

Investigating the behavior of nitrogen release from nitrogen fertilizers based on different biochars

Amir Khamseh^{*1}, Ahmad Golchin², Saeid Shafiei³

1. Corresponding author, PhD student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran. E-mail: amir.khamse@gmail.com
2. Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran. E-mail: agolchin2011@yahoo.com
3. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Jiroft University, Jiroft, Iran. E-mail: saeid55@gmail.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received:

Revised:

Accepted:

Keywords:

Ammonium nitrate,
Biochar,
Slow-release fertilizer,
Urea

ABSTRACT

Background and Objectives: Although using common chemical fertilizers such as nitrogen fertilizers improves agricultural production, at the same time, it leads to serious environmental problems and a considerable economic cost. The low use efficiency of nitrogen chemical fertilizers increases the production costs of agricultural products and reduces the yield of products. Environmental pollution using chemical fertilizers, especially nitrogen fertilizers, has made the fertilizer production industry progress towards the supply of slow-release fertilizers. Recently, in addition to using biochar as a soil amendment, it has been used to production of biochar-based slow-release fertilizers. The current experiment was conducted to evaluate the behavior of nitrogen release from urea and ammonium nitrate fertilizers based on the biochars of walnut shell residues, grape pruning and wheat stubble in water, different pH and soil.

Materials and Methods: To evaluate the behavior of nitrogen release from nitrogen fertilizers based on different biochars three experiment completely randomized split plot were conducted with three replications in the laboratory of the Soil Department of the Faculty of Agriculture of Zanjan University, Zanjan, Iran. The experiment treatments included three types of biochar (residues of grape pruning, walnut shell and wheat straw) at two pyrolysis temperatures of 350 and 650 degrees and nitrogen fertilizer (20% by weight) from two sources of urea and ammonium nitrate, which were also added to each treatment 10% montmorillonite clay by weight. In order to investigate the behavior of prepared fertilizer tablets in connection with the release of nitrogen in water, 10 grams of the prepared fertilizer tablets after being placed in 100 mesh nylon in a container containing 200 ml of distilled water were allowed to let it float for 56 days at room temperature in a container. During the experiment, samples were taken from the solution at 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 28, and 56 days after the start of the experiment, and the cumulative nitrogen concentration was measured and its release percentage was calculated.

Results: The results showed that the effect of temperature and biochar type on density, apparent density, pH and EC of fertilizer tablets based on biochar was significant. Nitrogen of nitrogen fertilizers based on biochar was gradually released in water during the experiment in all biochars, but

its release rate was higher at the beginning of the experiment. The rate of nitrogen release during the experiment in fertilizer tablets based on wheat straw biochar was lower compared to walnut shell and grape pruning biochars, so that at the end of the experiment, the percentage of nitrogen release in wheat straw biochar was lower 8 (7) and 6.6 (5.1) % compared to walnut shell biochar and grape pruning residues at 350°C (or 650°C) pyrolysis temperature, respectively. The lowest and highest percentage of nitrogen release occurred in pH=2 and pH=6, respectively, at both pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C. Also, the lowest and highest percentage of nitrogen release in soil was observed in wheat stubble biochar and grape pruning residues at both pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C, respectively.

Conclusion: The using a combination of nitrogen fertilizers such as urea and ammonium nitrate based on biochar and in granulated form acts as a slow-release fertilizer, which can be a proper way to promote sustainable agriculture.

Cite this article: Khamseh, Amir, Golchin, Ahmad, Shafiei, Saeid. 2024. Investigating the behavior of nitrogen release from nitrogen fertilizers based on different biochars. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*,



© The Author(s).

DOI:

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



بررسی رفتار رهاسازی نیتروژن از کودهای نیتروژن دار برپایه بیوچارهای مختلف

امیر خمسه^{۱*}، احمد گلچین^۲، سعید شفیعی^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: amir.khamse@gmail.com

۲. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: agolchin2011@yahoo.com

۳. استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران. رایانامه: saeid55@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۸ واژه‌های کلیدی: اوژه، بیوچار، کود کندرها، نیترات آمونیوم	سابقه و هدف: با اینکه استفاده از کودهای شیمیایی رایج مانند کودهای نیتروژن دار باعث بهبود تولیدات کشاورزی می‌شود، اما در همان حال مشکلات جدی زیست محیطی و هزینه اقتصادی قابل توجهی به دنبال دارد. راندمان پایین استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن دار باعث افزایش هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی و کاهش عملکرد محصولات می‌شود. آلودگی‌های زیست محیطی استفاده از کودهای شیمیایی به‌خصوص کودهای نیتروژن دار باعث شده تا صنعت تولید کود به سمت عرضه کودهای کندرها پیشرفت داشته باشد. اخیراً علاوه بر استفاده از بیوچار به‌عنوان یک اصلاح کننده خاک، از آن در جهت تولید کودهای کندرها مبتنی بر بیوچار استفاده شده است. آزمایش حاضر به‌منظور ارزیابی رفتار رهاسازی نیتروژن از کودهای اوره و نیترات آمونیوم بر پایه بیوچارهای بقایای پوست گردو، بقایای هرس انگور و کلش گندم در آب، در pH های مختلف و در خاک صورت گرفت. مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی رفتار رهاسازی نیتروژن از کودهای نیتروژن دار بر پایه بیوچارهای مختلف سه آزمایش اسپلیت پلات به‌صورت کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه گروه خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه نوع بیوچار (بقایای هرس انگور، پوست گردو و کلش گندم) تهیه شده در دو دمای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس و دو نوع کود نیتروژن دار (۲۰ درصد وزنی) از منبع اوره و نیترات آمونیوم بود که به هر تیمار ۱۰ درصد وزنی رس مونت‌موریلونایت نیز اضافه شد. برای بررسی رفتار کندرها بودن قرص‌های کودی تهیه شده در ارتباط با آزادسازی نیتروژن در آب، مقدار ۱۰ گرم از قرص‌های کودی تهیه شده پس از قرار داده شدن در نایلون با اندازه مش ۱۰۰ در ظرفی حاوی ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، اجازه داده شد تا به مدت ۵۶ روز در دمای اتاق در ظرف، شناور بماند. در طول آزمایش در زمان‌های ۱، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۲۸، و ۵۶ روز بعد از

شروع آزمایش از محلول نمونه برداری شد و غلظت نیتروژن تجمعی اندازه گیری و درصد رهاسازی آن محاسبه شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که اثر دما و نوع بیوچار بر چگالی، چگالی ظاهری، pH و EC قرص های کودی بر پایه بیوچار معنادار بود. نیتروژن کودهای نیتروژن دار بر پایه بیوچار در طی آزمایش در همه بیوچارها به تدریج در آب آزادسازی گردید ولی سرعت آزادسازی آن در ابتدای آزمایش بیشتر بود. میزان آزادسازی نیتروژن در طول آزمایش در قرص های کودی بر پایه بیوچار کلش گندم نسبت به بیوچارهای پوست گردو و هرس انگور کمتر بود به طوری که در انتهای آزمایش درصد آزاد سازی نیتروژن در بیوچار کلش گندم نسبت به بیوچار پوست گردو و بقایای هرس انگور در دمای پیرولیز ۳۵۰ (یا ۶۵۰) درجه سلسیوس به ترتیب ۸ (۷) و ۶/۶ (۵/۱) درصد پایین تر بود. کمترین و بیشترین درصد آزادسازی نیتروژن به ترتیب در pH=۲ و pH=۶ در هر دو دمای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس اتفاق افتاد. همچنین کمترین و بیشترین درصد آزادسازی نیتروژن در خاک به ترتیب در بیوچار کلش گندم و بقایای هرس انگور در هر دو دمای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس مشاهده شد.

نتیجه گیری: استفاده از مخلوط کودهای نیتروژن دار مانند اوره و نترات آمونیوم بر پایه بیوچار به صورت گرانوله به عنوان یک کود کندها عمل می کند که این موضوع می تواند راهی مناسب برای ترویج کشاورزی پایدار باشد.

استناد: خمسه، امیر، گلچین، احمد، شفیعی، سعید (۱۴۰۳). بررسی رفتار رهاسازی نیتروژن از کودهای نیتروژن دار برپایه بیوچارهای مختلف. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار.

DOI: -----



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

راندمان پایین استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار باعث افزایش هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی و کاهش عملکرد محصولات می‌شود. آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی به‌خصوص کودهای نیتروژن‌دار باعث گردیده تا صنعت تولید کود به سمت عرضه کودهای کندرها پیشرفت داشته باشد. به‌طور معمول بیشتر مباحث تولیدی در کودهای کندرها، بر جلوگیری از رهایش سریع و شسته شدن نیترات در پروفیل خاک متمرکز است (۱). کودهای کندرها عموماً بر پایه مواد شیمیایی است، ولی با این حال استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر مانند بیوچار، جهت تولید کودهای کندرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بیوچار به‌عنوان راه‌حلی ماندگار در عرصه بازیافت ضایعات کشاورزی و تکمیل کردن ترسیب کربن در محیط است و دارای ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی مثبتی است که می‌تواند تا صدها سال در خاک ماندگار باشد (۲). افزودن بیوچار به خاک، علاوه بر ترسیب کربن، باعث افزایش حاصلخیزی خاک و تولید محصول، کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و آلودگی‌های غیرمتمرکز و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد (۳).

در واقع به دلیل مقاوم بودن بیوچار به تجزیه سریع، این امکان فراهم شده است که از بیوچار به‌عنوان کود کندرها استفاده گردد. با این حال، بیوچار به تنهایی نمی‌تواند تمامی عناصر مورد نیاز برای رشد گیاهان را فراهم کند. تحقیقات نشان داده است که افزودن بیوچار به تنهایی و بدون منبع کافی نیتروژن، باعث کاهش عملکرد می‌گردد (۴). بنابراین افزودن برخی کودها به بیوچار می‌تواند آن را به منبع بسیار مناسبی جهت تأمین عناصر غذایی مورد نیاز رشد گیاه تبدیل کند. پژوهشگران نشان داده‌اند که کودهایی با پایه

بیوچار، آزاد شدن عناصر را به تأخیر می‌اندازند (۵). این کودها به‌طور معنی‌داری باعث تنظیم pH خاک، کاهش چگالی ظاهری در راستای بهبود تهویه و نفوذپذیری خاک و افزایش عملکرد می‌گردند (۶). گونزی و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که ساختار متخلخل و منافذ زیاد بیوچار، باعث جذب مؤثر نیترات، فسفر و پتاسیم شده و بیوچار غنی از مواد معدنی تولید می‌گردد که مقدار آزادسازی این یون‌ها، نسبت به آزادسازی آن‌ها توسط کودهای معمول رایج، بسیار کمتر است (۷). چن و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که کود نیتروژن‌دار سنتزی بر پایه بیوچار کلش برنج در کاهش آزادسازی نیتروژن به‌خوبی مؤثر بود (۸). تحقیقات دیگری نیز نشان داده‌اند که بیوچار شامل گروه‌های عاملی زیادی می‌باشد که باعث جذب عناصر غذایی نیترات، آمونیوم، فسفر و پتاسیم و در نتیجه کاهش آبشویی آن‌ها می‌شود (۹).

