
| خاک<br>Soil               | شن<br>Sand          | % 40   | کربن آلی<br>Organic carbon | % 0.768     | اسیدیته<br>pH        | 7.72      |
|                           | رس<br>Clay          | % 40   | آهک<br>Lime                | % 40.15     | هدایت الکتریکی<br>EC | 2.04 dS/m |
|                           | سیلت<br>Silt        | % 20   | فسفر<br>Phosphorus         | % 0.3       |                      |           |
|                           | نیتروژن<br>Nitrogen | % 0.08 | پتاسیم<br>Potassium        | % 0.31      |                      |           |
|                           |                     |        |                            |             |                      |           |
| کود گاوی<br>Cattle manure | نیتروژن<br>Nitrogen | % 1.25 | کربن آلی<br>Organic carbon | 16.2        | اسیدیته<br>pH        | 6.91      |
|                           | فسفر<br>Phosphorus  | % 0.83 | ماده آلی<br>Organic matter | 27.92 mg/kg | هدایت الکتریکی<br>EC | 9.4 dS/m  |
|                           | پتاسیم<br>Potassium | % 2.2  | C.N                        | 12.96 mg/kg |                      |           |
|                           |                     |        |                            |             |                      |           |
| شیرابه دامی<br>Slurry     | نیتروژن<br>Nitrogen | % 2.6  | کربن آلی<br>Organic carbon | % 0.53      | اسیدیته<br>pH        | 6.84      |
|                           | پتاسیم<br>Potassium | % 0.3  | فسفر<br>Phosphorus         | % 0.0393    | هدایت الکتریکی<br>EC | 21.2 dS/m |

جدول ۲- میزان نیتروژن موجود در کودهای مورد استفاده و مقدار استفاده هر کود در آزمایش

Table 2- Amount of nitrogen in fertilizing amendments and amount used (calculated) of each in the experiment

| نوع کود<br>Fertilizer type | درصد نیتروژن<br>Nitrogen (%) | میزان مصرف<br>Amount of use            | توضیحات<br>Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------|------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| اوره<br>Urea               | 46                           | 340 kg/ha <sup>-1</sup>                | * میزان آزادسازی نیتروژن از کود دامی در هر سال ۲۵ درصد از کل نیتروژن آن می‌باشد ( Gale et al., 2006 )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| کود گاوی<br>Cattle manure  | 1.25                         | 50 ton/ha <sup>-1</sup>                | * آنالیز کودها در کشاورزی، دانشگاه مین:<br>The rate of nitrogen release from manure is 25% of its total nitrogen per year (Gale et al., 2006)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| بیوچار<br>Biochar          | -                            | 20 ton/ha <sup>-1</sup>                | * Fertilizer Analysis in Agriculture, University of Maine<br><a href="http://anlab.umesci.maine.edu/soillab_files/forms/Manure.pdf">http://anlab.umesci.maine.edu/soillab_files/forms/Manure.pdf</a><br><a href="https://www.umass.edu/agriculture-food-environment/sites/ag.umass.edu/files/fact-sheets/pdf/ManureasaNutrientResource(11-37).pdf">https://www.umass.edu/agriculture-food-environment/sites/ag.umass.edu/files/fact-sheets/pdf/ManureasaNutrientResource(11-37).pdf</a> |
| شیرابه دامی<br>Slurry      | 2.6                          | 60.15 m <sup>3</sup> /ha <sup>-1</sup> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

رطوبت‌سنج و براساس تخلیه ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک تنظیم گردید. مهار هفتگی علف‌های هرز تا زمان بسته‌شدن کامل تاج‌پوشش به‌صورت دستی انجام شد. با پایش مستمر وضعیت مزرعه، در دوره رشد گیاه، آفت یا بیماری خاصی مشاهده نگردید.

میزان مصرف تیمارهای آزمایش در سال دوم مشابه سال اول بود. بیوچار فقط در سال اول با مقدار ۲۰ تن در هکتار اعمال شد، در حالی که کود گاوی در سال دوم با توجه به مقدار از دسترس خارج شده و همچنین درصد میزان آزادسازی عناصر، به‌میزان ۵۰ درصد مقدار

بذر مورد استفاده در آزمایش، بذر وارداتی رقم هیدو (شرکت مای ترکیه) بود که با بذرکار پنوماتیک کاشته شد. کاشت بذرهای در نیمه خردادماه با فاصله بین ردیف‌ها ۷۰ سانتی‌متر و روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر انجام گردید، بر این اساس، تراکم کاشت حدود ۱۴۳ هزار بوته در هکتار بود. تیمارهای کودهای شیمیایی و شیرابه دامی طی فصل رشد به‌صورت تقسیط‌شده در سه مرحله چهار برگی، شش برگی و مرحله ظهور تاسل مصرف شدند. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و دور آبیاری با استفاده از دستگاه

### الف. عملکرد کمی علوفه

**عملکرد علوفه:** نتایج نشان داد که در هر دو سال آزمایش، اثر بیوچار و تیمارهای کودی بر عملکرد علوفه ذرت معنی‌دار بود (جدول ۳). یافته‌های مربوط به سال ۱۴۰۰ نشان داد که کاربرد بیوچار سبب افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه ذرت شد (شکل ۲)، به نحوی که عملکرد علوفه ذرت در شرایط کاربرد بیوچار ۱۷ درصد افزایش یافت. در این سال، در بین تیمارهای کودی کمترین عملکرد علوفه در گروه شاهد مشاهده شد، در حالی که بیشترین عملکرد علوفه ذرت به طور مشترک از تیمارهای کود شیمیایی و کود شیمیایی + شیرابه دامی به دست آمد (شکل ۲). در این سال، عملکرد علوفه ذرت در همه تیمارهای کودی در مقایسه با گروه شاهد افزایش نشان داد و بیشترین درصد افزایش به تیمار کود شیمیایی (۳ درصد) اختصاص داشت (شکل ۲).

در سال ۱۴۰۱، عملکرد علوفه ذرت در شرایط کاربرد بیوچار به طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۲)، به نحوی که در این سال، تیمار بیوچار عملکرد علوفه را ۱۱ درصد افزایش داد. در این سال، در بین تیمارهای کودی نیز کمترین عملکرد علوفه ذرت به گروه شاهد اختصاص داشت، همچنین بیشترین عملکرد علوفه ذرت نیز از تیمار کود شیمیایی + شیرابه دامی به دست آمد (شکل ۲)؛ بیشینه و کمینه درصد افزایش عملکرد علوفه ذرت در مقایسه با گروه شاهد به ترتیب به تیمارهای کود شیمیایی + شیرابه دامی (۱۹ درصد) و کود شیمیایی (۸ درصد) اختصاص داشت (شکل ۲).

در مطالعات پیشین، استفاده از بیوچار در ترکیب با کودهای دامی و شیمیایی نشان داد که می‌تواند به بهبود عملکرد ذرت سیلویی کمک کند (Lentz et al., 2015). مصرف بیوچار به ویژه در شرایط تنش آبی موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت می‌شود. در مطالعه چارخاب و همکاران (Charkhab et al., 2021)، کاربرد بیوچار سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و شاخص‌های رشدی ذرت شد.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از کود گاوی، به ویژه در ترکیب با بیوچار و اوره، اثر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش عملکرد ذرت سیلویی دارد. این اثر عمدتاً ناشی از نقش کود گاوی در ارتقاء خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بهبود ساختار خاک، افزایش فعالیت میکروبی و ارتقاء ظرفیت نگهداری آب است. آزادسازی تدریجی عناصر غذایی توسط کود دامی، تأمین پایدار نیازهای تغذیه‌ای گیاه را ممکن ساخته و شرایط رشد مطلوب را فراهم می‌نماید. افزون بر این، افزایش ماده آلی خاک از طریق مصرف کود دامی، توانایی گیاه در جذب عناصر ضروری را تقویت کرده و در نهایت، به بهبود کمی و کیفی محصول منجر می‌شود (Young &

مصرفی سال اول مورد استفاده قرار گرفت. شایان ذکر است که مکان زمین آزمایشی در هر دو سال به منظور پیشگیری از اثر اختلاط کودهای مصرفی، بدون تغییر باقی مانده و تیمارها در سال دوم به همان کرت‌های متناظر سال قبل اختصاص پیدا کرد.

