

Evaluation of the Effect of Integrated Biochar and Fertilizer Management on Forage Corn Yield and Quality

Seyed Jalil Dvarpanah ¹, Parviz Rezvani Moghaddam ^{2*}, Soroosh Khorramdel ³, Mehdi Nassiri Mahallati ⁴, Jafar Nabati ⁵

- 1- Ph.D. Student of Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- 2- Professor of AgroEcology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- 3- Associate Professor of AgroEcology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- 4- Professor of AgroEcology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- 5- Assistant Professor of Crop Physiology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

*Corresponding Author, E-mail: rezvani@um.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/ijasr.2026.96295.1277>

Introduction: Corn (*Zea mays* L.) ranks alongside wheat and rice as a major staple crop, valued for its nutritional role and as a primary feed source for livestock. In Iran, forage corn is critical, with demand reaching about 15 million tons of silage annually (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, worsens the situation by endangering groundwater and raising health concerns, including methemoglobinemia and certain cancers (WHO, 2017; Sidana *et al.*, 2023). A shift toward sustainable practices has been proposed, replacing some chemical inputs with alternatives such as biochar, organic manure, and other amendments. These materials can improve soil properties and reduce ecological risks (Gliessman, 2014; Kizilkaya, 2008). Biochar, produced by pyrolyzing plant residues under oxygen-limited conditions, is 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 trial was carried out at the Ferdowsi University of Mashhad's research farm station during 2021 and 2022. The site lies 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 added only in the first season at 20 t/ha, following earlier recommendations (Kabir *et al.*, 2023; Qiu *et al.*, 2024). Fertilizer rates were adjusted to nitrogen equivalence: 340 kg/ha urea fertilizer, 50 t/ha cattle manure, 60.15 m³/ha slurry. Slurry originated from cattle waste, fermented aerobically with *Bacillus*, then sterilized using ozone. Before sowing, soil, biochar, and slurry samples were analyzed for physical and chemical traits. 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 across 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 and acidic detergent insoluble fiber, which measure the amount of cell wall and hemicellulose-free cell wall in the forage. Data analysis of variance was performed using SAS v9.1 software, and MS Excel 2019 was used for mathematical calculations and preparing figures. For mean comparisons, the LSD test was used at a probability level of 5%. After an initial examination of the homogeneity of the error variances between the two years' data 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 influenced forage yield and quality. Plots with biochar 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, 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, 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 especially 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 (WHO, 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.

Keywords: Acid detergent fiber, Dry matter intake, Forage Quality, Neutral detergent fiber, Net energy for lactation

ارزیابی تأثیر مدیریت تلفیقی بیوچار و منابع کودی مختلف بر عملکرد و شاخص‌های کیفی ذرت علوفه‌ای

سید جلیل داورپناه^۱، پرویز رضوانی مقدم^{*}، سرور خرم دل^۱، مهدی نصیری محلاتی^۱، جعفر نباتی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

۱- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

rezvani@um.ac.ir

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

چالش‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، پایداری تولید ذرت علوفه‌ای به‌عنوان نهاده مهم تولیدات دامی را تهدید می‌کند. این تحقیق به‌منظور بررسی امکان تولید پایدار ذرت علوفه‌ای با جایگزینی یا کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه انجام شد. آزمایش در طی دو سال متوالی در قالب کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد که استفاده و عدم استفاده از بیوپار در کرت‌های اصلی و 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 به‌عنوان کرت‌های فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. شاخص‌های مورد بررسی شامل عملکرد کمی و کیفی علوفه ذرت بود. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایش از لحاظ عملکرد علوفه و کاهش درصد فیبر خام وجود داشت. همچنین ترکیب‌های مختلف کودهای گاوی و شیمیایی تأثیر مطلوبی بر شاخص‌های کیفی شامل درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، کل مواد مغذی قابل هضم، ماده خشک مصرفی و انرژی ویژه شیردهی داشت. بر اساس یافته‌های آزمایش می‌توان ترکیب بیوپار با کودهای مختلف را بسته به شرایط مختلف برای دستیابی به حداکثر کمیت و کیفیت علوفه مورد استفاده قرار داد. واژه‌های کلیدی: فیبر نامحلول در شوینده اسیدی، فیبر نامحلول در شوینده خنثی، انرژی ویژه شیردهی، کیفیت علوفه

مقدمه

ذرت با نام علمی (*Zea mays* L.) یکی از سه محصول اصلی زراعی جهان در کنار گندم و برنج ارزیابی می‌شود. 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 بی‌بدیل در امنیت غذایی ایفا کند (Aller et al., 2018; Dehghani, 2024). بر اساس آمار رسمی وزارت جهاد کشاورزی نیاز سالانه کشور به ذرت علوفه‌ای سیلویی در حدود ۱۵ میلیون تن است. با وجود این که تولید ملی این محصول به سطح خودکفایی رسیده، اما چالش‌های موجود در زمینه پایداری تولید همچنان جدی و نگران‌کننده است (Bazri et al., 2021). یافته‌های برخی تحقیقات داخلی نشان داده است که بکارگیری برخی تکنیک‌های مدیریتی فنی زراعی و همچنین توصیه‌های تحقیقاتی، می‌تواند بهره‌وری نهاده‌ها علی‌الخصوص کود و آب را افزایش دهد. در این راستا در مزارعی در کرمانشاه استفاده از این توصیه‌ها سبب رشد ۱۶/۴ درصدی عملکرد علوفه و کاهش هزینه‌های تولید شد (Zarei et al., 2021).

ذرت گیاهی با نیاز بالا به نیتروژن (نیتروفیل) به حساب می‌آید و این نیاز معمولاً با کودهای شیمیایی نیتراتی همچون اوره تأمین می‌شود، با این حال، کارایی مصرف نیتروژن در سطح جهانی حدود ۳۳ درصد و در ایران ۲۹ درصد گزارش شده (Kazemi et al., 2018) که نشان‌دهنده اتلاف بالای این منبع تغذیه‌ای در کشت بوم‌های 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 می‌تواند مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجهی 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 به دلیل 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 را 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 به شمار می‌آید، علاوه بر ارتقای حاصل‌خیزی، به‌عنوان استراتژی موثری برای ترسیب کربن در خاک اهمیت دارد.