استفاده از کودهای گرانوله بر پایه بیوچار در زمین‌های کشاورزی در حال افزایش می‌باشد. در واقع این نوع کودها دارای فضای خالی کمتری بوده و چگالی بالاتری دارند که باعث می‌شود حمل و نقل و کار با آنها راحت‌تر باشد. هرچند قرص‌های بیوچار غنی شده با مواد غذایی به‌عنوان منابع کودی، نسبت به کودهای شیمیایی معمول، در تغذیه گیاه مؤثرتر می‌باشند ولی اطلاعات در زمینه عملکرد قرص‌های ساخته شده با ترکیبات آلی و شیمیایی کم می‌باشد (۱۰).

افزودن مواد متخلخلی مانند ژئولیت، به‌عنوان کنترل‌گر در آزادسازی اوره از دیرباز انجام شده است که دارای سطح ویژه و ظرفیت تبادلی بالا می‌باشد. این مواد می‌توانند کاتیون‌های تبادلی خود را با یون‌های آمونیوم ناشی از هیدرولیز اوره به‌دست آورند. رس‌های آلومینوسیلیکات طبیعی، ارزان‌تر و عمومی‌تر از سایر کانی‌های معمول کاربرد داشته و به‌عنوان ماده‌ای

جهت افزایش کارایی مصرف اوره استفاده می‌شود. کانی‌های رسی، سیلیکات‌های لایه‌ای آبدار می‌باشند که قابلیت جایگزینی کاتیونی دارند و می‌توانند گونه های مولکولی خنثی را در بین لایه‌های درونی، با اتصال به ساختارهای آب، به صورت مقطعی نگهداری کنند (۱۱). مونت‌موریلونایت فراوان‌ترین کانی در گروه اسمکتیت‌ها می‌باشد. این گروه از رس‌ها ورقه ورقه بوده و قابلیت فشرده شدن دارند و بر خلاف بسیاری از زئولیت‌ها، دارای خواص پلاستیکی هستند. به طور ویژه، در مورد این رس‌ها، فرایند جداسازی

می‌تواند در دمای پائین نیز ادامه یابد که در مورد اوره و تبدیل بیورت مهم است و امکان تولید گرانول‌های با اندازه‌های مختلف در مقادیر بالا وجود دارد (۱۱). در تحقیق حاضر قرص‌های کودی نیتروژن‌دار از منابع اوره و نترات آمونیوم بر پایه بیوچارهای مختلف در دماهای مختلف و حاوی رس مونت‌موریلونایت تولید شد و سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها و رفتار رهاسازی نیتروژن از این قرص‌های کودی در محیط آب، خاک و pH های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی و ارزیابی رفتار رهاسازی نیتروژن از کودهای نیتروژن‌دار برپایه بیوچار در آب، در pH های مختلف، و خاک، سه آزمایش جداگانه اسپلینت پلات به صورت کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه گروه خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه نوع بیوچار (بقایای هرس انگور، پوست گردو و کلش گندم)، در دو دمای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس و کود نیتروژن‌دار (۲۰ درصد وزنی) از دو منبع اوره و نترات آمونیوم بود که به هر تیمار ۱۰ درصد وزنی رس مونت‌موریلونایت نیز اضافه شد.

برای تهیه بیوچارها، پس از هوا خشک نمودن بقایای مورد نظر، به منظور همگن سازی آنها با آسیاب خرد شدند و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس بیوچارها در دو دمای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس از بقایای هرس درخت انگور، پوست گردو و کاه و کلش گندم به روش گرماکافت در شرایط بدون اکسیژن در ظرف‌های مخصوص در کوره الکتریکی تهیه شدند. به طوری که کوره با شیب دمایی ۱۰۰ درجه سلسیوس، در پانزده دقیقه روشن شد و در

زمان رسیدن به دمای نهایی (۳۵۰ یا ۶۵۰ درجه سلسیوس) زیست توده یک ساعت در دمای مذکور نگهداری شد (۱۲ و ۲). به منظور دانه‌بندی یکسان بیوچارهای تهیه شده از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچارها با استفاده از روش‌های استاندارد ارائه شده توسط انجمن بین‌المللی بیوچار (۱۳ و ۱۴)، pH و EC در نسبت ۱ به ۲۰ (بیوچار به آب)، کربن (C)، نیتروژن (N)، نسبت خاکستر، چگالی ظاهری و ظرفیت تبادل کاتیونی اندازه‌گیری شد (۱۵) (جدول ۱). به طور خلاصه، برای اندازه‌گیری pH و EC مقدار یک گرم بیوچار آن خشک وزن شد و میزان ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و به مدت ۲۴ شیک شدند و سپس به مدت ۳۰ دقیقه به حال خود رها شدند. پس از این زمان میزان pH و EC نمونه‌ها قرائت شدند. به منظور اندازه‌گیری محتوای خاکستر بیوچار، میزان ۵ گرم نمونه بیوچار آون خشک را داخل ظرف بوتله چینی ریخته و به مدت ۸ ساعت در دمای ۵۰۰ درجه حرارت در محیط با اکسیژن کافی قرار داده شد. بعد از این زمان بوتله را داخل دسیکاتور در دمای اتاق قرار داده تا سرد شود و

دوباره وزن گردید. محتوای خاکستر با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$100 \times \text{وزن نمونه بیوچار آون خشک (g)} / \text{وزن خاکستر (g)} = \text{محتوای خاکستر (\%)}$$

وزن کردن مجدد سیلندر بدست آمد. ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچارها توسط روش دو مرحله ای جایگزینی کاتیون ها با استات آمونیوم و و سپس استخراج آمونیوم تبادل شده توسط کلرید پتاسیم اندازه گیری شد (۱۵).

چگالی ظاهری یک ماده برابر وزن واحد ماده بر واحد حجم آن می باشد. برای این منظور بیوچار را داخل سیلندری شیشه ای ۱۰۰ میلی لیتری با وزن مشخص ریخته و به مدت ۱ دقیقه روی ویبراتور قرار داده تا بیوچار داخل سیلندر را پر کند. چگالی ظاهری را از

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچارهای تهیه شده از بقایای هرس انگور، پوست گردو و کلش گندم در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس.

Table 1. Some physical and chemical properties of biochars prepared from residues of grape pruning, walnut shell and wheat straw at pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C.

650°C			350°C			ویژگی ها Characteristics
Wheat biochar	Walnut biochar	Grape biochar	Wheat biochar	Walnut biochar	Grape biochar	
۱۰/۱۳	۸/۵۶	۱۱/۰۴	۸/۶۳	۷/۴	۹/۸۷	pH (1:20)
۶/۶۵	۰/۴۲	۱/۸۷	۵	۰/۲۳	۱/۰۱	EC (dS m ⁻¹)
۵۹/۸	۶۳/۸	۷۲/۷	۵۶/۵۴	۶۱/۶۸	۶۹/۵	کربن کل (%)
۰/۱۲	۰/۲۷	۰/۵۱	۰/۳۲	۰/۴۵	۰/۶۷	Total Carbon (%)
۴۹/۸	۲۳/۶	۱۴/۲	۱۷/۶	۱۳/۷	۱۰/۳	نیتروژن کل (%)
۰/۱۹	۰/۵۹	۰/۵۱	۰/۱۴	۰/۵۱	۰/۴۶	C/N
۲۱/۷	۱۱/۵۶	۱۲/۳	۱۴/۴۷	۸/۴۳	۶/۵۱	چگالی ظاهری (g cm ⁻³)
۴۸/۲۸	۳۶/۶۵	۳۲/۷	۱۲۱/۱۶	۵۴/۴۵	۴۱/۸	Bulk density (g cm ⁻³)
						خاکستر (%)
						Ash (%)
						ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol _c kg ⁻¹)
						CEC (cmol _c kg ⁻¹)

کودی با روش ضربه زنی اندازه گیری شد. برای انجام این کار یک لوله با حجم معین از قرص های کودی پر شده و با دست به لوله ضربات متوالی زده شد تا جای که تغییر ظاهری در حجم دیده نشد. سپس چگالی ظاهری از تقسیم وزن کود درون لوله به حجم لوله محاسبه گردد (۱۶). میزان pH و EC قرص های کودی در نسبت ۱ به ۱۰ قرص به آب مقطر اندازه گیری شد (۶).

جهت تهیه قرص های کودی، میزان ۵۰ درصد وزنی از مخلوط هر تیمار آزمایش مورد اشاره در بالا، به همراه ۲۰ درصد وزنی نشاسته و ۳۰ درصد وزنی آب، در بشر ریخته شده و به مدت پنج دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس هم زده شدند. سپس مخلوط حاصل برای هر تیمار پرس شده و در نهایت، قرص ها در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در آون خشک شدند (۶). چگالی قرص از نسبت وزن قرص به حجم قرص با ۱۰ تکرار محاسبه شد (۶). چگالی ظاهری قرص های

برای بررسی رفتار کندرها بودن قرص‌های کودی تهیه شده در ارتباط با آزادسازی نیتروژن در آب، مقدار ۱۰ گرم از قرص‌های کودی تهیه شده پس از قرار داده شدن در نایلون با اندازه مش ۱۰۰ در ظرفی حاوی ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، اجازه داده شد تا به مدت ۵۶ روز در دمای اتاق در ظرف، شناور بماند. سپس در زمان‌های یک، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۲۸، و ۵۶ روز بعد از شروع آزمایش از محلول نمونه‌برداری شد (۲۳) و غلظت نیتروژن به‌صورت تجمعی اندازه‌گیری و با رابطه زیر محاسبه گردید:

$$Wt (\%) = (M_t / M_0) \times 100$$

که در این رابطه M_t و M_0 به ترتیب مقدار تجمعی عناصر آزاد شده و مقدار کل عناصر موجود در کود برحسب گرم بوده و W_t نسبت آزاد شدن تجمعی عناصر غذایی برحسب درصد می‌باشد (۱۷).