**اندازه‌گیری‌ها:** شاخص‌های مورد بررسی شامل عملکرد علوفه و ویژگی‌های کیفی علوفه ذرت نظیر مقدار فیبر نامحلول در مواد شوینده خنثی<sup>۱</sup> و فیبر نامحلول در مواد شوینده اسیدی<sup>۲</sup> بودند که معیاری از میزان دیواره سلولی و دیواره سلولی عاری از همی سلولز در علوفه هستند. پس از اینکه علوفه هر کرت به صورت جداگانه برداشت شد، هشت نمونه ۱۰۰ گرمی از علوفه برداشته و نمونه‌ها با هم ترکیب شدند. در نتیجه، نمونه نهایی از آن برای اندازه‌گیری‌های مربوطه به آزمایشگاه منتقل گردید. شاخص‌های کیفی مورد اشاره براساس روش ون سوست و همکاران (Van Soest et al., 1991) اندازه‌گیری شدند. در نهایت، کل مواد غذایی قابل هضم<sup>۳</sup>، ماده خشک مصرفی<sup>۴</sup> و انرژی ویژه شیردهی<sup>۵</sup> نیز با استفاده از معادله‌های ۱ تا ۳ (Lithourgidis et al., 2006) محاسبه شدند.

$$TDN = (-1.29 \times ADF) + 101.35 \quad (1)$$

$$DMI = (120 / \%NDF \text{ dry matter basis}) \quad (2)$$

$$NEL = (1.044 - (.0119 \times \%ADF)) \times 2.205 \quad (3)$$

که در آن‌ها، TDN: کل مواد غذایی قابل هضم برحسب درصد از کل ماده خشک، DMI: ماده خشک مصرفی برحسب کیلوگرم در روز و NEL: ماده خشک مصرفی برحسب مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک می‌باشد.

### تجزیه و تحلیل آماری:

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS v9.1 انجام و برای محاسبات ریاضی و تهیه شکل‌ها از MS Excel 2019 استفاده شد. به منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. پس از بررسی اولیه همگنی بین واریانس خطای داده‌های دو سال با استفاده از آزمون بارتلت، مشخص شد که بسیاری از صفات مورد مطالعه دارای همگنی بین واریانس خطا را دارا نبودند، بنابراین داده‌های هر سال به صورت مجزا مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند.

### نتایج و بحث

- 1- Neutral detergent fiber
- 2- Acid detergent fiber
- 3- Total digestible nutrients
- 4- Dry matter intake
- 5- Net energy for lactation

سیلویی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شیرابه دامی به دلیل غلظت بالای نیتروژن و عناصر غذایی، می‌تواند به بهبود عملکرد ذرت سیلویی کمک کند. در برخی از مطالعات، استفاده از شیرابه دامی منجر به کاهش نشت نیتروژن و بهبود جذب نیتروژن توسط گیاه شده است (Ahmed et al., 2019; Sherman et al., 2021). اوره نیز به عنوان یک کود شیمیایی نیتروژنی، تأثیر مثبتی بر عملکرد ذرت سیلویی دارد (Safdarian et al., 2014; Nilahyane et al., 2018).

(Sherman, 2024). کود دامی، به ویژه کود گاوی، به عنوان یک منبع نیتروژن مهم برای ذرت سیلویی شناخته می‌شود. تحقیقات نشان داده‌اند که کود دامی می‌تواند غلظت عناصر مغذی مانند مس، منگنز و نیتروژن را به طور قابل توجهی افزایش دهد و در نتیجه عملکرد محصول را بهبود بخشد. به عنوان مثال، استفاده از کود دامی باعث افزایش ۱/۳ برابری در غلظت نیتروژن و عملکرد ذرت سیلویی نسبت به گروه شاهد شد (Lentz & Ippolito, 2012). شیرابه دامی و اوره نیز به عنوان منابع نیتروژن در کشت ذرت

جدول ۳- تجزیه واریانس خصوصیات کمی علوفه ذرت در شرایط کاربرد تیمارهای مختلف در طی دوره‌های آزمایش  
Table 3- ANOVA of corn forage yield under different treatments during the experiment years

| منبع تغییرات<br>Source of variation | درجه آزادی<br>df | میانگین مربعات<br>Mean of squares          |                                            |
|-------------------------------------|------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                     |                  | عملکرد علوفه (1400)<br>Forage yield (2021) | عملکرد علوفه (1401)<br>Forage yield (2022) |
|                                     |                  |                                            |                                            |
| بلوک<br>Block (B)                   | 2                | **980484906                                | 87764164 <sup>ns</sup>                     |
| بیوچار<br>Biochar (A)               | 1                | **4881119327                               | *122427724                                 |
| خطای کرت اصلی<br>B × A              | 2                | 551736                                     | 56484151                                   |
| کود<br>Fertilizing amendment (F)    | 6                | **1761849703                               | **203727153                                |
| بیوچار × کود<br>F × A               | 6                | 37377172 <sup>ns</sup>                     | 83099837 <sup>ns</sup>                     |
| خطای کرت فرعی<br>Error              | 24               | 44893855                                   | 44502970                                   |
| ضریب تغییرات (%)<br>CV (%)          |                  | 4.9                                        | 6.3                                        |

ns, \* و \*\*: به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد است.

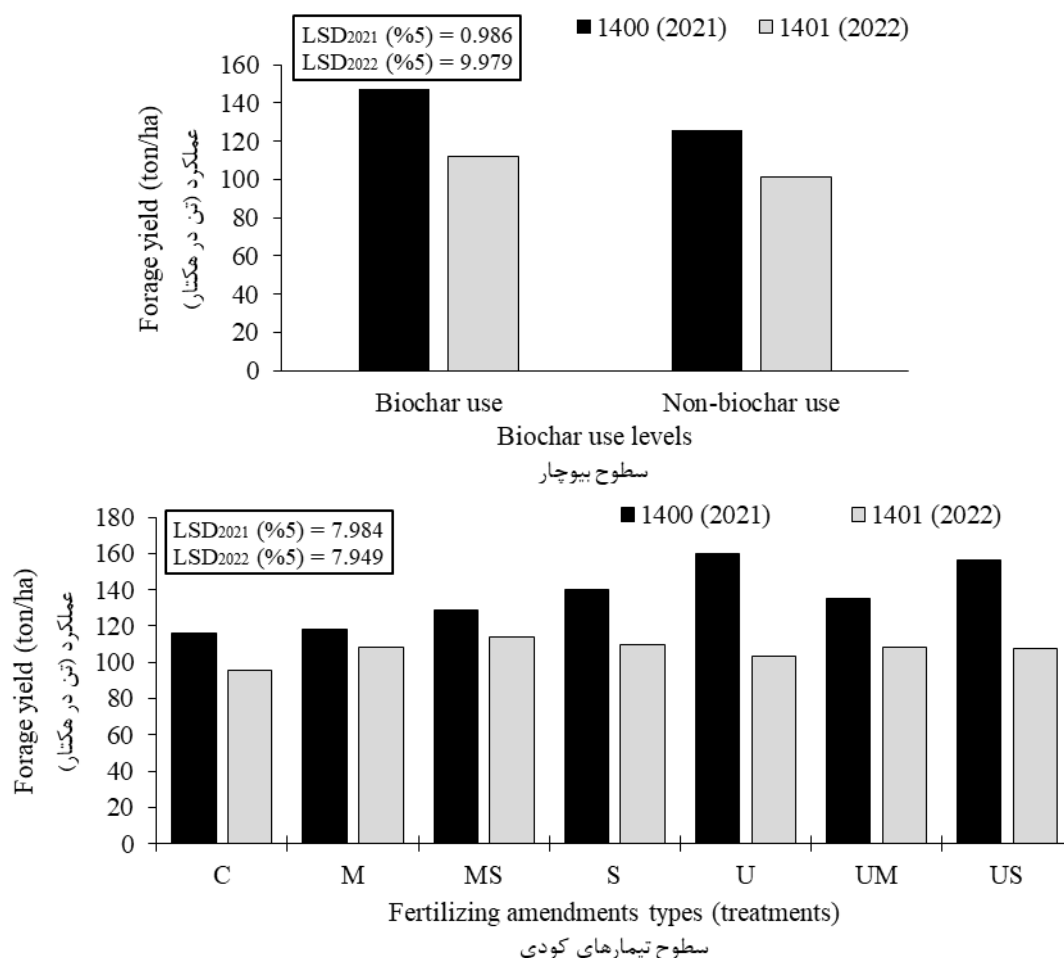
ns, \* and \*\*: indicate nonsignificant and significant at the one and five percent probability levels, respectively

(۳۲ درصد) اختصاص داشت (شکل ۳).

نتایج نشان داد که در سال ۱۴۰۱، در شرایط کاربرد بیوچار بیشترین درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی در تیمار کود گاوی به دست آمد، در حالی که در شرایط عدم کاربرد بیوچار بیشترین درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی در گروه شاهد به دست آمد (شکل ۳). در این سال کاربرد بیوچار در مقایسه با عدم کاربرد بیوچار، درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی را در همه سطوح تیمارهای کودی به جز تیمار کود گاوی کاهش یافت (۲۰ درصد افزایش). بیشترین کاهش شاخص مورد بررسی به تیمار شیرابه دامی (۲۴ درصد کاهش) اختصاص داشت. در شرایط عدم کاربرد بیوچار، درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی در همه تیمارها در مقایسه با گروه شاهد کاهش یافت، بیشترین و حداقل کاهش به ترتیب به تیمارهای کود شیمیایی + شیرابه دامی (۳۲ درصد) و کود گاوی (۱۲ درصد) اختصاص داشت (شکل ۳).