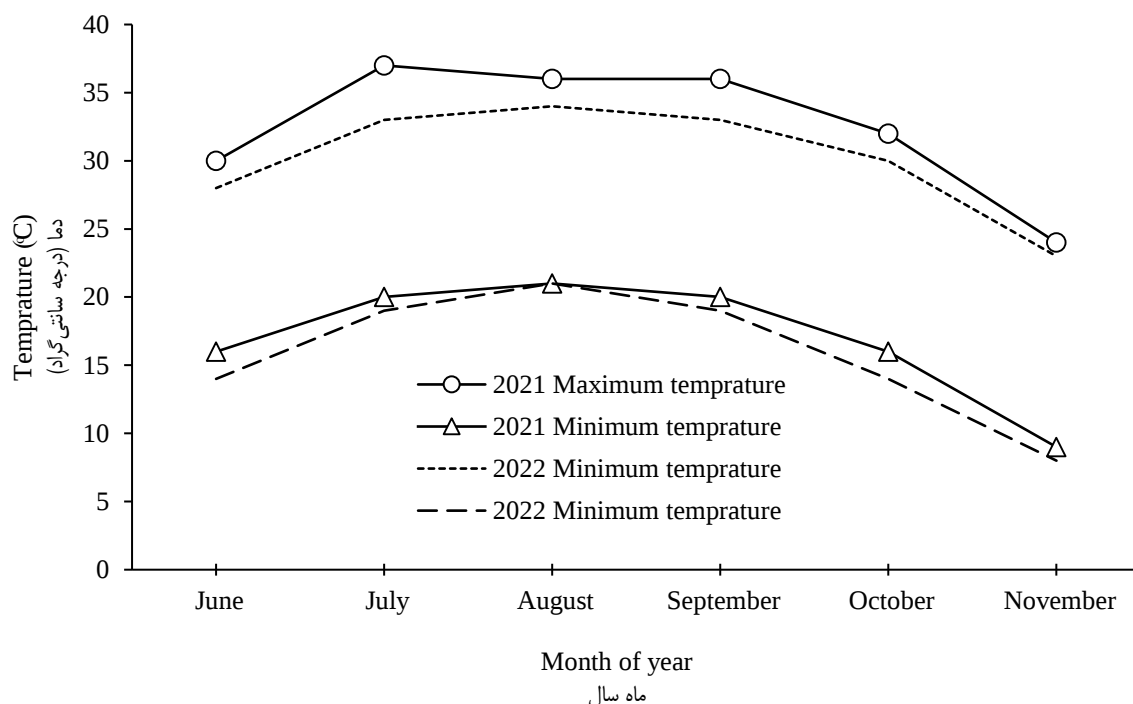
مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنه در کشت ذرت مشکلاتی مانند آلودگی نیتراتی منابع آب و بیماری‌های گوارشی ایجاد کرده است (WHO, 2017; Sidana *et al.*, 2023). مطالعات مختلفی نشان داده‌اند ترکیب بیوپار با کودهای اوره و آلی می‌تواند بر خصوصیات خاک تاثیر سازنده‌ای داشته باشد، اگرچه ممکن است در برخی موارد نیز تفاوتی قابل توجه و معنی‌دار در عملکرد علوفه مشاهده نشود (Darby *et al.*, 2024). در ایران نیز یافته‌های تحقیقاتی تاثیرات مشابهی برای بیوپار بر شمرده‌اند. 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 به همراه سطوح مختلف آبیاری، عملکرد ذرت علوفه‌ای را به میزان قابل توجهی بهبود داد (Bazri *et al.*, 2021). مطالعات دیگری نیز تاثیرات مثبت بیوپار بر ظرفیت نگهداری آب خاک، کاهش تنش رطوبتی و بهبود فعالیت میکروبی را تأیید (Zhang *et al.*, 2009; Yuniwati, 2018; Liu, 2024; Zerihun & Nguyen, 2024; Zhang *et al.*, 2024; Lavagi *et al.*, 2024; Jagnade *et al.*, 2022; Hu *et al.*, 2024) و تأکید کرده‌اند که ترکیب بیوپار علاوه بر 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 ارتقای عملکرد محصولات داشته‌اند (Singh *et al.*, 2002). شیرابه دامی نیز به‌عنوان منبعی ارزان و قابل دسترس برای تأمین نیتروژن شناخته می‌شود (Rahman *et al.*, 2008; Šimon *et al.*, 2015; Pedersen *et al.*, 2017). پژوهش‌های مختلفی در کشت ذرت، برنج، سویا و مرکبات نشان داده‌اند ترکیب اثرات مثبت قابل توجهی دارد (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 به عنوان ارتقا دهنده 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 ترکیبات مختلف منابع کودی مختلف 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 نیمه خشک (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 یک نشان داده شده است.



شکل ۱- متوسط کمینه و بیشینه دمای محل اجرای آزمایش در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Figure 1- Average minimum and maximum temperature of the test site in 2021 & 2022

طرح آماری و فاکتورهای آزمایش: آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه 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 استارتر شیرابه تهیه شد. به این منظور مایه تلقیح باکتری‌های هوازی با سیلوس در بشکه‌ای ریخته و پس از مخلوط کردن آن با مقداری از بقایای جامد و مایع فضولات گاوی، شرایط هوازی برای مخلوط ایجاد شد. در این راستا جهت هوادهی بهینه و پیش برد بهتر و افزایش سرعت تکثیر جمعیت باکتری‌ها، به مدت دو هفته، روزانه در چند نوبت مخلوط توسط همزن دستی به هم زده شد. تغییرات اسیدیته مایع استارتر به عنوان شاخصی از تغییرات جمعیت میکروبی در نظر گرفته شده و روزانه اندازه‌گیری شد. تغییرات اسیدیته مخلوط از قلیایی به اسیدی و ایجاد مخلوطی همگن و غلیظ نشان‌دهنده حصول نتیجه مطلوب از ایجاد جمعیت میکروبی قابل قبول بود. ضدعفونی مخلوط استارتر نیز به صورت روزانه و با استفاده از دستگاه اوزون ژنراتور و تزریق گاز به مخلوط انجام شد کلیه فرایندهای مورد اشاره تا زمان ثابت شدن اسیدیته مخلوط ادامه پیدا کرد. 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 شد. فرایندهای 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 و درصد عناصر غذایی آن سال گردید. نتایج این آزمایش در جدول ۱ آمده است.

روش اجرای آزمایش و مدیریت زراعی: عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی بستر در اردیبهشت‌ماه با گاواهن برگردان دار و سپس دو بار دیسک عمود بر هم انجام شده و نهایتاً 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). بر اساس 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)، 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 شد. مقدار مصرف اوره نیز بر اساس آزمون خاک و توصیه کودی برای گیاه ذرت تعیین گردید (جدول ۲).