برای بررسی رفتار قرص‌های کودی تهیه شده در ارتباط با آزادسازی نیتروژن در pHهای مختلف، محلول‌های ۰/۰۰۱ مولار از نمک‌های $NaCl$ ، $CaCl_2$ ، $FeCl_3$ در pHهای ۲، ۶ و ۱۰ تهیه شدند. سپس یک گرم از کودها در ظرف ریخته و ۳۰ میلی‌لیتر از محلول‌ها بر روی آن ریخته شدند. سپس درصد رهاسازی نیتروژن از کودها در زمان‌های یک، ۴، ۸ ساعت و یک، ۲، ۶، ۱۰، ۱۴ و ۲۱ روز بعد از شروع

آزمایش اندازه‌گیری شد. همچنین برای بررسی رفتار کندرها بودن مخلوط تیمارها یک گرم از ترکیبات تیمارها (قبل از تهیه قرص کودی) در نایلونی با مش ۴۰۰ ریخته شده و در ظرفی با ۲۰۰ گرم خاک ریخته و در فاصله ۵ سانتی‌متری از سطح قرار داده شدند به‌طوری‌که خاک به خوبی در تماس با نایلون قرار گرفت. برای بررسی رهاسازی یون‌های نیتروژن (نترات و آمونیوم) از مواد کودی تهیه شده یک آزمایش انکوباسیون به مدت ۲۱ روز انجام شد. رطوبت خاک، در حد ۹۵ درصد رطوبت زراعی قرار داشت. سپس در زمان‌های ۷ و ۲۱ روز کیسه‌های نایلونی از خاک خارج شده و مقدار باقیمانده نیتروژن اندازه‌گیری شد. نیتروژن کل به روش کج‌لدال (۱۸)، غلظت اوره به روش وات و کریسپ (۲۰) و غلظت آمونیوم و نترات به روش رنگ‌سنجی و توسط اسپکتروفتومتر (۲۱ و ۲۲) اندازه‌گیری شد.

تحلیل آماری: داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPSS تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام و ترسیم نمودارها و جدول‌های مربوطه با استفاده از برنامه‌های Excel و Word شدند.

میزان pH قرص‌های کودی اثر معناداری نداشت (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌های تأثیر دما و نوع بیوجار بر چگالی قرص‌های کودی نشان داد که چگالی قرص‌های کودی برپایه بیوجار پوست گردو در هر دو دمای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس نسبت به بیوجار بقایای هرس انگور و کلش گندم به‌طور معناداری بالاتر بود ولی بین بقایای هرس انگور و کلش گندم اختلاف معناداری وجود نداشت (شکل ۱a). همچنین

نتایج و بحث

خصوصیات قرص‌های کودی بر پایه بیوجارهای مختلف: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده دما و نوع بیوجار بر چگالی، چگالی ظاهری، pH و EC قرص‌های کودی بر پایه بیوجار در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) معنادار بود. همچنین اثر برهمکنش دما و نوع بیوجار بر چگالی، چگالی ظاهری و EC قرص‌های کودی در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) معنادار بود ولی بر

چگالی ظاهری قرص‌های کودی بر پایه بیوچار گردو نسبت به دو بیوچار دیگر به‌طور معناداری بیشتر بود. بیوچار کلش گندم در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس بالاتر بود ولی در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس اختلاف معناداری با هم نداشتند (شکل ۱b). چگالی ظاهری در بیوچار هرس انگور نسبت به جدول ۲- تجزیه واریانس اثر دما، نوع بیوچار و اثرات متقابل آن‌ها بر چگالی، چگالی ظاهری، pH و EC قرص‌های کودی بر پایه بیوچار.

Table 2. Variance analysis of the effect of temperature and type of biochar on density, bulk density, pH and EC of biochar-based fertilizer.

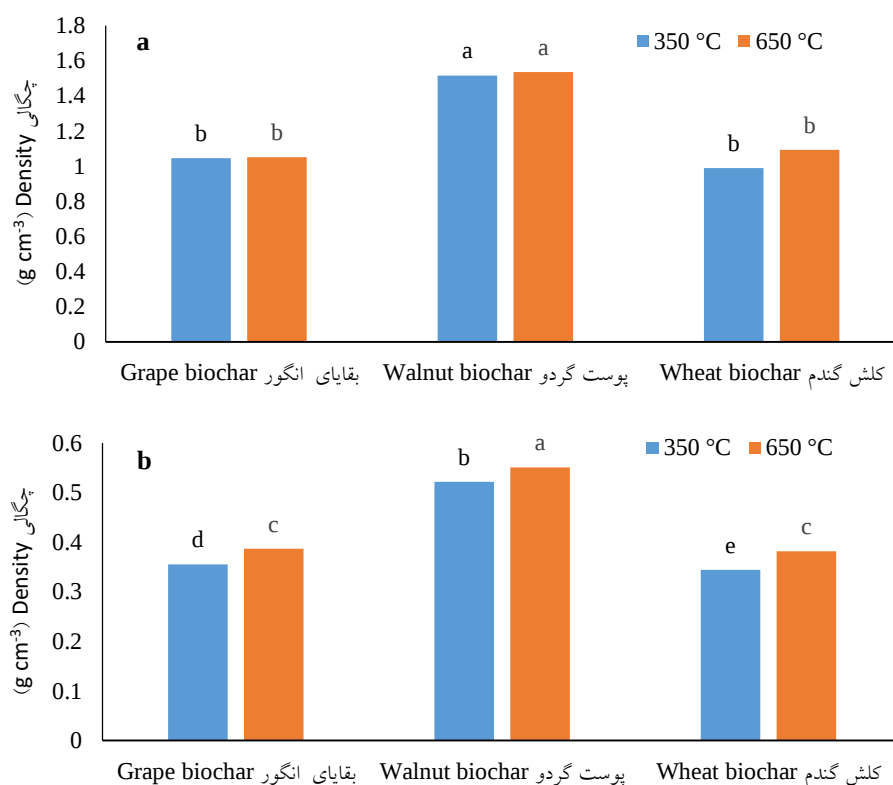
میانگین مربعات Mean squares				درجه آزادی Df	منابع تغییرات C.O.V
EC	pH	چگالی ظاهری Bulk density	چگالی Density		
۶۲/۹۲۹۲ ^{**}	۲۹/۲۹۶۸ ^{**}	۰/۰۲۸۷۹ ^{**}	۰/۰۴۸۷۵ ^{**}	۱	دما Temperature
۰/۰۶۶	۰/۰۷۶	۱/۷۴	۰/۰۰۳۲	۳۴	خطا (دما) Error (temperature)
۸۶۵/۸۹۹ ^{**}	۶۴/۴۳۹۳ ^{**}	۰/۳۴۵۱۶۶ ^{**}	۲/۷۷۹ ^{**}	۲	بیوچار Biochar
۱۶/۰۶۹۱ ^{**}	۰/۰۰۵۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۷۵ ^{**}	۰/۰۲۴۸۱ ^{**}	۲	دما × بیوچار Temperature × Biochar
۰/۰۱۰۸	۰/۰۳۳۷	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۳۸۴	۶۸	خطا Error
۲/۵۶۵	۲/۱۰۶	۰/۹۷۵	۵/۱۵		ضریب تغییرات (%) C.V. (%)

^{**} و ^{*} به ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنادار و ^{ns} اختلاف معنادار نیست.

^{**}, ^{*} and ^{ns}: significant at $p \leq 0.01$, significant at $p \leq 0.05$ and non-significant, respectively.

همان‌طور که در شکل ۲b مشاهده می‌شود بالاترین EC مربوط به قرص‌های کودی بر پایه بیوچار کلش گندم در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس و کمترین آن مربوط به قرص‌های کودی بر پایه بیوچار پوست گردو در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس بود. میانگین EC قرص‌های کودی در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس به‌طور معناداری به میزان ۱/۵۳ دسی زیمنس بر متر بالاتر بود. همچنین میانگین EC قرص‌های کودی در بیوچار بقایای کلش نسبت به بیوچار هرس انگور و پوست گردو به ترتیب ۷/۹۲ و ۸/۹۷ دسی زیمنس بر متر بالاتر بود (شکل ۲b).

بالاترین pH قرص‌های کودی بر پایه بیوچار مربوط به بیوچار بقایای هرس انگور در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس (pH=۱۰/۵) و کمترین آن مربوط به بیوچار پوست گردو در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس (pH=۶/۸) بود (شکل ۲a). میانگین pH قرص‌های کودی در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس به‌طور معناداری به میزان ۱/۰۴ واحد بالاتر بود. همچنین میانگین pH قرص‌های کودی در بیوچار بقایای هرس انگور نسبت به بیوچار پوست گردو و کلش گندم به ترتیب ۲/۶۷ و ۱/۲۶ واحد بالاتر بود (شکل ۲a).

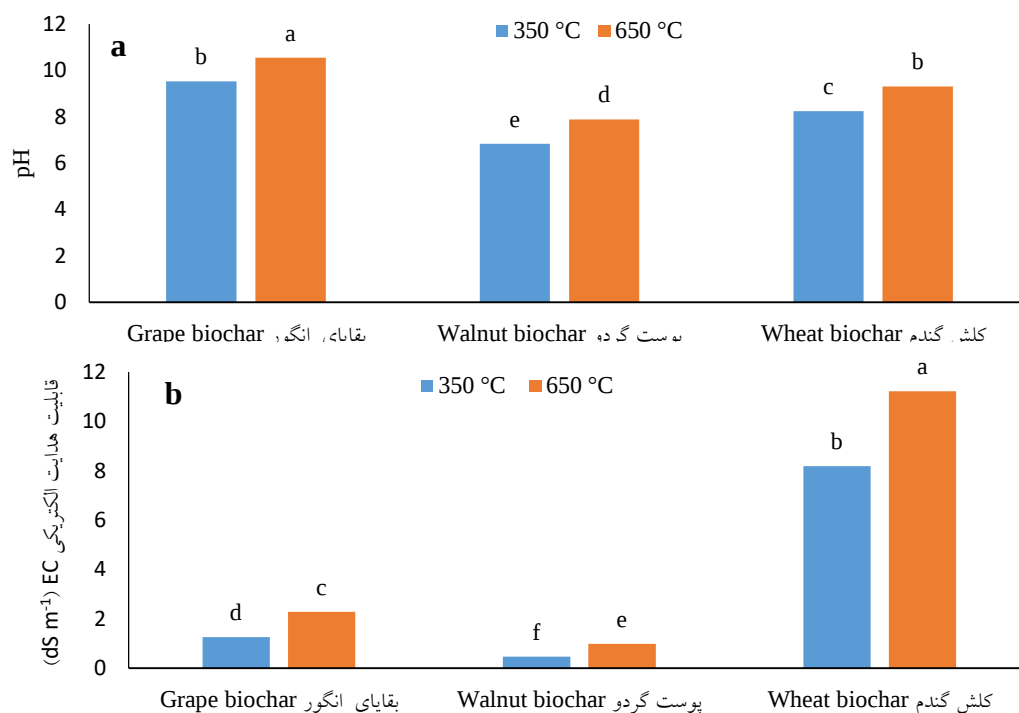


شکل ۱- چگالی (a) و چگالی ظاهری (b) قرص های کودی نیتروژن دار بر پایه بیوچارهای بقایای هرس انگور، پوست گردو و کلش گندم در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس.