ب- ویژگی‌های کیفی علوفه

**فیبر نامحلول در مواد شوینده اسیدی:** نتایج نشان داد که در سال ۱۴۰۰، اثر نوع کود مصرفی بر فیبر نامحلول در شوینده اسیدی معنی‌دار بود (جدول ۴). در سال ۱۴۰۱ نیز اثر اصلی بیوچار و اثر اصلی نوع کود و برهم‌کنش این دو عامل بر درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی معنی‌دار بود (جدول ۴). در سال ۱۴۰۰، بیشترین درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی از تیمار کود گاوی به ثبت رسید و در همین سال کمترین درصد آن از تیمار کود گاوی + شیرابه دامی به دست آمد (شکل ۳). در مقایسه با تیمار C (شاهد؛ عدم مصرف کود) تنها در تیمار کود گاوی، درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی، افزایش نشان داد (۲ درصد) و در سایر تیمارها، درصد این شاخص نسبت به گروه شاهد کاهش پیدا کرد. در همین راستا، بیشترین کاهش شاخص مورد بررسی به تیمار کود شیمیایی + شیرابه دامی



شکل ۲- اثرات اصلی بیوچار (شکل بالا) و نوع کود بر عملکرد علوفه ذرت در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

**Figure 2-** Main effects of biochar (top row) and fertilizer type on corn forage yield in 2021 and 2022

حروف نشان داده‌شده بر روی محور افقی، سطوح تیمارهای کودی و شامل C: شاهد، M: کود گاوی، MS: ترکیب دوگانه کود گاوی و شیرابه دامی، S: شیرابه دامی، U: کود شیمیایی اوره، UM: ترکیب دوگانه اوره و کود گاوی و US: ترکیب دوگانه اوره و شیرابه دامی هستند.

The letters shown on the horizontal axis are the levels of fertilizer treatments, which include C: for control, M: for Cattle manure, MS: for dual combination of cattle manure and slurry, S: for slurry, U: for urea chemical fertilizer, UM: for dual combination of urea and cattle manure, and US: for dual combination of urea and slurry.

نتیجه مواد نامحلول در شوینده اسیدی را کاهش می‌دهد (Ghasemi et al., 2018). همچنین بیان شده است که شیرابه دامی به‌عنوان یک منبع غنی از عناصر غذایی می‌تواند به بهبود کیفیت علوفه ذرت کمک کند. این ماده می‌تواند به افزایش محتوای پروتئین و کاهش فیبر نامحلول در شوینده اسیدی منجر شود که به‌نوبه خود به بهبود هضم و جذب عناصر غذایی در دام‌ها کمک می‌کند (Sun et al., 2023). در آزمایش حاضر نیز مشخص شد که به‌طور کلی عدم کاربرد کود یا کاربرد کود دامی، افزایش فیبر نامحلول در شوینده اسیدی را به دنبال داشت. از طرفی، کاربرد بیوچار باعث شد که فیبر نامحلول در شوینده اسیدی کاهش یابد.

نقش عوامل مختلف مانند بیوچار، کود دامی، اوره و شیرابه دامی بر میزان فیبر نامحلول در شوینده اسیدی ذرت از طریق تأثیر بر ترکیبات دیواره سلولی گیاهی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال، نتایج یک مطالعه نشان داد که افزایش مصرف نیتروژن تا سطح ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش معنی‌دار فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و شوینده خنثی شد (Dolatmend Shahri & Tahmasbi, 2016). این کاهش احتمالاً ناشی از بهبود سنتز پروتئین و کاهش تجمع دیواره سلولی لیگنوسلولزی است. پژوهشگران بیان کردند که کود دامی با آزادسازی تدریجی نیتروژن باعث افزایش سنتز پروتئین در گیاه می‌شود. این فرآیند نسبت بخش‌های لیگنوسلولزی (مانند ساقه) به بخش‌های پروتئینی (مانند برگ) را کاهش داده و در

جدول ۴- تجزیه واریانس خصوصیات کیفی علوفه ذرت در شرایط کاربرد تیمارهای مختلف در طی دوره‌های آزمایش

Table 4- ANOVA of corn forage quality characteristics under different treatments during the experiment years

| منبع تغییرات<br>Source of variation | درجه آزادی<br>df | 2021                              |                         |                            |                    |                          | 2022                 |                         |                            |                    |                          |
|-------------------------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------------|
|                                     |                  | میانگین مربعات<br>Mean of squares |                         |                            |                    |                          |                      |                         |                            |                    |                          |
|                                     |                  | Acid Detergent Fiber              | Neutral Detergent Fiber | Total Digestible Nutrients | Dry Matter Intake  | Net Energy for Lactation | Acid Detergent Fiber | Neutral Detergent Fiber | Total Digestible Nutrients | Dry Matter Intake  | Net Energy for Lactation |
| بلوک<br>Block (B)                   | 2                | 4.6 <sup>ns</sup>                 | 99.54 <sup>ns</sup>     | 4.6 <sup>ns</sup>          | 99.5 <sup>ns</sup> | 4.6 <sup>ns</sup>        | 3.83 <sup>ns</sup>   | 0.93 <sup>ns</sup>      | 3.83 <sup>ns</sup>         | 4.6 <sup>ns</sup>  | 99.54 <sup>ns</sup>      |
| بیوچار<br>Biochar (A)               | 1                | 503 <sup>ns</sup>                 | 135.25 <sup>ns</sup>    | 501 <sup>ns</sup>          | 135 <sup>ns</sup>  | 504 <sup>ns</sup>        | *412                 | *200                    | *412                       | 503 <sup>ns</sup>  | 135.25 <sup>ns</sup>     |
| خطای کرت اصلی<br>B × A              | 2                | 154                               | 42.02                   | 151                        | 42                 | 155                      | 5.48                 | 3.31                    | 5.48                       | 154                | 42.02                    |
| کود<br>Fertilizer type (F)          | 6                | *220                              | *106.4                  | *219                       | *108               | *221                     | **148                | **78.2                  | **148                      | *220               | *106.4                   |
| بیوچار × کود<br>F × A               | 6                | 48.4 <sup>ns</sup>                | 82.11 <sup>ns</sup>     | 48 <sup>ns</sup>           | 82 <sup>ns</sup>   | 48.3 <sup>ns</sup>       | **345                | **594                   | **345                      | 48.4 <sup>ns</sup> | 82.11 <sup>ns</sup>      |
| خطای کرت فرعی<br>Error              | 24               | 73.9                              | 43.11                   | 73.83                      | 43.01              | 73.9                     | 6.13                 | 3.08                    | 6.13                       | 73.9               | 43.11                    |
| ضریب تغییرات<br>(%)<br>CV (%)       | -                | 24.2                              | 16.6                    | 24.4                       | 16.9               | 2.24                     | 6.8                  | 4.3                     | 6.8                        | 24.2               | 16.6                     |

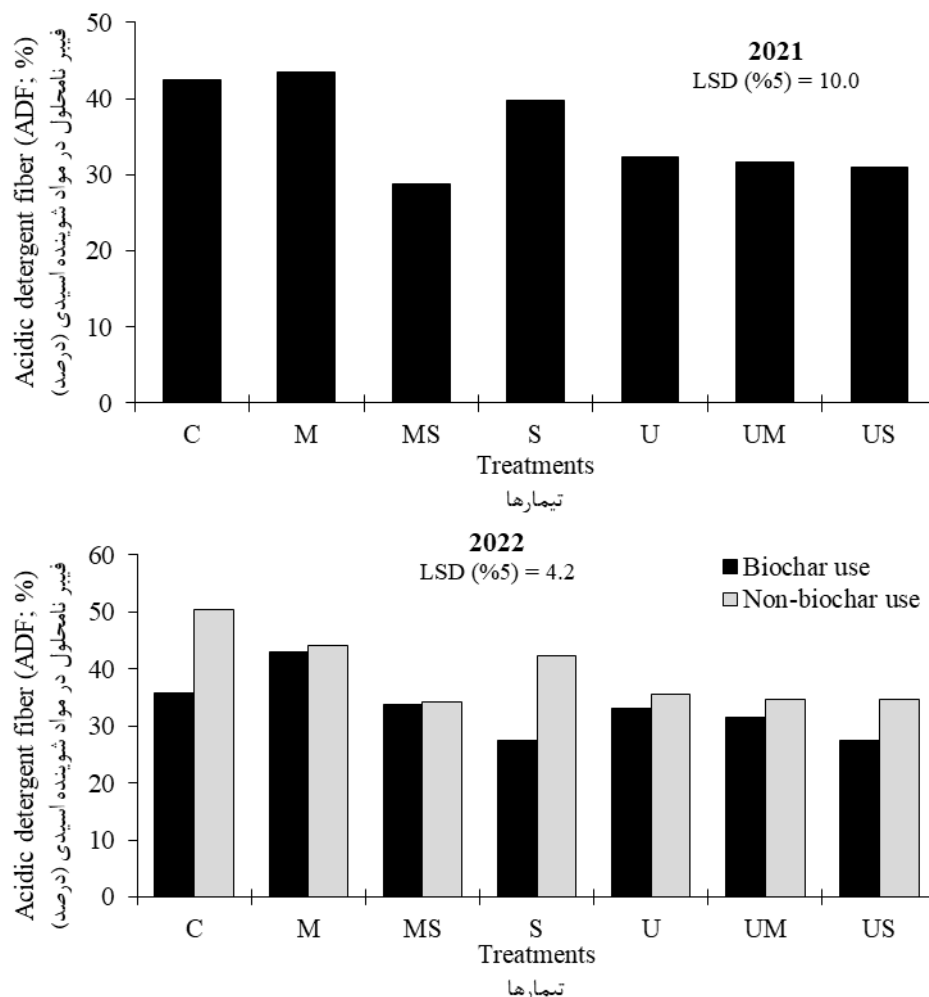
اندیس‌های ns، \* و \*\*: به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد است.