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 Soil	شن Sand	% 40	کربن آلی Organic Carbon	% 0.768	اسیدیته pH	7.72
	رس Clay	% 40	آهک Lime	% 40.15	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity	2.04 dS.m ⁻¹
	سیلت Silt	% 20	فسفر Phosphorus	% 0.3		
	نیتروژن Nitrogen	% 0.08	پتاسیم Potassium	% 0.31		
کود گاوی Cattle manure	نیتروژن Nitrogen	% 1.25	کربن آلی Organic Carbon	16.2	اسیدیته pH	6.91
	فسفر Phosphorus	% 0.83	ماده آلی Organic Matter	27.92 mg.kg ⁻¹	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity	9.4 dS.m ⁻¹
	پتاسیم Potassium	% 2.2	C.N	12.96 mg.kg ⁻¹		
شیرابه دامی Slurry	نیتروژن Nitrogen	% 2.6	کربن آلی Organic Carbon	% 0.53	اسیدیته pH	6.84
	پتاسیم Potassium	% 0.3	فسفر Phosphorus	% 0.0393	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity	21.2 dS.m ⁻¹

بر اساس 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، کرت‌بندی 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 کرت‌های و بلوک‌های مجاور یک و نیم متر تعیین شد.

جدول ۲- میزان نیتروژن موجود در کودهای 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 Fertilizing amendment type	درصد نیتروژن Nitrogen (%)	میزان مصرف Amount of use	توضیحات Description
اوره Urea	46	340 kg.ha ⁻¹	* میزان آزادسازی نیتروژن از کود دامی در هر سال 25 درصد از کل نیتروژن آن می باشد (Gale <i>et al.</i> , 2006)
کود گاوی Cattle manure	1.25	50 ton.ha ⁻¹	* آنالیز کودها در کشاورزی، دانشگاه مین: http://anlab.umesci.maine.edu/soillab_files/forms/Manure.pdf .
بیوچار Biochar	-	20 ton.ha ⁻¹	https://www.umass.edu/agriculture-food-environment/sites/ag.umass.edu/files/fact-sheets/pdf/ManureasaNutrientResource(11-37).pdf
شیرابه دامی Slurry	2.6	60.15 m ³ .ha ⁻¹	

بذر مورد استفاده در آزمایش، بذر وارداتی رقم هیدو (شرکت مای ترکیه) بود که با بذرکار پنوماتیک کاشته شد. کاشت بذرها در نیمه خردادماه با فاصله بین ردیفها ۷۰ سانتی متر و روی ردیفها ۱۰ سانتی متر انجام شد، بر این اساس تراکم کاشت حدود ۱۴۳ هزار بوته در هکتار بود. تیمارهای کودهای شیمیایی و شیرابه دامی طی فصل رشد به صورت تقسیم شده در سه مرحله چهار برگی، شش برگی و مرحله ظهور تاسل مصرف شدند.

آبیاری به صورت قطره ای و دور آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت سنج و بر اساس تخلیه ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک تنظیم گردید. کنترل هفتگی علفهای هرز تا زمان بسته شدن کامل کانوپی بصورت دستی انجام شد. با پایش مستمر وضعیت مزرعه، در دوره رشد گیاه، آفت یا بیماری خاصی مشاهده نشد.

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، به میزان ۵۰ درصد مقدار 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 کرت های متناظر سال قبل اختصاص پیدا کرد.

اندازه گیری ها: شاخص های مورد بررسی شامل عملکرد علوفه و ویژگی های کیفی علوفه ذرت نظیر مقدار فیبر نامحلول در مواد شوینده خنثی^۱ و فیبر نامحلول در مواد شوینده اسیدی^۲ بودند که معیاری از میزان دیواره سلولی و دیواره سلولی عاری از همی سلولز در علوفه هستند. پس از این که علوفه هر کرت به صورت جداگانه برداشت شد، هشت نمونه ۱۰۰ گرمی از علوفه برداشته و نمونه ها با هم ترکیب شدند. در نتیجه، نمونه نهایی از آن برای اندازه گیری های مربوطه به آزمایشگاه منتقل شد. شاخص های کیفی مورد اشاره بر اساس روش (Van Soest 1991) اندازه گیری شدند. در نهایت، کل مواد غذایی قابل هضم^۳، ماده خشک مصرفی^۴ و انرژی ویژه شیردهی^۵ نیز با استفاده از معادله های ۱ تا ۳ (Lithourgidis *et al.*, 2006) محاسبه شدند.

$$TDN = (-1.29 \times ADF) + 101.35 \quad (\text{معادله ۱})$$

$$DMI = (120 / \%NDF \text{ dry matter basis}) \quad (\text{معادله ۲})$$

$$NEL = (1.044 - (.0119 \times \%ADF)) \times 2.205 \quad (\text{معادله ۳})$$

^۱ Neutral Detergent Fiber

^۲ Acid Detergent fiber

^۳ Total Digestible Nutrients

^۴ Dry Matter Intake

^۵ Net Energy for Lactation

که در آن، TDN کل مواد غذایی قابل هضم بر حسب درصد از کل ماده خشک، DMI ماده خشک مصرفی بر حسب کیلوگرم در روز و NEL ماده خشک مصرفی بر حسب 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 مقایسات میانگین از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. پس از بررسی اولیه همگنی بین واریانس خطای داده‌های دو سال با استفاده از آزمون بارتلت، مشخص شد بسیاری از صفات دارای همگنی بین واریانس خطا ندارند، بنابراین داده‌های هر سال به صورت مجزا مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند.

نتایج و بحث

الف. عملکرد کمی علوفه

عملکرد علوفه: نتایج نشان داد 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 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).

جدول ۳- تجزیه واریانس خصوصیات کمی علوفه ذرت در شرایط کاربرد تیمارهای مختلف در طی دوره‌های آزمایش