Figure 1. Density (a) and bulk density (b) of nitrogen fertilizer tablets based on biochars of residues of grape pruning, walnut shell and wheat straw at pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C.

نشان می دهد که با افزایش دمای پیرولیز pH بیوچار نیز افزایش می یابد (۲۶). افزایش pH بیوچار با افزایش دمای پیرولیز به طور کلی با افزایش محتوای خاکستر ارتباط دارد (۲). افزایش pH بیوچار با افزایش دمای پیرولیز احتمالاً به دلیل از بین رفتن گروه های عاملی اسیدی و تشکیل فازهای معدنی اکسید، هیدروکسید و کربنات حاوی کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم می باشد (۲۷ و ۲۸). در مطالعات دیگر محققان گزارش نموده اند که قابلیت هدایت الکتریکی بیوچار با افزایش دما افزایش می یابد (۲۵ و ۲۹) که این افزایش در قابلیت هدایت الکتریکی با افزایش درجه کربنی شدن، همانطور که با محتوای کربن اندازه گیری می شود، مرتبط است (۳۰ و ۳۱).

شمس الدین سعید و رمودی (۲۰۲۲) نشان دادند که با افزایش دمای پیرولیز، قابلیت هدایت الکتریکی و pH بیوچار افزایش ولی چگالی ظاهری بیوچار کاهش یافت (۲۴). در راستای نتایج آزمایش حاضر، روشن و همکاران (۲۰۲۳) در یک مطالعه متاآنالیزی گزارش نمودند که ۳۷/۳۵ درصد از pH بیوچارهای مورد مطالعه توسط محققان دیگر در دمای پایین پیرولیز (کمتر از ۴۵۰ درجه سلسیوس) در محدوده ۵/۲-۱۰/۶ بوده است (۲۵). در مقابل، ۲۹/۹۲ درصد از مطالعات محدوده pH ۶/۶-۱۲/۳ در دمای پیرولیز بالا (بیشتر از ۵۵۰ درجه سلسیوس) داشته اند و برای دمای پیرولیز متوسط (۴۵۰-۵۵۰ درجه سلسیوس) محدوده pH ۸/۵-۱۱/۱ گزارش کردند. در واقع این نتایج



شکل ۲- pH (a) و EC (b) قرص‌های کودی نیتروژن دار بر پایه بیوچارهای بقایای هرس انگور، پوست گردو و کلش گندم در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس.

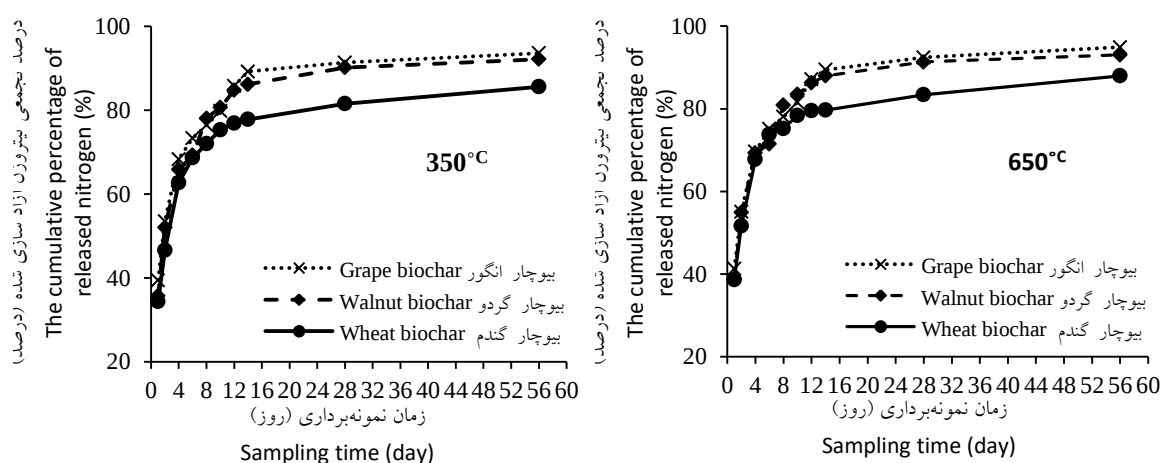
Figure 2. pH (a) and EC (b) of nitrogen fertilizer tablets based on biochars of residues of grape pruning, walnut shell and wheat straw at pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C.

مطابقت دارد. بکشی و همکاران (۳۲) نشان دادند که میزان آزادسازی اوره در آب در طول دوره آزمایش از کود اوره سنتز شده بر پایه بیوچار نسبت به تیمار شاهد به طور معناداری کاهش یافت. همچنین آن‌ها نشان دادند که میزان آبشویی نیتروژن در ستون خاک در تیمار اوره دارای بیوچار نسبت به تیمار بدون بیوچار ۳۱ تا ۲۹ درصد کاهش یافت (۳۲). مقصودی و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که میزان آزادسازی اوره در آب از بیوچار کلش برنج آغشته شده به اوره، به میزان ۶/۵ مرتبه نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. این محققان به این نتیجه رسیدند که استفاده از کودهای کندرها بر پایه بیوچار می‌تواند در کاهش آبشویی نیتروژن و افزایش کارایی استفاده از کود در خاک‌های آهکی موثر باشد (۳۳).

درصد آزادسازی نیتروژن از قرص‌های کودی در آب: نتایج حاصل نشان داد که نیتروژن کودهای نیتروژن دار بر پایه بیوچار در طی آزمایش به تدریج در آب آزادسازی گردید ولی میزان آزادسازی نیتروژن در ابتدای آزمایش بیشتر بود، به طوری که یک روز بعد از شروع آزمایش درصد نیتروژن آزادسازی شده در بیوچارهای هرس انگور، پوست گردو و کلش گندم در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۳۹/۴ و ۴۱/۲ و ۳۵/۶ و ۳۸/۷ و ۳۴/۴ و ۳۸/۶ درصد بود (شکل ۳). همچنین در دو هفته اول آزمایش میزان نیتروژن تجمع یافته آزادسازی شده در بیوچارهای هرس انگور، پوست گردو و کلش گندم در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۸۹/۲ و ۸۹/۴ و ۸۶/۲ و ۸۷/۹ و ۷۷/۸ و ۷۹/۶ درصد بود (شکل ۳). این نتایج با نتایج محققان دیگر

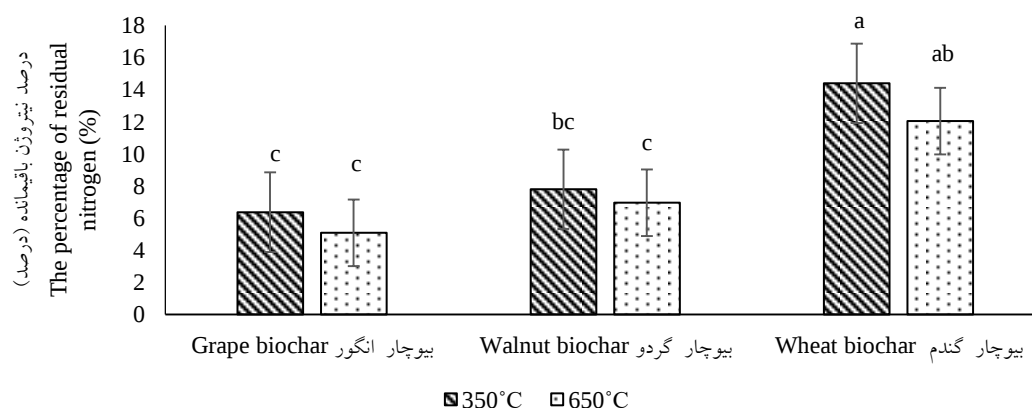
درصد نیتروژن آزادسازی شده در بیوچارهای تهیه شده در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس نسبت به بیوچارهای تهیه شده در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس کمتر بود. به طوری که درصد نیتروژن باقیمانده در انتهای آزمایش در کودهای تهیه شده برپایه بیوچار در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس در بیوچارهای هرس انگور، پوست گردو و کلش گندم به ترتیب ۶/۶، ۷/۹ و ۱۲ درصد بود در حالی که در دمای ۶۵۰ درجه ۴/۸، ۶/۸ و ۹/۹ درصد بود (شکل ۴).

میزان آزادسازی نیتروژن در تمام طول آزمایش در بیوچار کلش گندم در هر دو دمای ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس نسبت به بیوچارهای پوست گردو و هرس انگور کمتر بود. به طوری که در انتهای آزمایش درصد آزادسازی نیتروژن در بیوچار گندم نسبت به بیوچار گردو و انگور به ترتیب ۸ و ۷، ۶/۶ و ۵/۱ درصد در دماهای ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس کمتر بود. در این بین سرعت آزادسازی نیتروژن در بیوچار هرس انگور نسبت به سایر بیوچارها بیشتر بود. از طرف دیگر



شکل ۳- درصد تجمعی نیتروژن آزادسازی شده از کودهای نیتروژن دار برپایه بیوچارهای بقایای هرس انگور، پوست گردو و کلش گندم تولید شده در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس در طی ۵۶ روز.

Figure 3. Cumulative percentage of nitrogen fertilizer tablets based on biochars of residues of grape pruning, walnut shell and wheat straw at pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C during 56 days.