ns, \* and \*\*: superscripts indicate nonsignificant and significant at the one and five percent probability levels, respectively

شیرابه دامی به دست آمد، درحالی که در شرایط عدم مصرف بیوچار، بیشترین درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی از تیمار کود شیمیایی + کود گاوی حاصل شد (شکل ۴). در این سال در شرایط عدم کاربرد بیوچار و در مقایسه با گروه شاهد (عدم مصرف کود) درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی در تیمارهای کود گاوی، کود شیمیایی + کود گاوی و کود شیمیایی + شیرابه دامی به ترتیب ۳، ۱۹ و ۱۰ درصد کاهش نشان داد، در حالی که درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی در تیمارهای کود گاوی، کود گاوی + شیرابه دامی و کود شیمیایی به ترتیب ۲۴، ۱۶ و ۱۶ درصد افزایش یافت.

**فیبر نامحلول در مواد شوینده خنثی:** در هر دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ اثر بیوچار، اثر تیمارهای کودی و اثر متقابل بیوچار و نوع کود بر درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی معنی‌دار بود (جدول ۴). براساس نتایج، در سال ۱۴۰۰ بیشترین درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی به‌طور مشترک از تیمارهای کود شیمیایی و کود کود شیمیایی + کود گاوی به دست آمد (شکل ۴). در سال ۱۴۰۰، درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی در تیمارهای کود گاوی، شیرابه دامی و کود شیمیایی + شیرابه دامی در مقایسه با شاهد، به ترتیب ۱۰، ۲ و ۱۰ درصد کاهش نشان داد؛ درحالی که این صفت در شرایط مصرف بیوچار در تیمارهای کود شیمیایی + شیرابه دامی، کود شیمیایی و کود شیمیایی + کود گاوی به ترتیب ۳، ۱۸ و ۱۴ درصد در مقایسه با گروه شاهد افزایش نشان داد (شکل ۴).

نتایج نشان داد که در سال ۱۴۰۱ در شرایط کاربرد بیوچار، بیشترین درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی از تیمار کود گاوی +



شکل ۳- فیبر نامحلول در مواد شوینده اسیدی در تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و برهم‌کنش بیوجار × کود در سال ۱۴۰۱

Figure 3- ADF in treatments in 2021 and biochar × fertilizer interaction in 2022

حروف نشان داده‌شده بر روی محور افقی، سطوح C: شاهد، M: کود گاوی، MS: ترکیب دوگانه کود گاوی و شیرابه دامی، S: شیرابه دامی، U: کود شیمیایی اوره، UM: ترکیب دوگانه اوره و کود گاوی و US: ترکیب دوگانه اوره و شیرابه دامی هستند.

The letters shown on the horizontal axis are the levels of fertilizer treatments, which include C: for control, M: for Cattle manure, MS: for dual combination of cattle manure and slurry, S: for slurry, U: for urea chemical fertilizer, UM: for dual combination of urea and cattle manure, and US: for dual combination of urea and slurry.

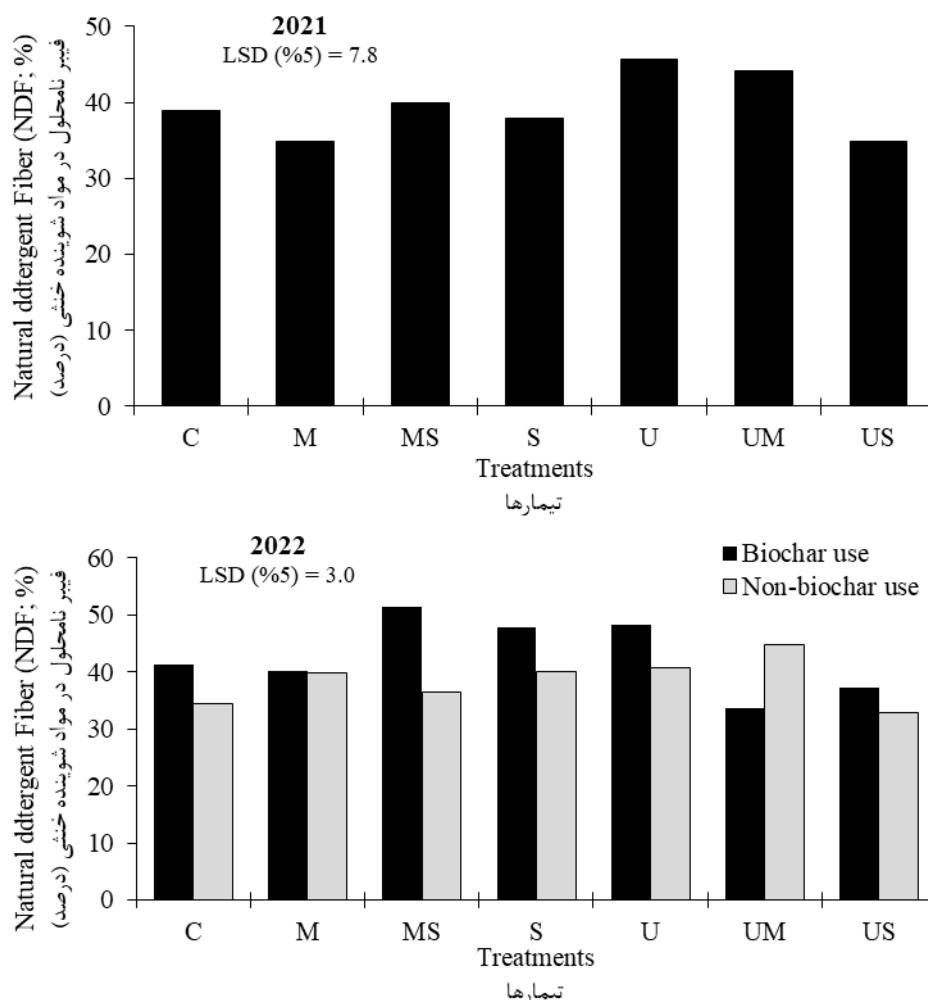
جذب عناصر غذایی در دام‌ها کمک می‌کند (Lithourgidis *et al.*, 2006, Liu *et al.*, 2024).

تحقیقات در مورد نقش استفاده از کود اوره در ذرت نشان داده است که اوره به‌عنوان یک منبع نیتروژن می‌تواند به بهبود فرآیند تخمیر و افزایش قابلیت هضم علوفه کمک کند. استفاده از اوره در ترکیب با شیرابه دامی و کود دامی می‌تواند به کاهش فیبر نامحلول در شوینده خنثی منجر شود (Muhammad & Saleem, 2008). از سوی دیگر، پژوهشگران گزارش کردند که بیوجار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک می‌تواند به بهبود ساختار خاک و افزایش فعالیت

در تیمار کاربرد بیوجار اما نتایج یکسان نبود، به‌نحوی که تنها در تیمار کود شیمیایی + شیرابه دامی، درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی نسبت به گروه شاهد (C) کاهش نشان داد (۵ درصد) و در سایر تیمارها درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی در مقایسه با گروه شاهد افزایش یافت؛ بیشترین درصد افزایش نیز به تیمار کود شیمیایی + کود گاوی (۳۰ درصد) اختصاص داشت (شکل ۴). گزارش شده است که کود دامی به‌عنوان یک منبع غنی از مواد آلی و مغذی عمل می‌کند که می‌تواند به افزایش کیفیت علوفه و کاهش فیبر نامحلول در شوینده‌های خنثی منجر شود. این افزایش کیفیت به بهبود هضم و

به افزایش فعالیت میکروبی در روده و بهبود فرآیند تخمیر کمک کند، که به نوبه خود به کاهش فیبر نامحلول در شوینده خشی منجر می شود (Roman-Garcia et al., 2021; Ferreira et al., 2023)

میکروبی کمک کند. این امر می تواند منجر به افزایش قابلیت هضم فیبر نامحلول در شوینده خشی علوفه ذرت شود. تحقیقات نشان داده اند که افزایش قابلیت هضم علوفه ناشی از کاربرد بیوچار می تواند



شکل ۴- فیبر نامحلول در مواد شوینده خشی در تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و برهم کنش بیوچار × کود در سال ۱۴۰۱

Figure 4- NDF in treatments in 2021 and biochar × fertilizer interaction in 2022

حروف نشان داده شده بر روی محور افقی، سطوح تیمارهای کودی و شامل C: شاهد، M: کود گاوی، MS: ترکیب دوگانه کود گاوی و شیرابه دامی، S: شیرابه دامی، U: کود شیمیایی اوره، UM: ترکیب دوگانه اوره و کود گاوی و US: ترکیب دوگانه اوره و شیرابه دامی هستند.