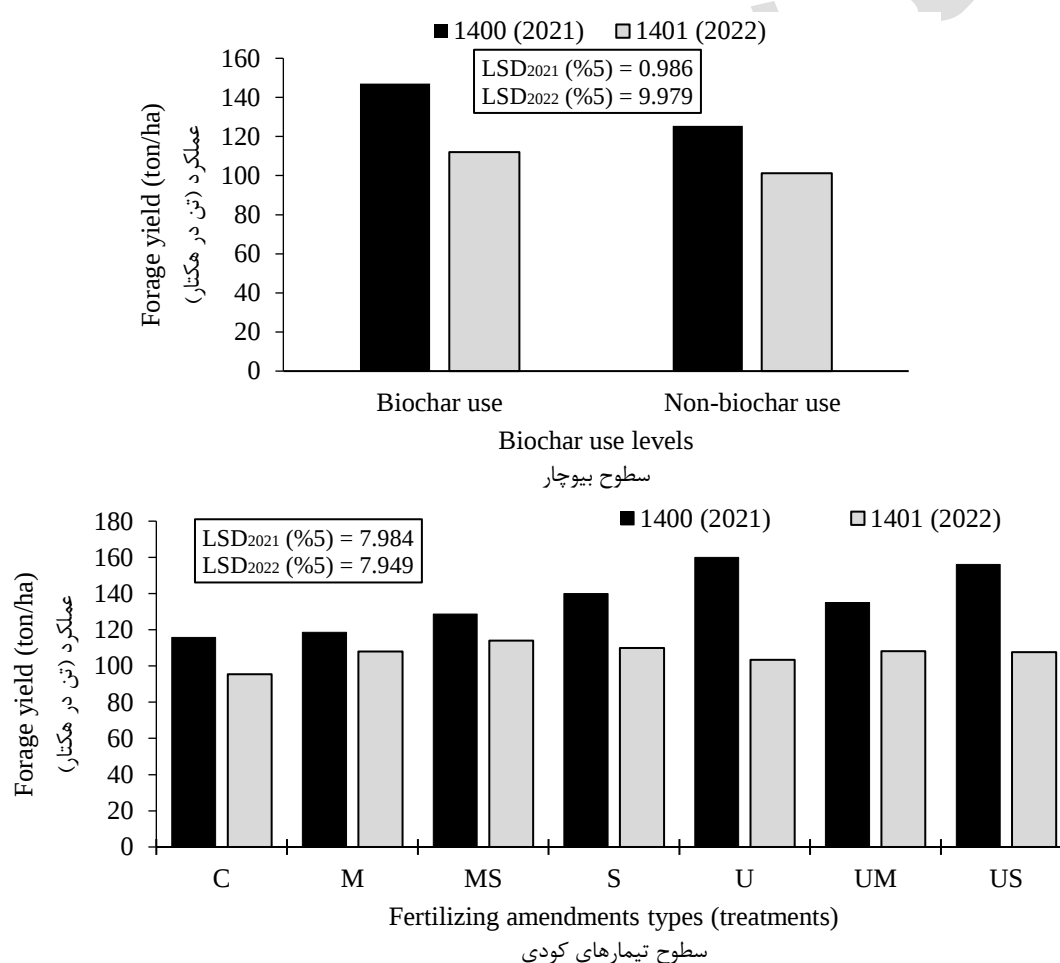
Table 3 - ANOVA of corn forage yield under different treatments during the experiment years

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

^{ns}, *, and ** 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.

در سال ۱۴۰۱ عملکرد علوفه ذرت در شرایط کاربرد بیوچار به طور معنی داری 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 می تواند به بهبود عملکرد ذرت سیلویی کمک کند (Lentz *et al.*, 2015). مصرف بیوچار به ویژه در شرایط تنش آبی موجب بهبود ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت می شود. در مطالعه چارخاب و همکاران (Charkhab *et al.*, 2021)، کاربرد بیوچار سبب افزایش معنی دار عملکرد دانه و شاخص های رشدی ذرت شد.



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

(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)

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

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از کود گاوی، به‌ویژه در ترکیب با بیوپار و اوره، اثر قابل‌ملاحظه‌ای بر افزایش عملکرد ذرت سیلویی دارد. این اثر عمدتاً ناشی از نقش کود گاوی در ارتقای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از جمله بهبود ساختار خاک، افزایش فعالیت میکروبی و ارتقای 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 and 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 به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد و در نتیجه عملکرد محصول را بهبود بخشد. به‌عنوان مثال، استفاده از کود دامی باعث افزایش ۱۰۳ برابری در غلظت نیتروژن و عملکرد ذرت سیلویی نسبت به گروه شاهد شد (Lentz & Ippolito, 2012).

شیرابه دامی و اوره نیز به‌عنوان منابع نیتروژن در کشت ذرت 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 (Nilahyane et al., 2018; Safdarian et al., 2014).

ب. ویژگی‌های کیفی علوفه

فیبر نامحلول در مواد شوینده اسیدی: نتایج نشان داد در سال ۱۴۰۰ اثر نوع کود مصرفی بر فیبر نامحلول در شوینده اسیدی معنی‌دار بود (جدول ۴). در سال ۱۴۰۱ نیز اثر اصلی بیوپار 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 در تیمار کود گاوی + شیرابه دامی به‌دست 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 (۳۲ درصد) اختصاص داشت (شکل ۳).

نتایج نشان داد در سال ۱۴۰۱ در شرایط کاربرد بیوپار بیشترین درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی در تیمار کود گاوی به‌دست آمد در حالی که در شرایط عدم کاربرد بیوپار بیشترین درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی در گروه شاهد به‌دست آمد (شکل ۳). در این سال در شرایط مصرف بیوپار، مقایسه سطح عدم کاربرد بیوپار در درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی 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 بیوپار، درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی در همه تیمارها در مقایسه با گروه‌شاهد 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).

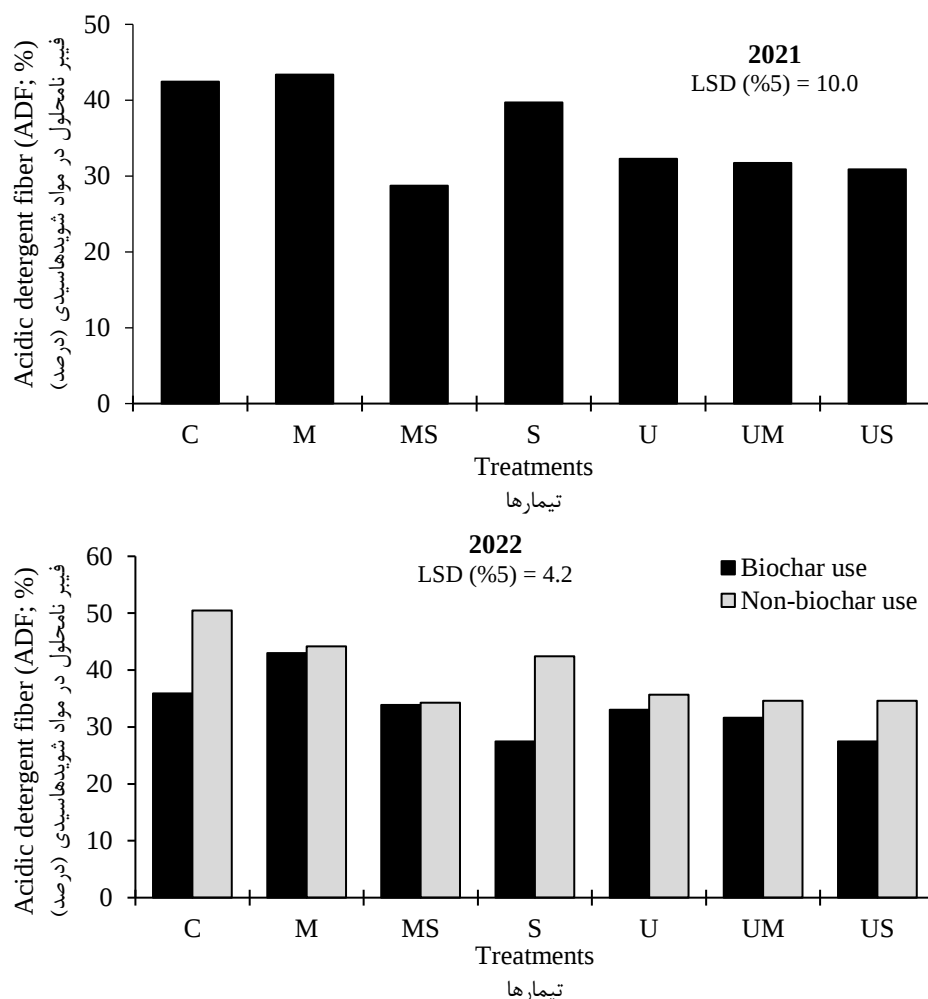
جدول ۴- تجزیه واریانس خصوصیات کیفی علوفه ذرت در شرایط کاربرد تیمارهای مختلف در طی دوره‌های آزمایش
Table 4 - ANOVA of corn forage quality characteristics under different treatments during the experiment years