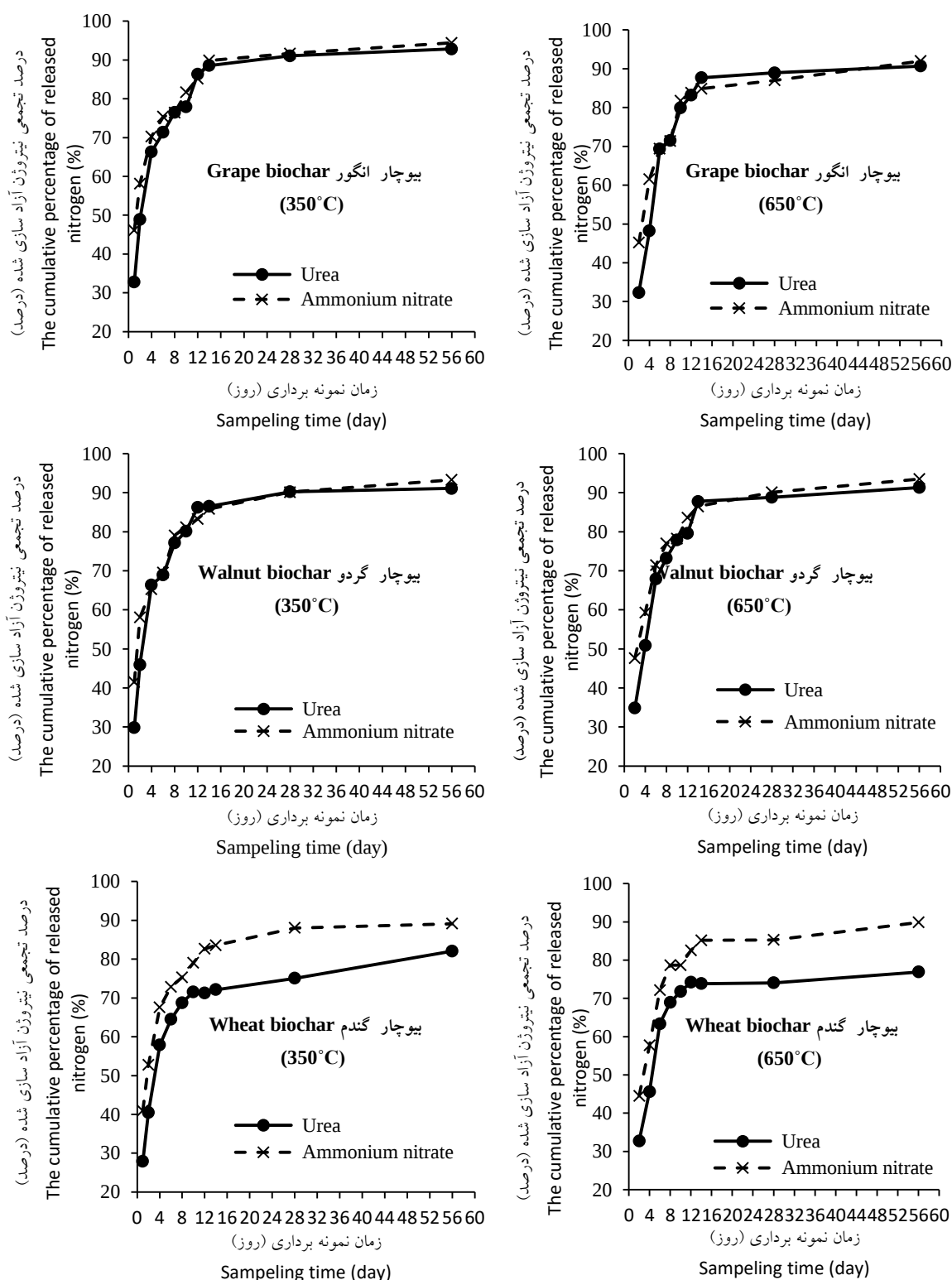
شکل ۴- درصد نیتروژن باقیمانده در کودهای نیتروژن دار برپایه بیوچارهای بقایای هرس انگور، پوست گردو و کلش گندم در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس بعد از ۵۶ روز.

Figure 4. The percentage of residual nitrogen in nitrogen fertilizer based on biochars of residues of grape pruning, walnut shell and wheat straw at pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C after 56 days.

تأثیر بیوچار بر آزادسازی نیتروژن در آب از منابع اوره و نترات آمونیوم نشان داد که میزان آزادسازی نترات آمونیوم نسبت به اوره بیشتر بود و این اختلاف در بیوچار کلش گندم بیشتر خودش را نشان داده است (شکل ۵). به طوری که در انتهای آزمایش درصد نیتروژن آزادسازی شده از کود نیتروژن برپایه بیوچار گندم در دمای ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس از منابع اوره و نترات آمونیوم به ترتیب ۸۴/۷ و ۸۷/۱، ۹۰/۹ و ۹۳ بود (شکل ۵). اگرچه از آب می توان برای دانه بندی یا گرانوله کردن بیوچار استفاده کرد، ولی مخلوط کردن کودهای کندرها برپایه بیوچار با خاک رس، سپیولایت، بتونیت، ورمیکولایت، مونت موریلونایت، نشاسته و غیره به ترکیب استحکام مکانیکی می بخشد (۳۴). این موضوع در پژوهش حاضر نیز مشهود بود و گرانوله کردن کود نیتروژن دار بر پایه بیوچارهای مختلف بر میزان آزادی سازی نیتروژن موثر بود. در این رابطه پژوهشگران دیگر گزارش نموده اند که گرانوله کردن مخلوط بیوچار و عناصر غذایی به طور موثر باعث افزایش مقاومت در برابر انتشار و در نتیجه کاهش آزادسازی عناصر غذایی می شود (۳۵). همچنین قرص های کودی تولید شده از اختلاط بیوچار و کمپوست کود دامی برای جذب نیتروژن آمونیومی موثر بوده است و قرص های بیوچار غنی شده با نیتروژن رشد گیاه را افزایش داده است (۳۶).

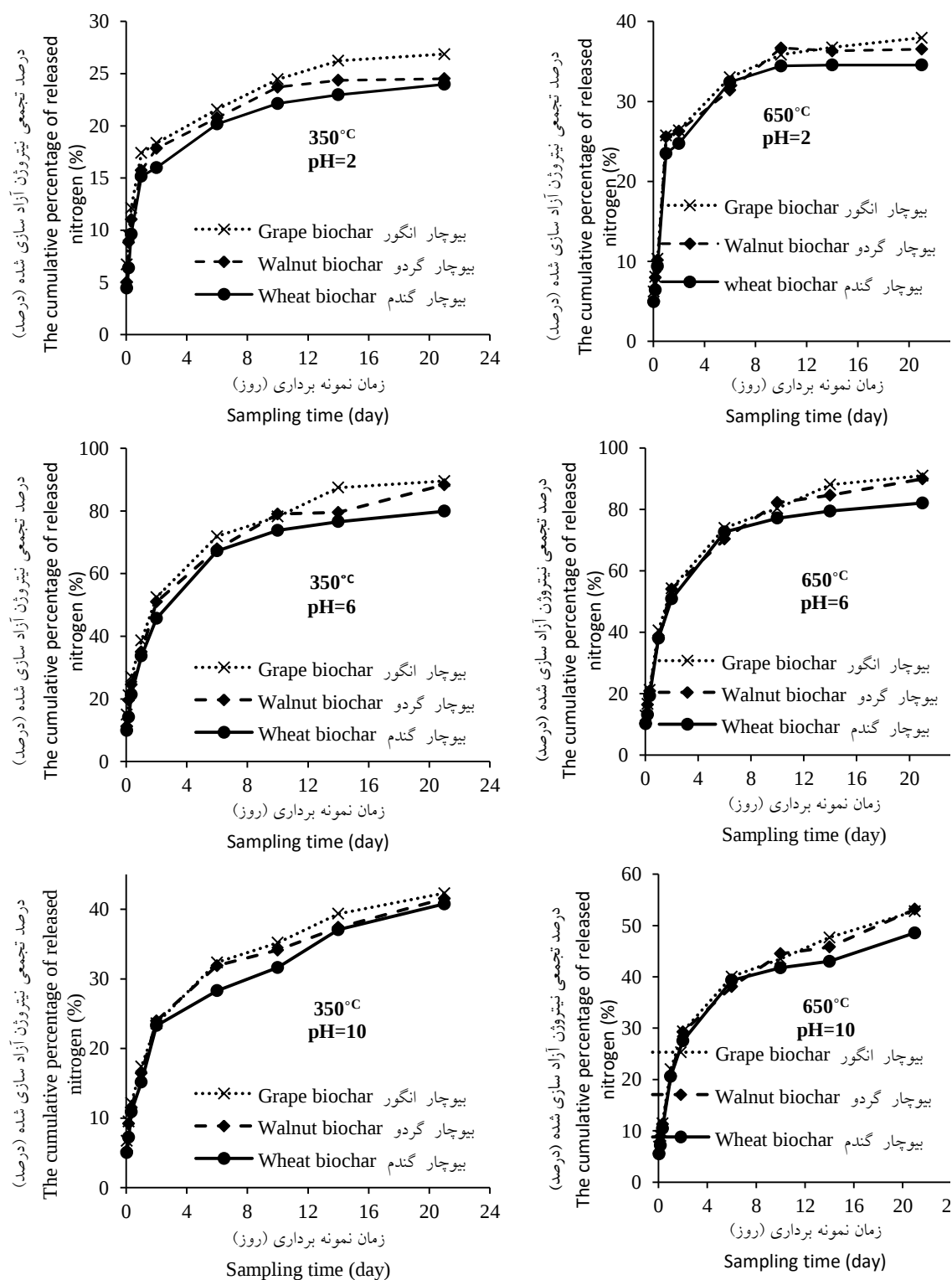
شی و همکاران (۳۷) با گرانوله نمودن مخلوط بیوچار و کانی های رسی بتونیت و سپیولایت و اوره، گزارش نمودند که سطح ذرات کامپوزیت بیوچار و کانی های رسی سبب نگهداری اوره شده است. به طوری که طی آزمایش های آبشویی نشان دادند که آزادسازی تجمعی نیتروژن از بیوچار گرانوله نسبت به اوره به طور معناداری (بیش از ۷۰ درصد) کاهش یافت (۳۷). در مطالعه دیگری فرآیند گرانوله سازی بیوچار کلش برنج و اوره سبب کاهش رهاسازی نیتروژن به میزان ۱۷/۳ درصد شده است (۸). یو و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که پس از اختلاط بیوچار با کودهای تجاری و گرانوله سازی آن، اثر میزان کندرها بودن عناصر غذایی از الگوی $P > N > K$ پیروی کرد (۳۸).

درصد آزادسازی نیتروژن در pH های مختلف:
آزادسازی نیتروژن از قرص های کودی نیتروژن بر پایه بیوچار در آزمایش حاضر تحت pH های مختلف به صورت الگوی نمایی بود و نتایج حاصل نشان داد که کمترین و بیشترین درصد آزادسازی نیتروژن به ترتیب در $pH=2$ و $pH=6$ در هر دو دمای ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس اتفاق افتاد (شکل ۶). همچنین کمترین و بیشترین درصد آزادسازی نیتروژن به ترتیب در بیوچار کلش گندم و هرس انگور در هر دو دمای ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس مشاهده شد (شکل ۶).