The letters shown on the horizontal axis are the levels of fertilizer treatments, which include C for control, M for Cattle manure, MS for dual combination of cattle manure and slurry, S for slurry, U for urea chemical fertilizer, UM for dual combination of urea and cattle manure, and US for dual combination of urea and slurry.

شد (شکل ۵). در سال ۱۴۰۰، به جز تیمار کود دامی که در مقایسه با گروه شاهد (C) درصد عناصر غذایی قابل هضم کاهش یافت (۳ درصد)؛ در سایر تیمارهای مورد ارزیابی، درصد عناصر غذایی قابل هضم نسبت به گروه شاهد افزایش نشان داد و در این بین، بیشترین درصد افزایش به تیمار کود شیمیایی + شیرابه دامی (۳۸ درصد) اختصاص داشت (شکل ۵).

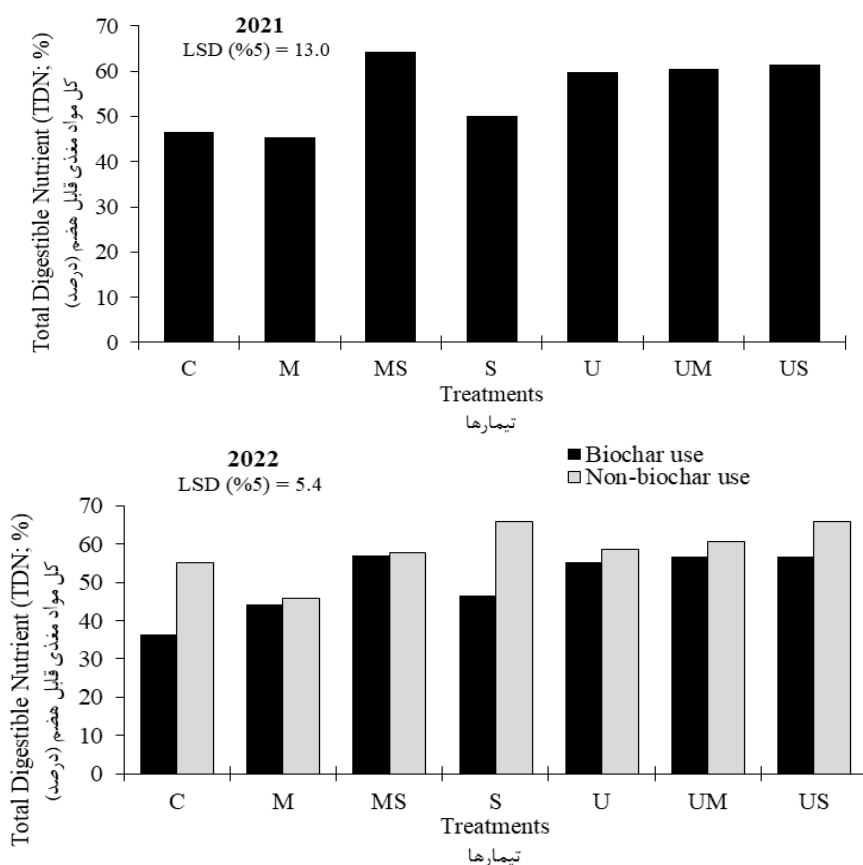
در سال ۱۴۰۱ در تیمار کاربرد بیوچار، بیشترین درصد عناصر

کل مواد مغذی قابل هضم (TDN): اثر کود مصرفی در سال ۱۴۰۰ در سطح احتمال پنج درصد و اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود و اثر برهم کنش این دو عامل در سال ۱۴۰۱ بر کل عناصر غذایی قابل هضم معنی دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که در سال ۱۴۰۰ در بین تیمارهای کودی، بیشترین درصد عناصر غذایی قابل هضم از تیمار کود گاوی + شیرابه دامی به دست آمد (شکل ۵). در این سال، کمترین درصد عناصر غذایی قابل هضم در تیمار کود گاوی مشاهده

نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که استفاده از کود دامی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش درصد ماده خشک قابل هضم و کل مواد قابل هضم علوفه ذرت می‌شود. این اثر به‌دلیل بهبود ساختار خاک، افزایش مواد آلی و تأمین تدریجی عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن) است که رشد و کیفیت علوفه را ارتقاء می‌دهد (Baghdadi *et al.*, 2016). همچنین گزارش شده است که شیرابه دامی به‌عنوان یک منبع غنی از عناصر غذایی می‌تواند به بهبود کیفیت علوفه و افزایش محتوای پروتئین کمک کند. این بهبود کیفیت می‌تواند به افزایش قابلیت هضم علوفه ذرت منجر شود.

**افزایش فعالیت میکروبی:** شیرابه دامی می‌تواند فعالیت میکروبی در روده را افزایش دهد، که این امر به بهبود فرآیند تخمیر و در نتیجه افزایش قابلیت هضم علوفه کمک می‌کند (Hanušovský *et al.*, 2018). در مطالعه حاضر نیز کاربرد کود دامی و شیرابه

غذایی قابل هضم به‌طور مشترک از تیمارهای کود گاوی + شیرابه دامی و کود شیمیایی + شیرابه دامی، کود شیمیایی + کود گاوی و کود شیمیایی به دست آمد، در شرایط عدم مصرف بیوپچار نیز بیشترین درصد عناصر غذایی قابل هضم به‌طور مشترک از تیمارهای شیرابه دامی و کود شیمیایی + شیرابه دامی حاصل شد (شکل ۵). نتایج نشان داد که در سال ۱۴۰۰ در تیمار کاربرد بیوپچار، درصد مواد غذایی قابل هضم در تمامی تیمارها به‌جز تیمار کود گاوی (۱۷ درصد کاهش) نسبت به گروه شاهد (C) افزایش یافت؛ در این میان بیشترین درصد افزایش به تیمارهای شیرابه دامی و کود شیمیایی + شیرابه دامی (۲۰ درصد افزایش) تعلق داشت. در شرایط عدم کاربرد بیوپچار در تمامی تیمارهای مورد ارزیابی، درصد عناصر غذایی قابل هضم نسبت به گروه شاهد (C) افزایش یافت، با این توضیح که بیشترین و کمترین درصد کاهش به‌ترتیب در تیمارهای کود گاوی + شیرابه دامی (۵۸ درصد) و کود گاوی (۲۲ درصد) ثبت شد (شکل ۵).



شکل ۵- مواد مغذی قابل هضم در تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و برهم‌کنش بیوپچار × کود در سال ۱۴۰۱

Figure 5- NDF in treatments in 2021 and biochar × fertilizer interaction in 2022

حروف نشان داده‌شده بر روی محور افقی، سطوح تیمارهای کودی و شامل C: شاهد، M: کود گاوی، MS: ترکیب دوگانه کود گاوی و شیرابه دامی، S: شیرابه دامی، U: کود شیمیایی اوره، UM: ترکیب دوگانه اوره و کود گاوی و US: ترکیب دوگانه اوره و شیرابه دامی هستند.

The letters shown on the horizontal axis are the levels of fertilizer treatments, which include C: for cattle manure, M: for cattle manure, MS: for dual combination of cattle manure and slurry, S: for slurry, U: for urea chemical fertilizer, UM: for dual combination of urea and cattle manure, and US: for dual combination of urea and slurry.