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	2021					2022				
		میانگین مربعات Mean of squares									
		ADF	NDF	TDN	DMI	NEL	ADF	NDF	TDN	DMI	NEL
بلوک Block (B)	2	4.6 ^{ns}	99.54 ^{ns}	4.6 ^{ns}	99.5 ^{ns}	4.6 ^{ns}	3.83 ^{ns}	0.93 ^{ns}	3.83 ^{ns}	4.6 ^{ns}	99.54 ^{ns}
بیوچار Biochar (A)	1	503 ^{ns}	135.25 ^{ns}	501 ^{ns}	135 ^{ns}	504 ^{ns}	412*	200*	412*	503 ^{ns}	135.25 ^{ns}
خطای کرت اصلی B × A	2	154	42.02	151	42	155	5.48	3.31	5.48	154	42.02
کود Fertilizing amendment (F)	6	220*	106.4*	219*	108*	221*	148**	78.2**	148**	220*	106.4*
بیوچار × کود F × A	6	48.4 ^{ns}	82.11 ^{ns}	48 ^{ns}	82 ^{ns}	48.3 ^{ns}	345**	594**	345**	48.4 ^{ns}	82.11 ^{ns}
خطای کرت فرعی Error	24	73.9	43.11	73.83	43.01	73.9	6.13	3.08	6.13	73.9	43.11
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	-	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.

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. به عنوان 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 می‌شود (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 نتیجه مواد نامحلول در شوینده اسیدی را کاهش می‌دهد (Ghasemi *et al.*, 2018). همچنین بیان شده است که شیرابه دامی به عنوان 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 به نوبه خود به بهبود هضم و جذب عناصر غذایی در دام‌ها کمک می‌کند (Sun *et al.*, 2023). در آزمایش حاضر نیز مشخص شد به‌طور کل عدم کاربرد کود یا کاربرد کود دامی افزایش فیبر نامحلول در شوینده اسیدی را به دنبال داشت. از طرفی کاربرد بیوچار باعث شد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی کاهش یابد.



شکل ۳- فیبر نامحلول در مواد شوینده اسیدی در تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و برهمکنش بیوچار × کود در سال ۱۴۰۱ (حروف نشان داده شده 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)

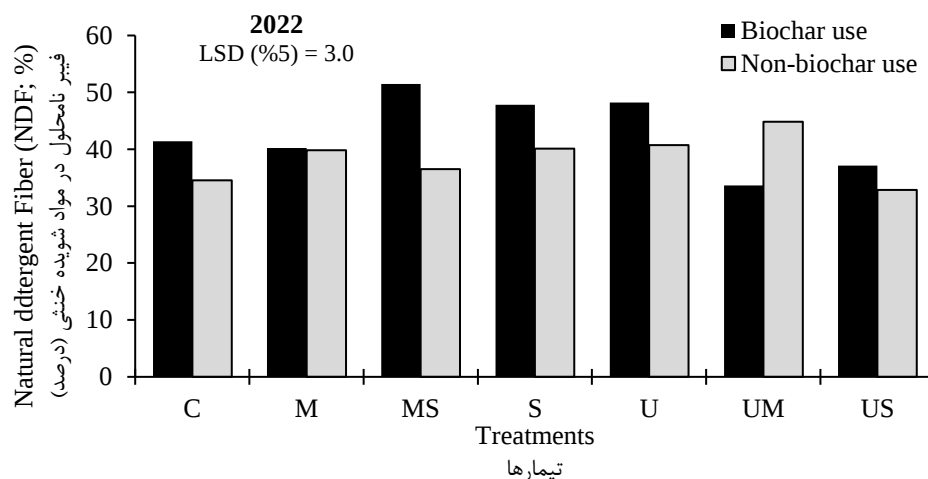
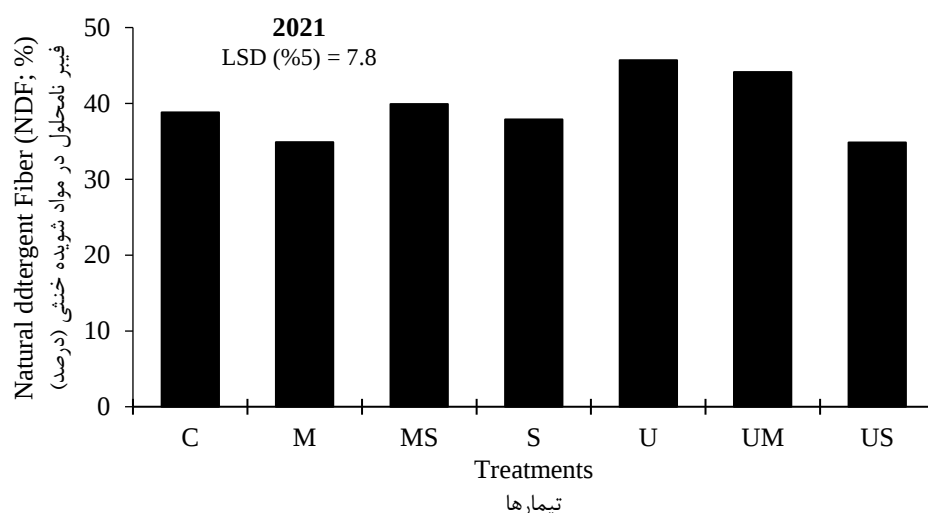
Figure 3- ADF in treatments in 2021 and biochar × fertilizer interaction in 2022

(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)

فیبر نامحلول در مواد شوینده خنثی: در هر دو سال ۱۴۰۰ و در سال ۱۴۰۱ اثر بیوچار، اثر تیمارهای کودی و اثر متقابل بیوچار و نوع کود بر درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی معنی دار بود (جدول ۴). بر اساس نتایج، در سال ۱۴۰۰ بیشترین درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی مشترکاً از تیمارهای کود شیمیایی و کود کود شیمیایی + کود گاوی به دست آمد (شکل ۴). در سال ۱۴۰۰ در بین تیمارهای کودی و در مقایسه با شاهد، درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی اثرات اصلی تیمارهای کود گاوی، شیرابه دامی و کود شیمیایی + شیرابه دامی به ترتیب ۱۰، ۲ و ۱۰ درصد کاهش نشان داد؛ در حالی که این صفت در شرایط مصرف بیوچار در تیمارهای کود شیمیایی + شیرابه دامی، کود 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 در سال ۱۴۰۱ در شرایط کاربرد بیوچار بیشترین درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی از تیمار کود گاوی + شیرابه دامی به دست آمد در حالی که در شرایط عدم مصرف بیوچار بیشترین درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی از تیمار کود 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 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.