شکل ۵- اثر بیوچار بقایای انگور، گردو و گندم تولید شده در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس بر درصد تجمعی نیتروژن آزادسازی شده از منبع اوره و نترات آمونیوم در آب طی ۵۶ روز.

Figure 5. The effect of grape, walnut and wheat residue biochar produced at pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C on the cumulative percentage of released nitrogen from the source of urea and ammonium nitrate in water during 56 days.



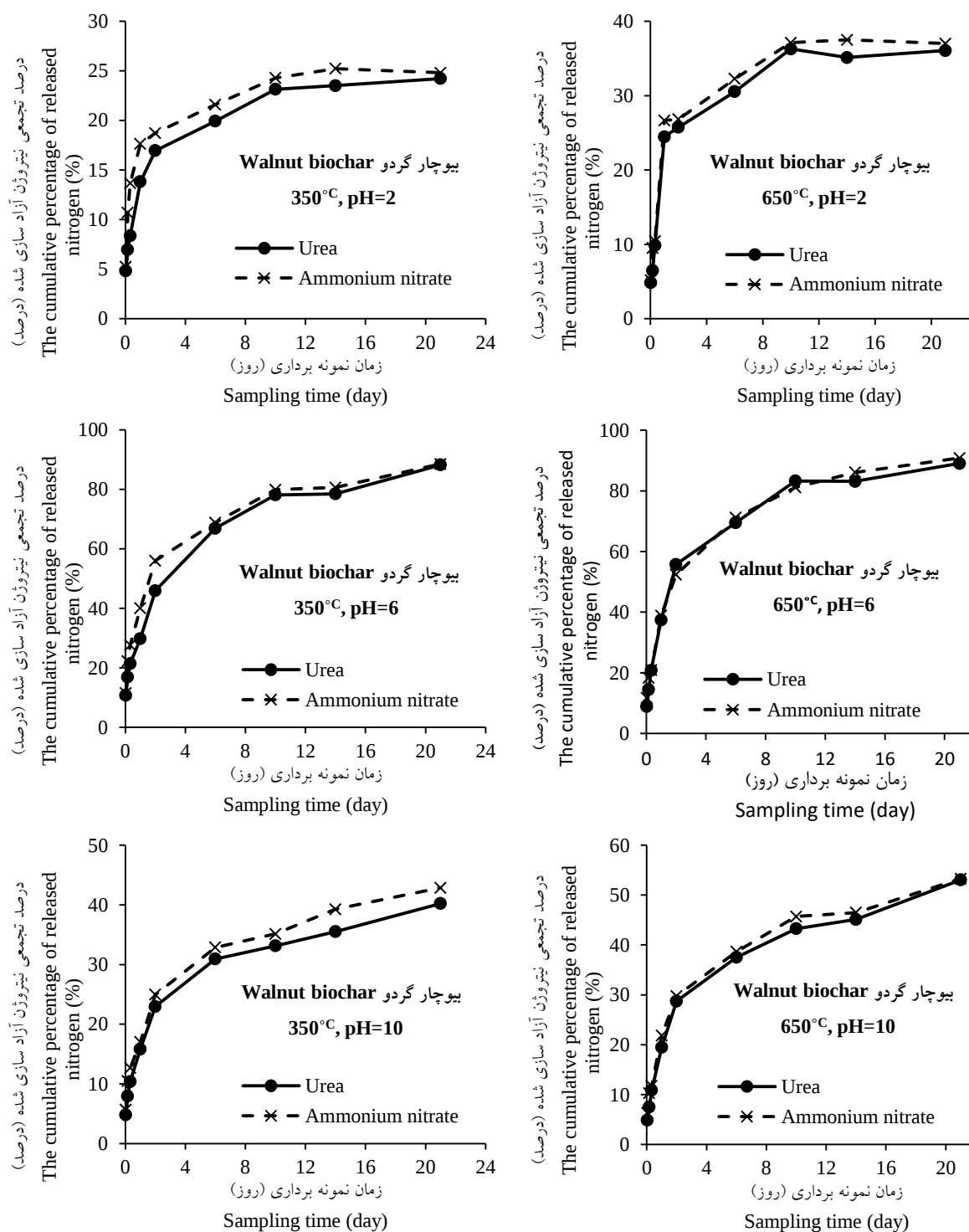
شکل ۶- درصد تجمعی نیتروژن آزادسازی شده از بیوچارهای مختلف تهیه شده در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس در pHهای اسیدی (pH=2)، خنثی (pH=6) و بازی (pH=10).

Figure 6. The cumulative percentage of released nitrogen from different biochars prepared at pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C in pH of acidic (pH=2), neutral (pH=6) and alkaline (pH=10).

تأثیر بیوچار بر آزادسازی نیتروژن از منابع اوره و نیتрат آمونیوم در pHهای مختلف نشان داد که میزان آزادسازی نیتروژن در نیترات آمونیوم نسبت به اوره بیشتر بوده است (شکل‌های ۷، ۸ و ۹). در قرص‌های کودی بر پایه بیوچار پوست گردو بعد از ۲۱ روز از شروع آزمایش میزان آزادسازی نیتروژن از منبع اوره و نیترات آمونیوم در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس در pHهای ۲، ۶ و ۱۰ به ترتیب برابر با ۲۴/۴ و ۲۴/۸، ۸۸/۲ و ۸۸/۵، ۴۰/۰۹ و ۴۴/۸ درصد بود که این میزان در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۳۶/۱۵ و ۳۷، ۸۸/۰۸ و ۹۰/۷۹، ۵۳/۰۵ و ۵۳/۲۹ درصد بود (شکل ۷).

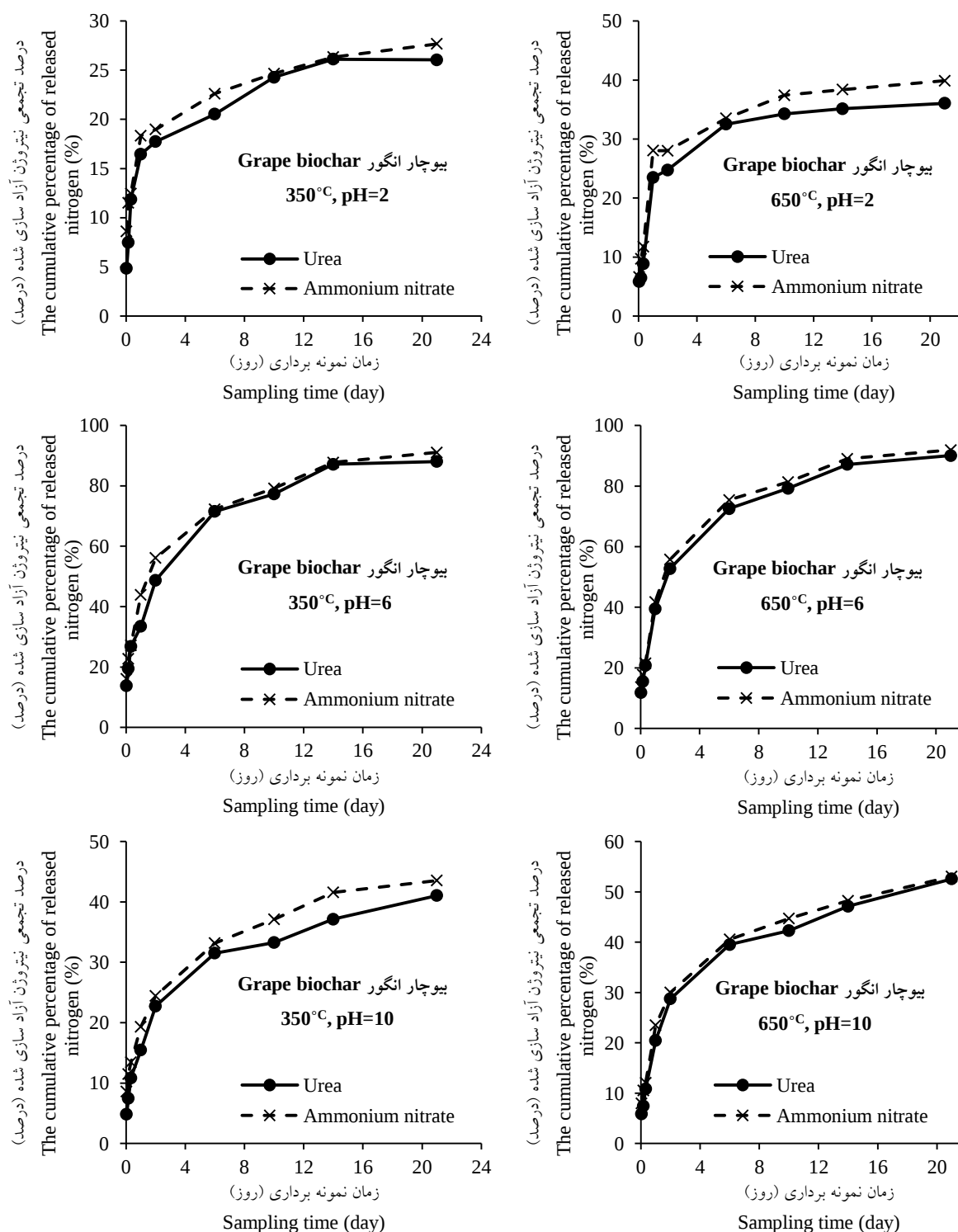
در قرص‌های کودی بر پایه بیوچار بقایای هرس انگور بعد از ۲۱ روز از زمان شروع آزمایش میزان آزادسازی نیتروژن از منبع اوره و نیترات آمونیوم در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس در pHهای ۲، ۶ و ۱۰ به ترتیب برابر با ۲۶/۱ و ۲۷/۶۷، ۸۸/۲ و ۹۱/۰۶، ۴۱/۶ و ۴۳/۵۴ درصد بود که این میزان در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۳۶/۲ و ۳۹/۸۷، ۹۰/۱ و ۹۱/۸۹، ۵۲/۵۵ و ۵۳/۴ درصد بود (شکل ۸). در یک آزمایش سلیمی و همکاران (۲۰۲۰) به این نتیجه رسیدند که آزاد شدن نیتروژن از یک کود سنتزی اوره با نانوذرات ذغال طبیعی تابعی از pH محیط است. آن‌ها نشان دادند که مقدار جذب آب توسط دانه‌های کودی و در نتیجه آزادسازی اوره از دانه‌های کامپوزیتی تهیه شده می‌تواند مابین ۱۰ تا ۲۵ درصد در pH اسیدی