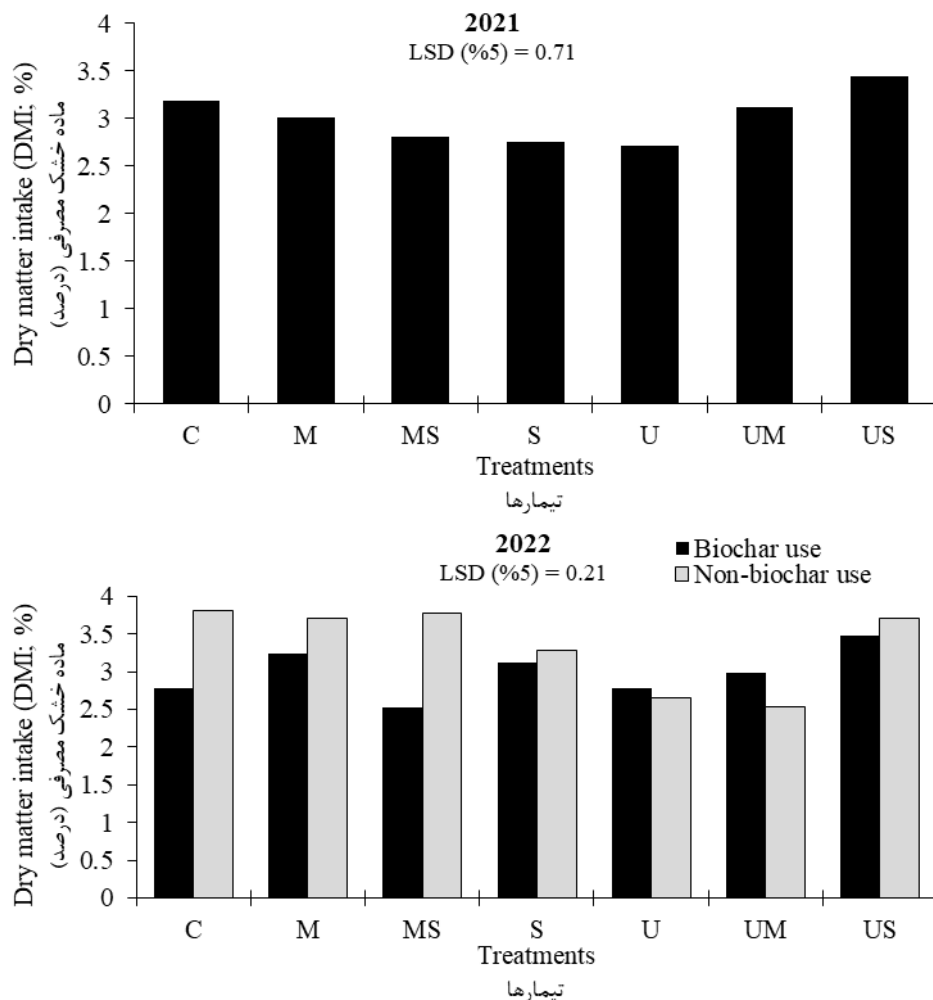
نتایج نشان داد که در شرایط عدم کاربرد بیوپار در مقایسه با گروه شاهد (عدم مصرف کود)، در تیمار کود شیمیایی شاخص ماده خشک مصرفی تغییری نشان نداد، در تیمار کود گاوی + شیرابه دامی کاهش (۹ درصد) نشان داد و در سایر تیمارها افزایش یافت. در تیمار کاربرد بیوپار، شاخص ماده خشک مصرفی در همه تیمارهای مورد بررسی نسبت به گروه شاهد کاهش یافت، با این توضیح که بیشترین و کمترین درصد کاهش به ترتیب به تیمارهای کود شیمیایی + کود گاوی (۳۳ درصد) و کود گاوی + شیرابه دامی (۱ درصد) اختصاص داشت.

**انرژی ویژه شیردهی (NEL):** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و اثرات اصلی بیوپار و کود و برهم‌کنش بیوپار × کود در سال ۱۴۰۱ بر انرژی ویژه شیردهی معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مشخص کرد که در سال ۱۴۰۰، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کودی مورد بررسی از نظر انرژی ویژه شیردهی وجود داشت. کود شیمیایی + شیرابه دامی بیشترین و تیمار کود گاوی کمترین انرژی ویژه شیردهی را به خود اختصاص دادند (شکل ۷). در این سال در مقایسه با گروه شاهد به‌جز تیمار کود گاوی (۲ درصد کاهش)، انرژی ویژه شیردهی سایر تیمارها افزایش نشان داد؛ بیشترین افزایش به تیمار کود گاوی + شیرابه دامی (۳۰ درصد) و کمترین افزایش به تیمار شیرابه دامی (۶ درصد) تعلق داشت (شکل ۷).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کاربرد بیوپار به‌تنهایی و در ترکیب با کودهای آلی و شیمیایی و ترکیب‌های مختلف آن‌ها، عملکرد علوفه ذرت را بهبود بخشید. تیمارهای با کاربرد بیوپار در مقایسه با شاهد، عملکرد علوفه را افزایش داد که استفاده توانمند کودهای آلی و شیمیایی می‌تواند سبب اثرات مثبتی بر کیفیت علوفه باشد. کاربرد ترکیبی کود دامی و شیمیایی موجب کاهش درصد فیبر خام، بهبود قابلیت هضم و ارتقاء شاخص‌های تغذیه‌ای شد. بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از بیوپار در کنار مصرف کودهای رایج نیتروژنه برای تولید ذرت نه‌تنها سبب بهبود ارزش غذایی علوفه می‌شود، بلکه می‌تواند زمینه‌ساز استفاده بهینه از منابع کودی و کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی پرهزینه و پرخطر باشد. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از ترکیب بیوپار با کودهای آلی و شیمیایی می‌تواند از راهکارهای کارآمد در مدیریت پایدار تولید ذرت علوفه‌ای باشد و در برنامه‌های کشاورزی با رویکرد حفظ محیط‌زیست و ارتقاء بهره‌وری منابع مورد توجه قرار گیرد.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کود دامی با افزایش محتوای نیتروژن خاک، به‌طور معنی‌داری موجب افزایش محتوای نیتروژن (و در نتیجه پروتئین خام) علوفه ذرت می‌شود (Nilahyane *et al.*, 2018). مصرف کود دامی، نیتروژن را به‌شکل تدریجی و ماندگار در اختیار گیاه قرار می‌دهد و این مسئله به بهبود تغذیه نیتروژنی ذرت و افزایش غلظت نیتروژن در بافت علوفه منجر می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد کود دامی به‌ویژه در سیستم‌های کشت مخلوط یا همراه با کود شیمیایی سبب افزایش قابل توجه غلظت پروتئین و نیتروژن در علوفه ذرت می‌گردد (Najafi *et al.*, 2013). همچنین این افزایش در شرایط مدیریت بهینه آب و خاک‌ورزی مؤثرتر است و می‌تواند کیفیت علوفه را از نظر ارزش غذایی برای دام بهبود بخشد (Abbasdokht *et al.*, 2021). استفاده از کود دامی به‌طور قابل توجهی محتوای نیتروژن خاک را افزایش می‌دهد. این امر به‌دلیل آزادسازی تدریجی نیتروژن از مواد آلی موجود در کود دامی است که باعث بهبود تغذیه گیاه می‌شود (Zoui *et al.*, 2023). در یک مطالعه، کاربرد کود دامی به همراه سیستم‌های خاک‌ورزی منجر به افزایش کارایی استفاده از نیتروژن و بهبود عملکرد محصول ذرت گردید. این سیستم‌ها همچنین باعث افزایش محتوای نیتروژن دانه و علوفه شدند (Delgado *et al.*, 2024). همانند مطالعات مذکور، در آزمایش حاضر نیز کاربرد کود دامی، افزایش محتوای نیتروژن اندام هوایی را در پی داشت.

**ماده خشک مصرفی (DMI):** اثر تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و در سال ۱۴۰۱، اثر اصلی بیوپار، اثر اصلی کود و اثر متقابل بیوپار × کود بر شاخص ماده خشک مصرفی معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که در سال ۱۴۰۰، بیشترین شاخص ماده خشک مصرفی از تیمار کود شیمیایی به دست آمد، در همین سال کمترین شاخص ماده خشک مصرفی به‌طور مشترک در تیمارهای کود گاوی + شیرابه دامی، شیرابه دامی و کود شیمیایی مشاهده شد (شکل ۶). در این سال و در مقایسه با گروه شاهد (C)، شاخص ماده خشک مصرفی در تیمار کود شیمیایی + شیرابه دامی ۸ درصد افزایش نشان داد و این در حالی است که در سایر تیمارها، شاخص ماده خشک مصرفی در مقایسه با گروه شاهد کاهش یافت، به‌نحوی که بیشترین و کمترین درصد کاهش به ترتیب به تیمارهای کود شیمیایی (۱۵ درصد) و کود شیمیایی + کود گاوی (۲ درصد) تعلق داشت (شکل ۶). در سال ۱۴۰۱، بیشترین شاخص ماده خشک مصرفی در شرایط کاربرد بیوپار و تیمار کود شیمیایی + کود گاوی به دست آمد و کمترین شاخص ماده خشک مصرفی نیز در تیمار کود گاوی + شیرابه دامی به ثبت رسید (شکل ۶). در شرایط عدم کاربرد بیوپار، بیشترین و کمترین شاخص ماده خشک مصرفی به ترتیب به تیمارهای گروه شاهد و کود شیمیایی + کود گاوی اختصاص داشت (شکل ۶).