شکل ۴- فیبر نامحلول در مواد شوینده خنثی در تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و برهمکنش بیوچار × کود در سال ۱۴۰۱ (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)

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

(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)

در تیمار کاربرد بیوچار اما نتایج یکسان نبود به نحوی 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 به عنوان یک منبع غنی از مواد آلی و مغذی عمل می کند که می تواند به افزایش کیفیت علوفه و کاهش فیبر نامحلول در شوینده های خنثی منجر شود. این افزایش کیفیت به بهبود هضم و جذب عناصر غذایی در دامها کمک می کند (Lithourgidis *et al.*, 2006, Liu *et al.*, 2024).

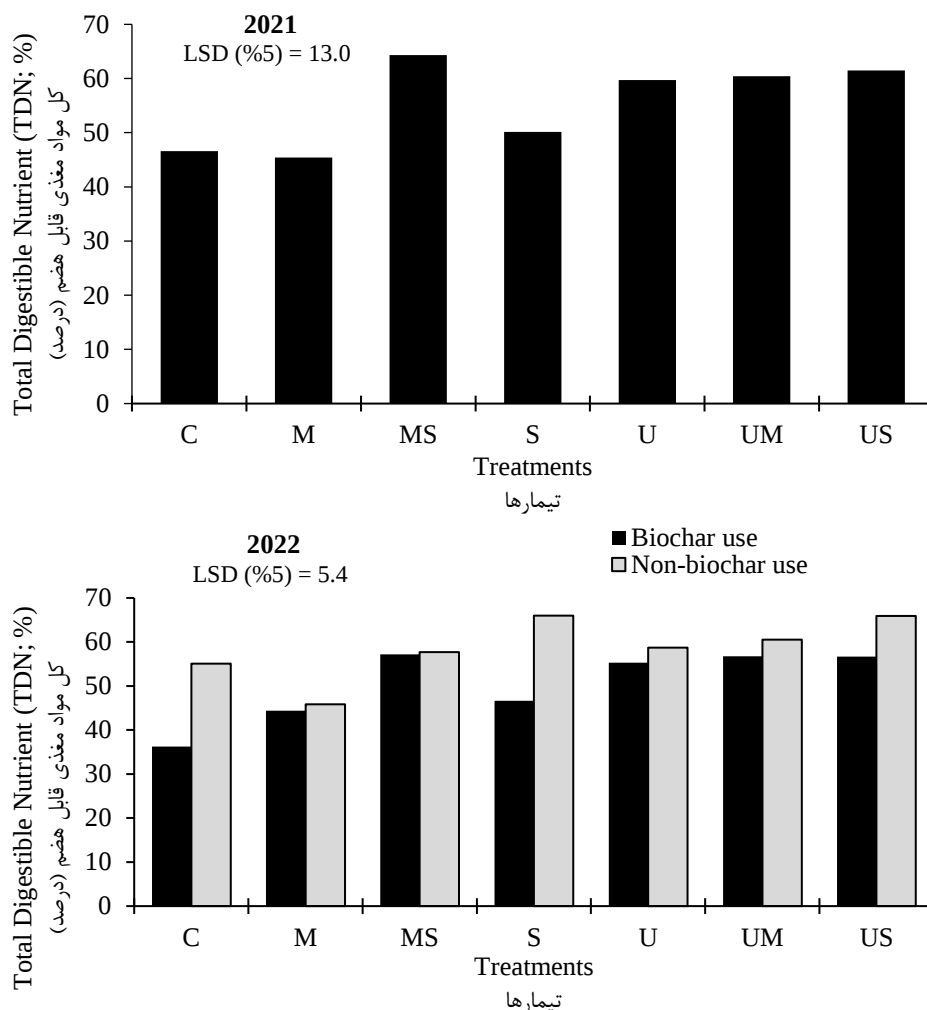
در باره نقش استفاده از کود اوره در ذرت تحقیقات نشان داده است که اوره به عنوان یک منبع نیتروژن می تواند به بهبود فرآیند تخمیر و افزایش قابلیت هضم علوفه کمک کند. استفاده از اوره در ترکیب با شیرابه دامی و کود دامی می تواند به

کاهش فیبر نامحلول در شوینده خنثی منجر شود (Muhammad & Saleem, 2008). از سوی دیگر پژوهشگران گزارش کردند بیوپچار به عنوان یک اصلاح کننده خاک می تواند به بهبود ساختار خاک و افزایش فعالیت میکروبی کمک کند. این امر می تواند منجر به افزایش قابلیت هضم فیبر نامحلول در شوینده خنثی علوفه ذرت شود. تحقیقات نشان داده اند که افزایش قابلیت هضم علوفه ناشی از کاربرد بیوپچار می تواند به افزایش فعالیت میکروبی در روده و بهبود فرآیند تخمیر کمک کند، که به نوبه خود به کاهش فیبر نامحلول در شوینده خنثی منجر می شود (Roman-Garcia *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2023).

کل مواد مغذی قابل هضم (TDN): اثر کود مصرفی در سال ۱۴۰۰ در سطح احتمال ۵ درصد و اثر اصلی بیوپچار، اثر اصلی کود و اثر برهمکنش این دو عامل در سال ۱۴۰۱ بر کل عناصر غذایی قابل هضم معنی دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد 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 از تیمار کود گاوی مشاهده شد (شکل ۵). در سال ۱۴۰۰ به جز تیمار کود دامی که در مقایسه با گروه شاهد (C) در صد عناصر غذایی قابل هضم کاهش یافت (۳ درصد)؛ در سایر تیمارهای مورد ارزیابی در صد 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 بیوپچار بیشترین درصد عناصر غذایی قابل هضم مشترکاً 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 به طور مشترک از تیمارهای شیرابه دامی و کود شیمیایی + شیرابه دامی حاصل شد (شکل ۵). نتایج نشان داد در سال ۱۴۰۰ در تیمار کاربرد بیوپچار در صد مواد غذایی قابل هضم در تمامی تیمارها به جز 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، در صد عناصر غذایی قابل هضم نسبت به گروه شاهد (C) افزایش یافت با این توضیح که بیشترین و کمترین درصد کاهش به ترتیب در تیمارهای کود گاوی + شیرابه دامی (۵۸ درصد) و کود گاوی (۲۲ درصد) ثبت شد (شکل ۵).