(pH=۲) و ۲۵ تا ۵۵ درصد در pH بازی (pH=۱۰) تغییر یابد (۲۳). همچنین در قرص‌های کودی بر پایه بیوچار بقایای کلش گندم بعد از ۲۱ روز از شروع آزمایش میزان آزاد سازی نیتروژن از منبع اوره و نیترات آمونیوم در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس در pHهای ۲، ۶ و ۱۰ به ترتیب برابر با ۲۳/۵ و ۲۴/۸۹، ۷۵/۰۸ و ۸۴/۷ و ۴۰/۱ و ۴۱/۴۶ درصد بود که این میزان در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۳۲/۱ و ۳۷/۱ و ۷۸/۲ و ۸۶/۱۲، ۴۸/۵۳ و ۴۹/۰۳ درصد بود (شکل ۹). دمای پیرولیز برای تهیه بیوچارهای مختلف در آزمایش حاضر نشان داد که می‌تواند اثرات متفاوتی بر آزادسازی نیتروژن داشته باشد. در این رابطه محققان دیگری مانند چنگ و همکاران (۲۰۱۸) به این نتیجه رسیدند که میزان آبشویی نیتروژن نیتراتی با افزایش دمای بیوچار در تیمارهای حاوی بیوچار کاهش یافت در حالی میزان آبشویی آمونیوم با افزایش دمای بیوچار از ۲۵۰ تا ۵۵۰ درجه سلسیوس افزایش یافت (۳۹). مانی کند و سابرامانیان (۲۰۱۵) گزارش نمودند که بیوچار میزان آزادسازی اوره از کود اوره بر پایه بیوچار را تا ۱۸ روز به تاخیر انداخته است (۴۰) که مقدار برای آزمایش ما ۲۱ روز بود. چن و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که ۷۰ درصد نیتروژن از کود کندها نیتروژن‌دار بر پایه بیوچار در آب بعد از ۱۲ روز آزادسازی شده است که نشان دهنده افزایش زمان آزادسازی نیتروژن به واسطه جذب آن توسط بیوچار می‌باشد (۴۱).



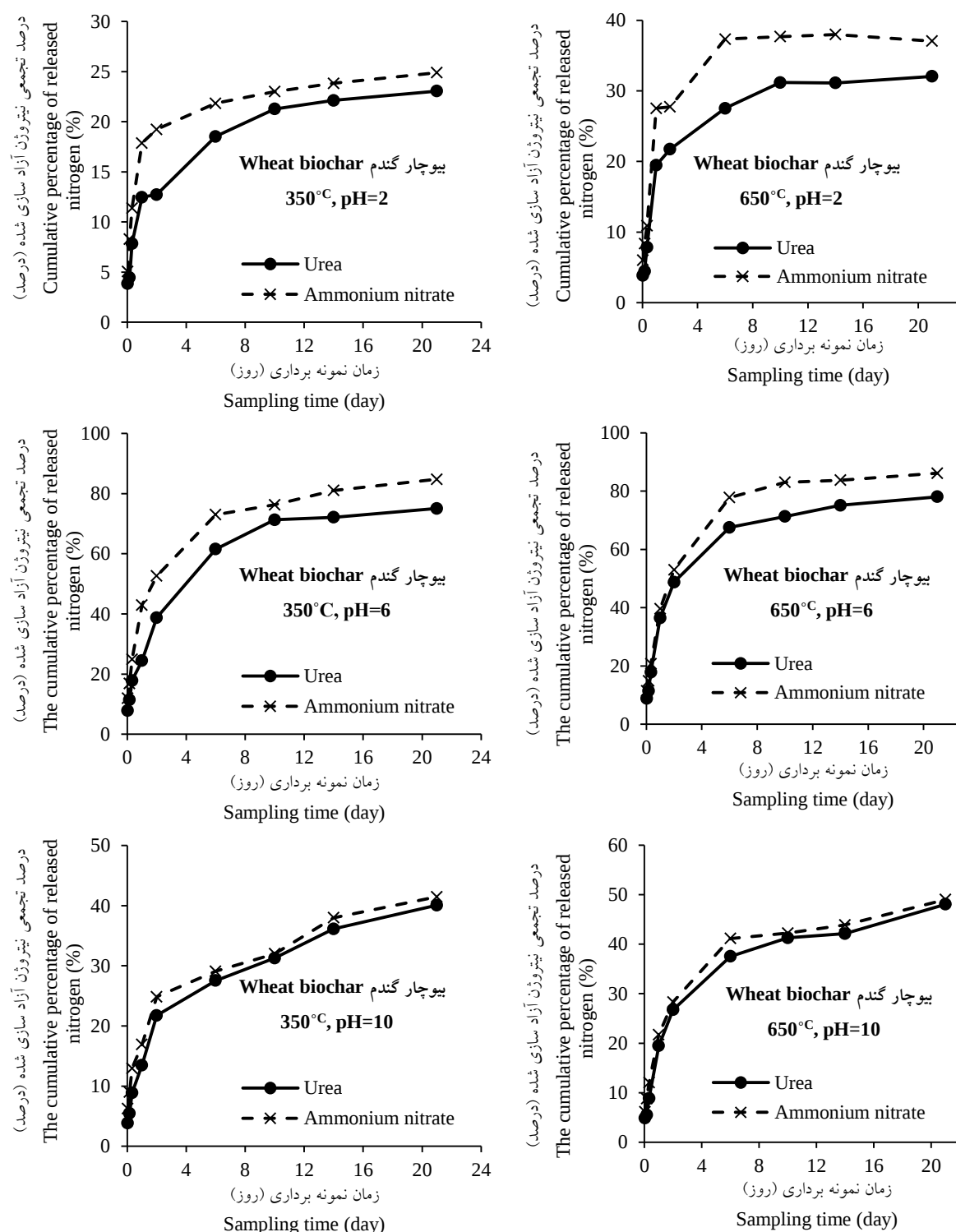
شکل ۷- درصد تجمعی نیتروژن آزادسازی شده از بیوجار پوست گردو در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس در pHهای اسیدی (pH=2)، خنثی (pH=6) و بازی (pH=10).

Figure 7. Cumulative percentage of released nitrogen from walnut biochar at pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C in pH of acidic (pH=2), neutral (pH=6) and alkaline (pH=10).



شکل ۸- درصد تجمع نیتروژن آزادسازی شده از بیوجار بقایای هرس انگور در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس در pH های اسیدی (pH=2)، خنثی (pH=6) و بازی (pH=10).

Figure 8. Cumulative percentage of released nitrogen from grape pruning biochar at pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C in pH of acidic (pH=2), neutral (pH=6) and basic (pH=10).

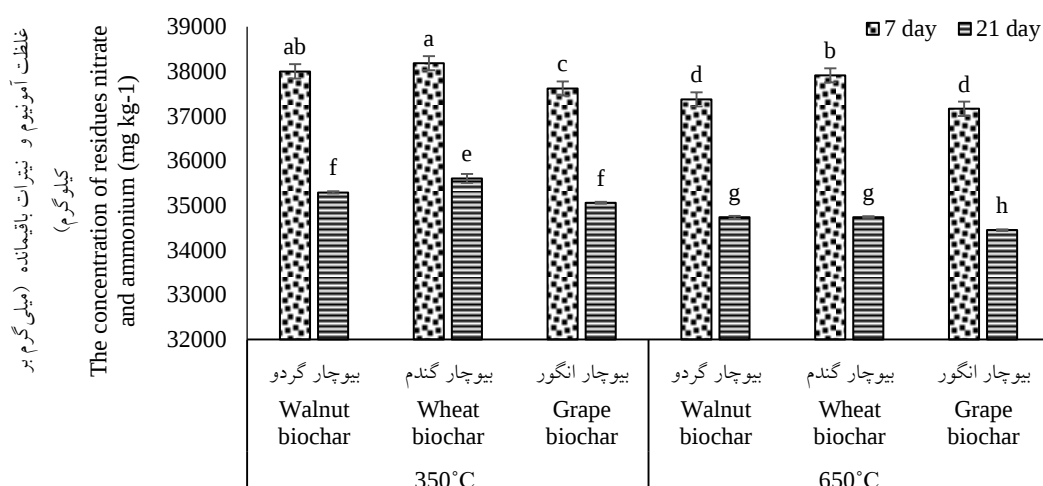


شکل ۹- میزان آزادسازی نیتروژن (از منبع اوره و نترات آمونیوم) از بیوچار کلش گندم در دماهای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس در pHهای اسیدی (pH=2)، خنثی (pH=6) و بازی (pH=10).

Figure 9. Nitrogen release rate (sources of urea and ammonium nitrate) from wheat stubble biochar at pyrolysis temperatures of 350°C and 650°C in pH of acidic (pH=2), neutral (pH=6) and alkaline (pH=10).