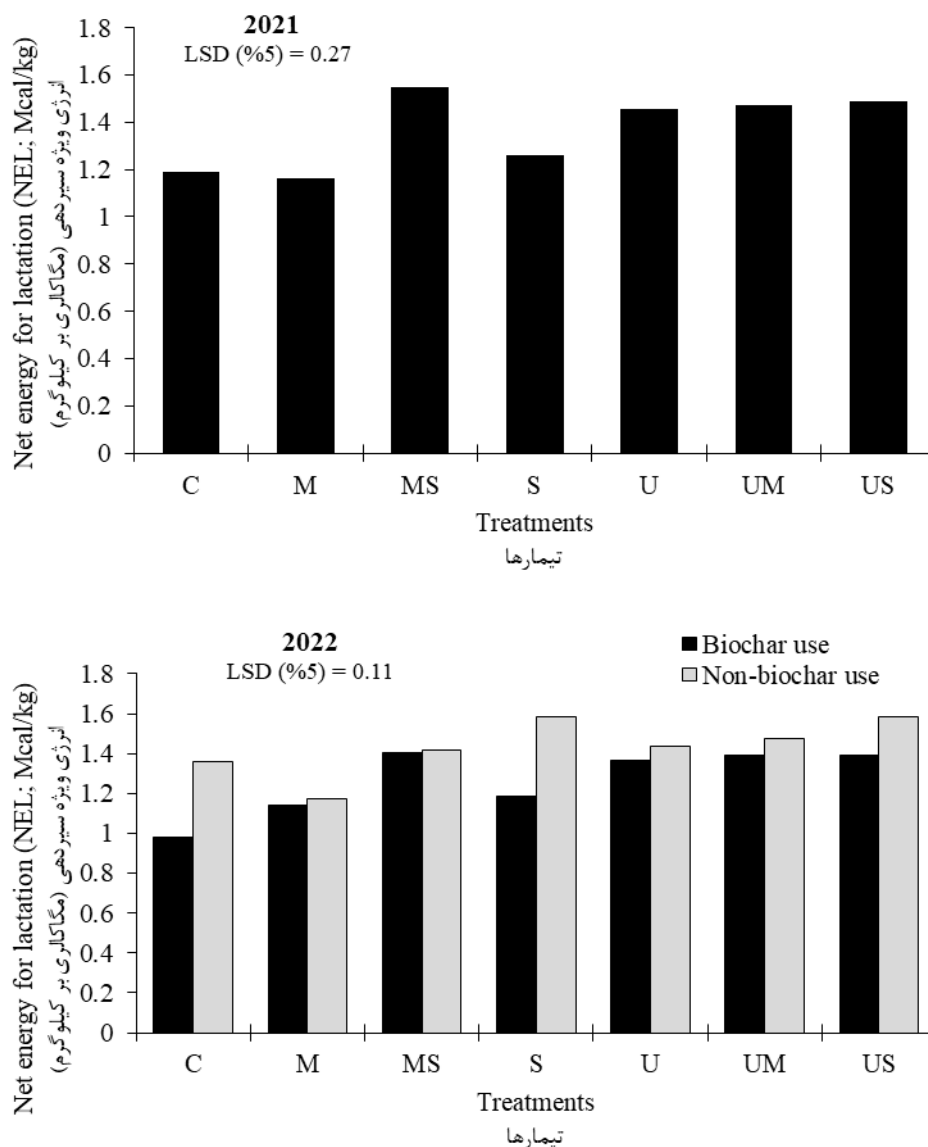


شکل ۶- شاخص ماده خشک مصرفی در تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و برهم‌کنش بیوجار × کود در سال ۱۴۰۱

Figure 6- DMI in treatments in 2021 and biochar × fertilizer interaction in 2022

حروف نشان داده شده بر روی محور افقی، سطوح تیمارهای کودی و شامل C: شاهد، M: کود گاوی، MS: ترکیب دوگانه کود گاوی و شیرابه دامی، S: شیرابه دامی، U: کود شیمیایی اوره، UM: ترکیب دوگانه اوره و کود گاوی و US: ترکیب دوگانه اوره و شیرابه دامی هستند.

The letters shown on the horizontal axis are the levels of fertilizer treatments, which include C: for control, M: for Cattle manure, MS: for dual combination of cattle manure and slurry, S: for slurry, U: for urea chemical fertilizer, UM: for dual combination of urea and cattle manure, and US: for dual combination of urea and slurry.



شکل ۷- انرژی ویژه شیردهی در تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و برهم کنش بیوچار × کود در سال ۱۴۰۱

Figure 7- NEL in treatments in 2021 and biochar × fertilizer interaction in 2022

حروف نشان داده شده بر روی محور افقی، سطوح تیمارهای کودی و شامل C: شاهد، M: کود گاوی، MS: ترکیب دوگانه کود گاوی و شیرابه دامی، S: شیرابه دامی، U: کود شیمیایی اوره، UM: ترکیب دوگانه اوره و کود گاوی و US: ترکیب دوگانه اوره و شیرابه دامی هستند.

The letters shown on the horizontal axis are the levels of fertilizer treatments, which include C: for control, M: for Cattle manure, MS: for dual combination of cattle manure and slurry, S: for slurry, U: for urea chemical fertilizer, UM: for dual combination of urea and cattle manure, and US: for dual combination of urea and slurry.

## نتیجه گیری کلی

دامی، وابستگی به کودهای شیمیایی را کاهش داده و همزمان ویژگیهای خاک را بهبود بخشید. بنابراین، مدیریت تلفیقی بیوچار و کود را میتوان به عنوان یک راهبرد پایدار برای تولید ذرت علوفه‌ای در مناطق نیمه خشک توصیه کرد.

ترکیب بیوچار با کود دامی و کودهای شیمیایی باعث بهبود عملکرد علوفه و شاخص‌های کیفی از جمله ADF، NDF، TDN، DMI و NEL گردید. بیوچار همراه با ترکیبات کود دامی و شیرابه

## References

- Abbasdokht, H., Shafaghi, A., & Gholipour, M. (2021). Effect of biological and chemical nitrogen fertilizer sources on quantitative and qualitative traits of forage corn and fenugreek in additive series intercropping. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(1), 61-73. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.271663.654558>
- Ahmed, R., Li, Y., Mao, L., Xu, C., Lin, W., Ahmed, S., & Ahmed, W. (2019). Biochar effects on mineral nitrogen leaching, moisture content, and evapotranspiration after 15N urea fertilization for vegetable crop. *Agronomy*, 9(6), 331. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060331>
- Aller, D., Archontoulis, S. V., Zhang, W., & Sawadgo, W. (2018). Long-term biochar effects on corn yield, soil quality and profitability in the US Midwest. *Field Crops Research*, 227, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.07.012>
- Baghdadi, A., Balazadeh, M., Kashani, A., & Golzardi, F. (2016). Effect of pre-sowing treatments and nitrogen levels on qualitative and quantitative traits of silage corn hybrid SC704. *Crop Production Journal*, 9(4), 103-120. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.10508.1823>
- Baradhan, G., Saranya, M., Kumar, S. M., Immanuel, R. R., & Rao, G. B. (2022). Effect of integration of chemical fertilizers with organic manures on growth, yield and nutrient uptake in hybrid maize (*Zea mays* L.). *Crop Research*, 57(5-6), 325-329. <https://doi.org/10.31830/2454-1761.2022.CR-834>
- Bazri, A., Esmaeili, M. A., Abbasi, R., & Kaveh, M. (2021). Effect of biochar fertilizer and irrigation volume on some quantitative and qualitative traits of forage corn (*Zea mays* L.) hybrid SC704. 5th International Congress on Agricultural Development, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran, Tabriz, Iran. (In Persian)
- Charkhab, A., Mojadam, M., Lak, S. N., & Dadania, T. (2021). Effect of biochar and humic acid levels on physiological traits and grain yield of corn (*Zea mays* L.) hybrid SC704 under drought stress. *Plant Ecophysiology Journal*, 2(58), 171. (In Persian with English abstract).
- Darby, H., Ruhl, L., Krezinski, I., & Ziegler, S. (2024). Impact of biochar on soil chemical properties and corn yield and quality. *UVM Extension, Northwest Crops & Soils Program*. <https://hdl.handle.net/20.500.14849/6892>
- Dehghani Ahmadabadi, M. (2024). Assessing the yield and yield components of maize (*Zea mays*) under different levels of partial. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 56(4), 266-281. (In Persian with English abstract).
- Delgado, J. A., D'Adamo, R. E., Stewart, C. E., Floyd, B. A., Del Grosso, S. J., Manter, D. K., Halvorson, A. D., & Brandt, A. D. (2024). Long-term effects of nitrogen sources on yields, nitrogen use efficiencies, and soil of tilled and irrigated corn. *Agronomy*, 14(11), 2618. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112618>
- Dolatmend Shahri, N., & Tahmasbi, I. (2016). Effect of nitrogen fertilizer and plant density on yield and forage quality of corn hybrid MV500 in second cropping. *Agricultural Improvement*, 18(1), 173-182. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56556>
- Dong, D., Yang, M., Wang, C., Wang, H., Li, Y., Luo, J., & Wu, W. (2013). Responses of methane emissions and rice yield to applications of biochar and straw in a paddy field. *Journal of Soils and Sediments*, 13(8), 1450-1460. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0732-0>
- Feng, Y., Xu, Y., Yu, Y., Xie, Z., & Lin, X. (2012). Mechanisms of biochar decreasing methane emission from Chinese paddy soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 46, 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.016>
- Ferreira, G., Thomas, S. E., Teets, C. L., & Corl, B. A. (2023). Intrinsic and extrinsic factors affecting neutral detergent fiber (NDF) digestibility of vegetative tissues in corn for silage. *Agriculture*, 13(8), 1485. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081485>
- Gale, E. S., Sullivan, D. M., Cogger, C. G., Bary, A. I., Hemphill, D. D., & Myhre, E. A. (2006). Estimating plant-available nitrogen release from manures, composts, and specialty products. *Journal of Environmental Quality*, 35(6), 2321-2332. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0062>
- Ghasemi, A., Ghanbari, A., Fakhri, B., & Fanaei, H. R. (2018). Effect of different tillage managements on forage and grain quality of corn (*Zea mays* L.) under organic and chemical fertilizer sources. *Journal of Agroecology*, 10(2), 490-503. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v10i2.59988>
- Gliessman, S. R. (2014). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems* (3rd ed.). CRC Press, p. 405. <https://doi.org/10.1201/b17881>
- Hanušovský, O., Bíro, D., Šimko, M., Gálík, B., Juráček, M., Rolinec, M., & Balušíková, L. (2018). The dynamic of the ruminal content pH change and its relationship to milk composition. *Acta Veterinaria Brno*, 87(2), 119-126. <https://doi.org/10.2754/avb201887020119>
- Hu, W., Zhang, Y., Rong, X., Zhou, X., Fei, J., Peng, J., & Luo, G. (2024). Biochar and organic fertilizer applications enhance soil functional microbial abundance and agroecosystem multifunctionality. *Biochar*, 6(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00296-w>
- Imran, A. (2024). Integration of organic, inorganic and biofertilizer improves maize-wheat system productivity and soil nutrients. *Journal of Plant Nutrition*, 47(15), 2494-2510. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2354190>
- Jagnade, P., Panwar, N. L., Gupta, T., & Agrawal, C. (2022). Role of biochar in agriculture to enhance crop productivity: An overview. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13, 429.