نتایج تحقیقات مختلف نشان می دهد که استفاده از کود دامی به طور معنی داری موجب افزایش درصد ماده خشک قابل هضم و کل مواد قابل هضم علوفه ذرت می شود. این اثر به دلیل بهبود ساختار خاک، افزایش مواد آلی و تأمین تدریجی عناصر غذایی (به ویژه نیتروژن) است که رشد و کیفیت علوفه را ارتقا می دهد (Baghdadi *et al.*, 2016). همچنین گزارش شده است که شیرابه دامی به عنوان یک منبع غنی از عناصر غذایی می تواند به بهبود کیفیت علوفه و افزایش محتوای پروتئین کمک کند. این بهبود کیفیت می تواند به افزایش قابلیت هضم علوفه ذرت منجر شود. افزایش فعالیت میکروبی: شیرابه دامی می تواند فعالیت میکروبی در روده را افزایش دهد، که این امر به بهبود فرآیند تخمیر و در نتیجه افزایش قابلیت هضم علوفه کمک می کند (Hanušovský *et al.*, 2018). در مطالعه حاضر نیز کاربرد کود دامی و شیرابه افزایش مواد قابل هضم را به دنبال داشت.



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

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

(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)

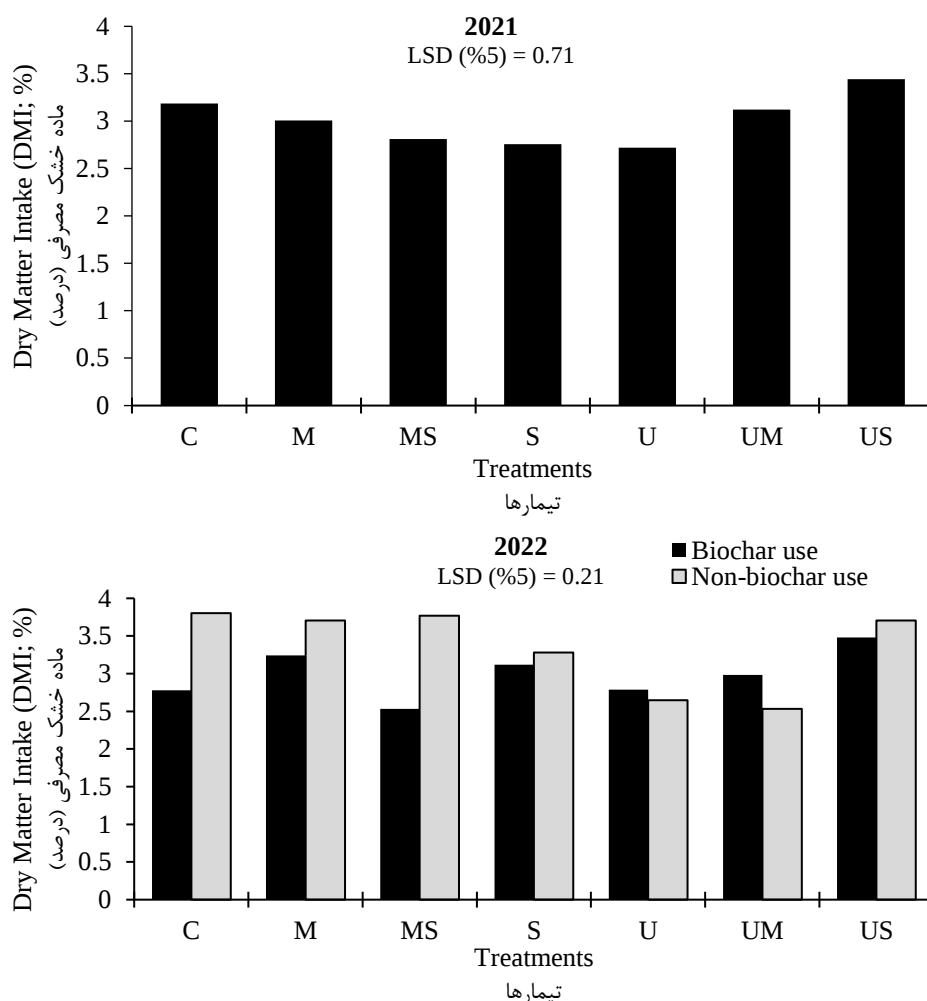
نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کود دامی با افزایش محتوای نیتروژن خاک، به‌طور معنی‌داری موجب افزایش محتوای نیتروژن (و در نتیجه پروتئین خام) علوفه ذرت می‌شود (Nilahyane *et al.*, 2018). مصرف کود دامی، نیتروژن را به شکل تدریجی و ماندگار در اختیار گیاه قرار می‌دهد و این مسئله به بهبود تغذیه نیتروژنی ذرت و 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 به دلیل 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 شد. 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 بیوچار، اثر اصلی کود و اثر متقابل بیوچار×کود بر شاخص ماده خشک مصرفی معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد در سال ۱۴۰۰ بیشترین شاخص ماده خشک مصرفی از تیمار کود شیمیایی به دست آمد، در همین سال کمترین شاخص ماده خشک مصرفی به طور 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 به نحوی 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 بیوچار و تیمار کود شیمیایی+کود گاویتعلق داشت و کمترین شاخص ماده خشک مصرفی نیز در تیمار کود گاوی + شیرابه دامی به ثبت رسید (شکل ۶). در شرایط عدم کاربرد بیوچار بیشترین و کمترین شاخص ماده خشک مصرفی به ترتیب به تیمارهای گروه شاهد و کود شیمیایی+کود گاویتعلق داشت (شکل ۶).

نتایج نشان داد در شرایط عدم کاربرد بیوچار 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 بیوچار 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.