<https://doi.org/10.33263/BRIAC135.429>

Kahandage, P. D., Rupasinghe, C. P., Ariyawansa, K. T., & Piyathissa, S. D. S. (2023). Assessing environmental impacts of chemical fertilizers and organic fertilizers in Sri Lankan paddy fields through life cycle analysis. *Journal of Dry Zone Agriculture*, 9(1), 45-65.

Kazemi, R., Ronaghi, A., Yassrebi, J., Ghasemi Fasaei, R., & Zarei, M. (2018). Effect of poultry manure and its biochar, *Funneliformis mosseae*, and salinity stress on yield and micronutrient concentration of corn. *Iranian Agricultural Research*, 38(2), 37-46. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22099/iar.2019.5458>

Kızılkaya, R. (2008). Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. *Ecological Engineering*, 33(2), 150-156.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.02.011>

Lavagi, V., Kaplan, J., Vidalakis, G., Ortiz, M., Rodriguez, M. V., Amador, M., Hopkins, F., Ying, S., & Pagliaccia, D. (2024). Recycling agricultural waste to enhance sustainable greenhouse agriculture: Analyzing the cost-effectiveness and agronomic benefits of bokashi and biochar byproducts as soil amendments in citrus nursery production. *Sustainability*, 16(14), 6070. <https://doi.org/10.3390/su16146070>

Lentz, R. D., & Ippolito, J. A. (2012). Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 1033-1043. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0126>

Lentz, R. D., Ippolito, J. A., & Spokas, K. A. (2015). Biochar and manure effects on nitrogen nutrition in silage corn. *Nutrient Digest*, 7(2), 1-4. <https://doi.org/10.2136/sssaj2014.05.0198>

Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., & Yiakoulaki, M. D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99(2-3), 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.03.008>

Liu, Y., Wang, P., Yu, T., Zang, H., Zeng, Z., & Yang, Y. (2024). Manure replacement of chemical fertilizers can improve soil quality in the wheat-maize system. *Applied Soil Ecology*, 200, 05453. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105453>

Muhammad, J. K., & Saleem, Q. (2008). Nutritive value and digestion kinetics of manure ensiled wheat straw treated with varying levels of urea and corn grains. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 12(2), 103-106. <https://doi.org/10.4314/jasem.v12i2.55546>

Najafi, N., Mostafaei, M., Dabbagh, A., & Oustan, Sh. (2013). Effect of mixed cropping and manure on growth, yield, and protein concentration of corn, bean, and cowpea. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 23(1), 99-115. (In Persian with English abstract).

Nilahyane, A., Islam, M. A., Mesbah, A. O., & Garciay Garcia, A. (2018). Effect of irrigation and nitrogen fertilization strategies on silage corn grown in semi-arid conditions. *Agronomy*, 8(10), 208. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100208>

Pedersen, I. F., Rubæk, G. H. & Sørensen, P. (2017). Cattle slurry acidification and application method can improve initial phosphorus availability for maize. *Plant and Soil*, 414(1-2), 143-158. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3124-6>

Roman-Garcia, Y., Denton, B. L., Mitchell, K. E., Lee, C., Socha, M. T., & Firkins, J. L. (2021). Conditions stimulating neutral detergent fiber degradation by dosing branched-chain volatile fatty acids. I: Comparison with branched-chain amino acids and forage source in ruminal batch cultures. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 6739-6755. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-20054>

Safdarian, M., Razmjoo, J., & Dehnavi, M. M. (2014). Effect of nitrogen sources and rates on yield and quality of silage corn. *Journal of Plant Nutrition*, 37(4), 611-617. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.867986>

Sherman, J. F., Young, E. O., Jokela, W. E., & Cavadini, J. (2021). Impacts of low-disturbance dairy manure incorporation on ammonia and greenhouse gas fluxes in a corn silage-winter rye cover crop system. *Journal of Environmental Quality*, 50(4), 836-846. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20228>

Sidana, B., Priscilla, L., Kaur, G., & Vatta, K. (2023). Potential of maize crop for sustainable agriculture in Punjab. *Journal of Agricultural Development and Policy*, 33(1), 174-182. <https://doi.org/10.63066/23220457.33.2.007>

Šimon, T., Kunzová, E., & Friedlová, M. (2015). The effect of digestate, cattle slurry and mineral fertilization on the winter wheat yield and soil quality parameters. *Plant, Soil and Environment*, 61(11), 522-527. <https://doi.org/10.17221/530/2015-PSE>

Singh, D. K., Pandey, A. K., Pandey, U. B., & Bhonde, S. R. (2002). Effect of farmyard manure combined with foliar application of NPK mixture and micronutrients on growth, yield and quality of onion. *Newsletter - National Horticultural Research and Development Foundation*, 21, 22-30.

Sun, H., Shi, K., Ding, H., Ding, C., Yang, Z., An, C., Jin, C., Liu, B., Zhong, Z., Xiao, X., & Hou, F. (2023). The effect of biogas slurry application on biomass production and the silage quality of corn. *Animal Bioscience*, 36(12), 1918. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0129>

Turabi, A. B., Habibi, S., Kakar, K., Aryan, S., Haidari, M. D., & Alipour, S. (2024). Optimizing soybean crop performance through the integrated application of organic and chemical fertilizers: A study on alkaline soil in

Afghanistan. *Crops*, 4(1), 82-94. <https://doi.org/10.3390/crops4010007>

Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., & Nishihara, E. (2011). Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use and Management*, 27(2), 205-212. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00340.x>

Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

Wang, J., Zhai, B., Shi, D., Chen, A., & Liu, C. (2024). How does bio-organic fertilizer combined with biochar affect Chinese small cabbage's growth and quality on newly reclaimed land? *Plants*, 13(5), 598-608. <https://doi.org/10.3390/plants13050598>

World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines for Drinking-Water Quality* (4th ed.). WHO Publication Library, Geneva, Switzerland, p. 631.

Young, E., & Sherman, J. (2024). Effects of solid dairy manure application on greenhouse gas emissions and corn yield in the Upper Midwest, USA. *Sustainability*, 16(24), 11171. <https://doi.org/10.3390/su162411171>

Yuniwati, E. D. (2018). The effect of chicken manure and corn cob biochar on soil fertility and crop yield on intercropping planting pattern of cassava and corn. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 15(2), 54-59. <http://dx.doi.org/10.19080/IJESNR.2018.15.555910>

Zarei, Z., Heidari, H., Honarmand, S. J., & Bafkar, A. (2023). Comparison of the effect of different methods and levels of irrigation and fertilization on the yield and orphophysiological characteristics of fodder maize. *Plant Productions*, 46(3), 411-426. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.44098.2109>

Zhang, H., Xu, M., & Zhang, F. (2009). Long-term effects of manure application on grain yield under different cropping systems and ecological conditions in China. *The Journal of Agricultural Science*, 147(1), 31-42. <https://doi.org/10.1017/S0021859608008265>

Zoui, O., Baroudi, M., Drissi, S., Abouabdillah, A., Abd-Elkader, O. H., Plavan, G., & Bouriou, M. (2023). Utilization of digestate as an organic manure in corn silage culture: An in-depth investigation of its profound influence on soil's physicochemical properties, crop growth parameters, and agronomic performance. *Agronomy*, 13(7), 1715. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071715>