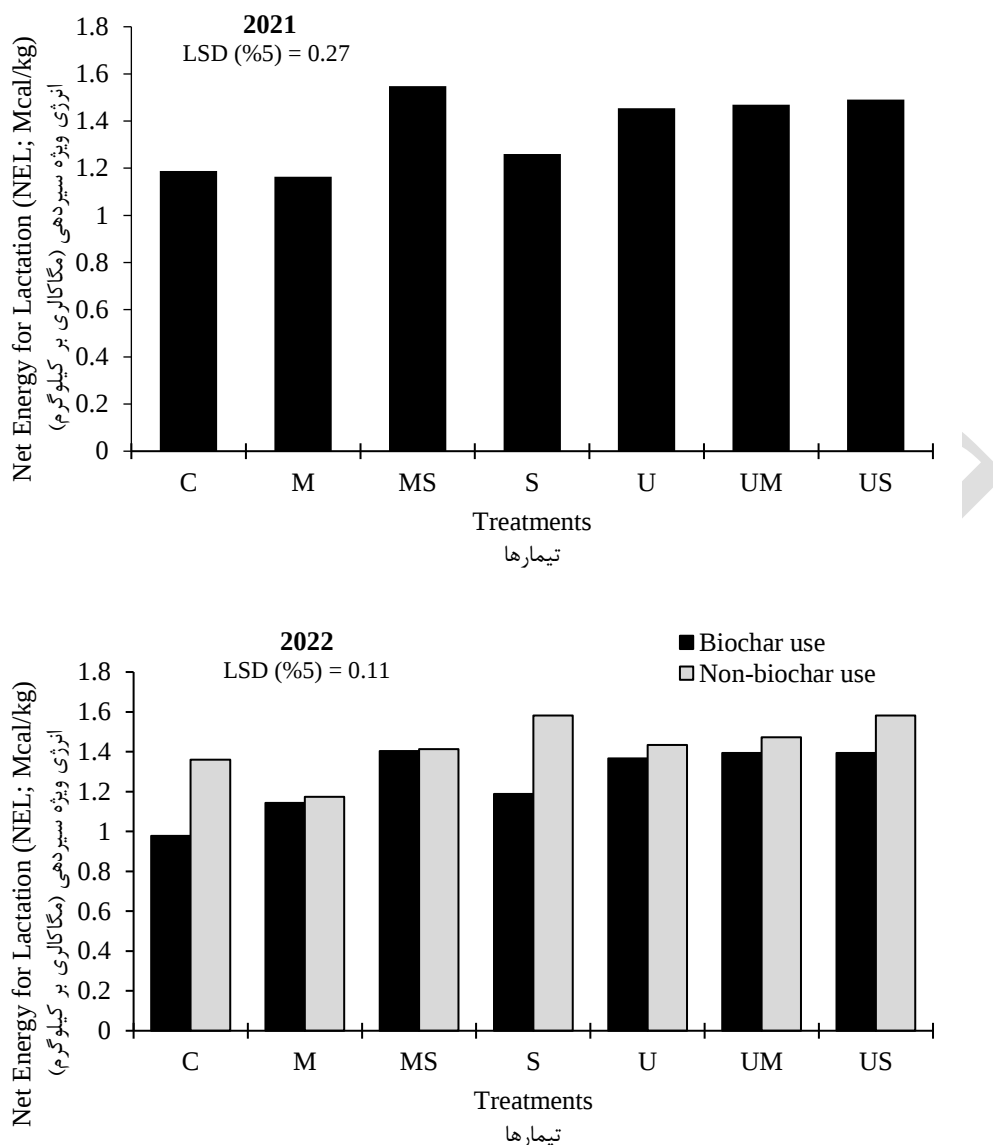


شکل ۶- شاخص ماده خشک مصرفی در تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و برهمکنش بیوپچار × کود در سال ۱۴۰۱ (حروف نشان داده شده بر روی محور افقی، سطوح تیمارهای کودی و شامل C شاهد، M کود گاوی، MS ترکیب دوگانه کود گاوی و شیرابه دامی، S شیرابه دامی، U کود شیمیایی اوره، UM ترکیب دوگانه اوره و کود گاوی و US ترکیب دوگانه اوره و شیرابه دامی هستند)

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

(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)

انرژی ویژه شیردهی (NEL): نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و اثرات اصلی بیوپچار و کود و برهمکنش بیوپچار × کود در سال ۱۴۰۱ بر انرژی ویژه شیردهی معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مشخص کرد 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 به جز 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).



شکل ۷- انرژی ویژه شیردهی در تیمارهای کودی در سال ۱۴۰۰ و برهمکنش بیوچار × کود در سال ۱۴۰۱ (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)

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

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کاربرد بیوچار به تنهایی و در ترکیب با کودهای آلی و شیمیایی و ترکیب‌های مختلف آن‌ها، عملکرد علوفه ذرت را بهبود بخشید. تیمارهای با کاربرد بیوچار در مقایسه با شاهد، عملکرد علوفه را افزایش داد که استفاده توأمان 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 ارتقای شاخص‌های تغذیه‌ای شد. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از بیوچار در کنار مصرف کودهای رایج نیتروژنه برای تولید ذرت نه تنها سبب بهبود ارزش غذایی علوفه می‌شود، بلکه می‌تواند زمینه ساز استفاده بهینه از منابع کودی و کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی پرهزینه و پرریسک باشد. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از ترکیب بیوچار با کودهای آلی و شیمیایی می‌

تواند از راهکارهای کارآمد در مدیریت پایدار تولید ذرت علوفه‌ای باشد و در برنامه‌های کشاورزی با رویکرد حفظ محیط‌زیست و ارتقای بهره‌وری منابع مورد توجه قرار گیرد.

منابع

- 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. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.271663.654558> (In Persian)
- 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.
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.10508.1823> (In Persian)
- 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.
- 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. (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)
- 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*.
- Dehghani Ahmadabadi, M. (2014). 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)
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56556> (In Persian).

- 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.
- 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. 10.63066/23220457.33.2.007.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. *Agricultural Ecology*, 10(2), 490–503. <https://sid.ir/paper/211031/fa> (In Persian)
- Gliessman, S. R. 2014. Agroecology: The ecology of sustainable food systems (3rd ed.). CRC Press.
- Hanušovský, O., Bíro, D., Šimko, M., Gálik, 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.
- 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.
- Imran, A. (2024). Integration of organic, inorganic and bio fertilizer improves maize-wheat system productivity and soil nutrients. *Journal of Plant Nutrition*, 47(15), 2494–2510.
- Jagnade, P., Panwar, N.L., Gupta, T. and Agrawal, C., 2022. Role of biochar in agriculture to enhance crop productivity: An overview. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13, p.429.
- Kahandage, P.D., Rupasinghe, C.P., Ariyawansa, K.T. and 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. DOI: 10.4038/jdza.v9i1.69
- Kazemi, R., Ronaghi, A., Yassrebi, J., Ghasemi Fasaie, 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)
- Kızılkaya, R. (2008). Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. *Ecological Engineering*, 33(2), 150-156.
- 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), p.6070.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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. DOI: 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
- 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)
- Nilahyane, A., Islam, M.A., Mesbah, A.O. & Garcia y Garcia, A. (2018). Effect of irrigation and nitrogen fertilization strategies on silage corn grown in semi-arid conditions. *Agronomy*, 8(10), p.208.
- 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.
- 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.
- 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.
- Saleem, R., Ahmed, Z.I., Ashraf, M., Arif, M., Malik, M.A., Munir, M., & Khan, M.A. (2011). Response of maize-legume intercropping system to different fertility sources under rainfed conditions. *Sarhad Journal of Agriculture*, 27(4), 503-511.
- 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. DOI: 10.1002/jeq2.20228
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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. doi:10.1017/S0021859608008265
- World Health Organization (WHO). 2017. Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). WHO Publication Library.
- 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.
- 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.
- 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)
- 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

نسخه پیش انتشار