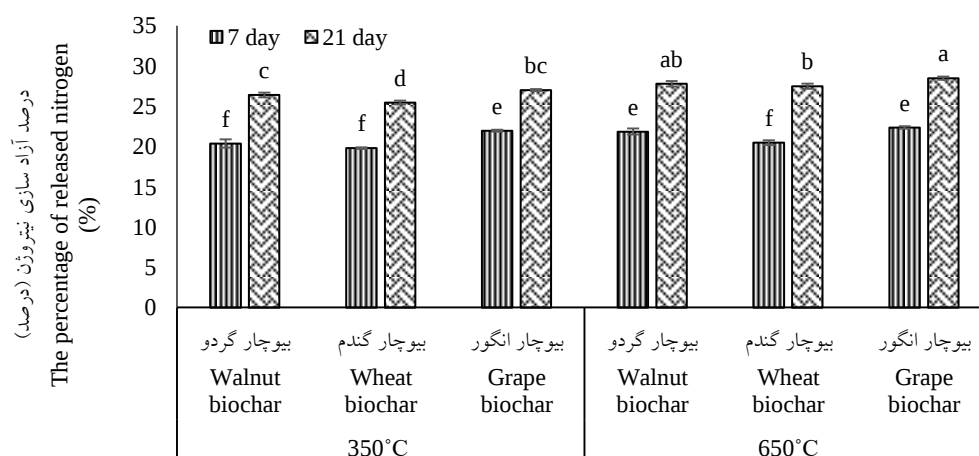
درصد آزادسازی نیتروژن از قرص‌های کودی برپایه بیوچار در خاک: نتایج حاصل نشان داد که غلظت نیتروژن باقیمانده در کود نیتروژن‌دار برپایه بیوچار در زمان ۲۱ روز بعد از خوابانیدن نسبت به زمان ۷ روز به‌طور معناداری در تمامی بیوچارها و سطوح نیتروژن کاهش داشت. کمترین غلظت نیتروژن باقیمانده در کود نیترات آمونیوم برپایه بیوچار هرس انگور در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس در زمان ۲۱ روز بود و بالاترین غلظت نیتروژن باقیمانده در کود نیترات آمونیوم برپایه بیوچار کلش گندم در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس در زمان ۷ روز بود (شکل ۱۰). تحقیقات کمی در ارتباط با کمپوزیت‌های کانی رسی و بیوچار مانند بنتونیت/بیوچار و کلسیت/بیوچار (۴۲)، بنتونیت/بیوچار (۴۳)، مونت‌موریلونایت/بیوچار (۴۴) و آتاپولگیت/بیوچار (۴۵) گزارش شده است. چن و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که کمپوزیت بیوچار و مونت‌موریلونایت مکان جذب را برای یون‌های آمونیوم و فسفات به ترتیب به ۱۲/۵۲ و ۱۰۵/۲۸ میلی‌گرم بر گرم رسانید (۴۶). این محققان همچنین گزارش نمودند که میزان آزادسازی آمونیوم و فسفات از کمپوزیت‌های بیوچار غنی شده با عناصر غذایی به ترتیب به میزان ۰/۳ تا ۴/۹۲ درصد و ۲/۶۳ تا ۵/۰۹ درصد بود که اثر کندرهایی خوبی برای نیتروژن و فسفر داشت. ان و همکاران (۲۰۲۰) استفاده از کمپوزیت بیوچار و بنتونیت را برای سنتز کود کندرها پیشنهاد نمودند به‌طوری این ترکیب کارایی استفاده از فسفر را افزایش داد (۴۷). کود کند رها سنتز شده برپایه بیوچار کنجاله بذر کلزا و آلژینات سدیم میزان نگهداری آب، محتوای نیتروژن و خاصیت کند رها بودن را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشید (۴۸).

مطابق نتایج حاصل از این پژوهش در زمان ۷ روز بعد از خوابانیدن بالاترین درصد آزادسازی نیتروژن از کود نیتروژن‌دار برپایه بیوچار مربوط به بیوچار هرس انگور و بقایای پوست گردو در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس بود و کمترین درصد آزادسازی مربوط به بیوچار کلش گندم در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس بود. همچنین در زمان ۲۱ روز بعد از خوابانیدن بالاترین درصد آزادسازی نیتروژن در بیوچار گندم در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس و بالاترین آن در بیوچار هرس انگور در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس مشاهده گردید (شکل ۱۱). پس می‌توان عنوان نمود که کودهای کندرها نیتروژن‌دار برپایه بیوچار، رهاسازی تدریجی نیتروژن را برای تأمین طولانی مدت آن‌ها برای رشد گیاه، جلوگیری از آبشویی، بهبود کارایی کود و کاهش تهدیدات بالقوه برای محیط زیست را امکان‌پذیر می‌کند. پتانسیل بیوچار به‌عنوان یک حامل عناصر غذایی، باعث کاهش سرعت آزادسازی عناصر غذایی و بهبود بهره‌وری استفاده از عناصر غذایی به دلیل مساحت سطح بالا و ریزساختارهای متخلخل، بار سطحی مطلوب، گروه‌های سطحی فراوان و کربن فعال می‌شود (۴۹). یی و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند بیوچار یک حامل مناسب برای عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشد و حاوی گروه‌های سطحی و فعال زیادی برای جذب پتاسیم، نیتروژن و فسفر می‌باشد (۵۰). جذب عناصر غذای در کامپوزیت‌های بیوچار و مونت‌موریلونایت نشان داد که جذب سطحی آمونیوم عمدتاً مرتبط با تبادل یونی بوده است، در حالی که جذب سطحی فسفات توسط جذب الکترواستاتیک یا پیوند یونی بین فسفات و کاتیون‌های فلزی کنترل می‌شود (۴۶).



شکل ۱۰- غلظت نیترات و آمونیوم باقیمانده در کودهای نیتروژن دار برپایه بیوچار (از منبع نیترات آمونیوم) در طول دوره خوابانیدن.

Figure 10. The concentration of residues of nitrate and ammonium in nitrogen fertilizers based on biochar (as source of ammonium nitrate) during incubation.



شکل ۱۱- درصد آزادسازی نیتروژن از کودهای نیتروژن دار برپایه بیوچار در طول دوره خوابانیدن.

Figure 11. Percentage of released nitrogen from nitrogenous fertilizers based on biochars during incubation.

نتیجه گیری کلی

می‌تواند یک روش مناسب برای تهیه کودهای کندرهای نیتروژن دار باشد. با این وجود، توسعه کودهای کندرهای مبتنی بر بیوچار برای کاربرد عملی در زمین‌های کشاورزی هنوز در مراحل اولیه می‌باشد و نیازمند انجام کارهای میدانی و تکمیلی بیشتر و نیز ارزیابی بلند مدت استفاده از چنین کودهایی در محیط رشد گیاهان می‌باشد.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد بیوچار در سستز کود نیتروژن دار از منابع اوره و نیترات آمونیوم بر پایه بیوچارهای مختلف میزان آزادسازی نیتروژن در آب و همچنین در خاک را کاهش داد. با توجه به این که برخی از معایب کودهای شیمیایی رایج نیتروژن دار شستشوی سریع نیتروژن در خاک، آلوده نمودن محیط زیست و بار اقتصادی قابل توجه آنها است، گرانوله نمودن این نوع کودها با بیوچار

منابع

- Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision. *Journal of Environmental Management*. 197: 732-749. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.087>
8. Chen, L., Chen, Q., Rao, P. Yan, L. Shakib, A., & Shen, G. (2018). Formulating and optimizing a novel biochar-based fertilizer for simultaneous slow-release of nitrogen and immobilization of cadmium. *Sustainability*. 10:8.2740. <https://doi.org/10.3390/su10082740>
9. Kimetu, A., & Lehmann, J. (2010). Stability and stabilisation of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents. *Australian Journal of Soil Research*. 48(7): 577-585. <https://doi.org/10.1071/SR10036>
10. Zheng, J., Han, J., Liu, Z., Xia, W., Zhang, X., Li, L., Liu, X., Bian, R., Cheng, K., Zheng, J. & Pan, G. (2017). Biochar compound fertilizer increases nitrogen productivity and economic benefits but decreases carbon emission of maize production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 241: 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.034>
11. Pereira, E. I., Minussi, F. B., da Cruz, C. C. T., Bernardi, A. C. C., & Ribeiro, C. (2012). Urea-montmorillonite-extruded nanocomposites: A novel slow-release material. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60: 21.5267-5272. DOI: [10.1021/jf3001229](https://doi.org/10.1021/jf3001229)
12. Oleszczuk, P., Ćwikła-Bundyra, W., Bogusz, A., Skwarek, E., & Ok, Y. S. (2016). Characterization of nanoparticles of biochars from different biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 121: 165-172. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.07.017>
1. Ashitha, A., Arakhimol, K.R., & Juothis, M. (2021). Fate of the conventional fertilizers in environment. In book: Controlled release fertilizers for sustainable agriculture, Edited: Lewu, F.B. CRC Press. Pp: 25-39.
2. Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 5: 7.381-387. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[381:BITB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2)
3. Lone, A. H., Najjar, G. R., Ganie, M. A., Sofi, J. A., & Ali, T. (2015). Biochar for sustainable soil health: a review of prospects and concerns. *Pedosphere*. 25: 5.639-653. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30045-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30045-X)
4. Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Khangsuthor, K. S., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T., & Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos, 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*. 111(1-2): 81-84. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.008>
5. Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson P. N., & Bird, M. I. (2016). Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*. 543 (A): 295-306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>
6. Lee, Y. L., Ahmed, O. H., Wahid, S. A., & Ab-Aziz, Z. F. (2019). Characterization of tablets made from mixture of charred agricultural residues with and without embedded fertilizer. *Acta technologica agriculturae*. 22: 3.70-74. <https://doi.org/10.2478/ata-2019-0013>
7. Gwenzi, W., Chaukura, N., Noubactep, C., & Mukome, F. N. D. (2017).

21. Keeney, D. R., & Nelson, D. W. (1982). Nitrogen-inorganic forms, In: A. L. Page et al., (Eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Agronomy. Madison, WI. USA. Pp: 643-698*
22. Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press. 576p.*
23. Salimi, M., Motamedi, E., Motesharezedeh, B., Hosseini, H. M., & Alikhani, H. A. (2020). Starch-g-poly (acrylic acid-co-acrylamide) composites reinforced with natural char nanoparticles toward environmentally benign slow-release urea fertilizers. *Journal of Environmental Chemical Engineering. 8(3):103765. https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103765*
24. Shamsaddin Saied, M., & Ramroudi, M. (2022). Evaluation of the effect of biochar obtained from different pyrolysis temperatures on the marigold growth under salt stress. *Journal of Horticultural Science. 35(4): 591-604. DOI: 20.1001.1.20084730.1400.35.4.11 [In Persian]*
25. Roshan, A., Ghosh, D., & Kumar Maiti, S. (2023). How temperature affects biochar properties for application in coal mine spoils? A meta-analysis. *Carbon Research. 2(3): 2-17. https://doi.org/10.1007/s44246-022-00033-1*
26. El-Naggar, A., Lee, S.S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A. K., Zimmerman, A. R., Ahmad, M., Shaheen, S. M., & Sik Ok, Y. (2019). Biochar application to low fertility soils: a review of current status, and future prospects. *Geoderma. 337:536–554. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034*
27. Ding, W., Dong, X., Ime, I. M., Gao, B., & Ma, L. Q. (2014). Pyrolytic
13. IBI (International Biochar Initiative). (2010). Guidelines for the development and testing of pyrolysis plants to produce biochar. <http://www.biocharinternational.org/sites/default/files/IBI-Pyrolysis-Plant-Guidelines>.
14. IBI (International Biochar Initiative). (2015). Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil (aka IBI Biochar Standards) Version 2.1.
15. Song, W., & Guo, M., (2012). Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 94: 138-145. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.11.018*
16. Rutland, D.W. (1986). Manual for determining physical properties of fertilizer. International Fertilizer Development Center. 91p.
17. Pang, W., Hou, D., Wang, H., Sai, S., Wang, B., Ke, J., Wu, G., Li, Q., & Holtzapple, M. T. (2018). Preparation of microcapsules of slow-release npk compound fertilizer and the release characteristics. *Journal of the Brazilian Chemical Society. 29(11): 2397-2404. https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180117*
18. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen total. In: Page, A. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison. Pp: 595-624.*
19. Estefan, G., Sommer, R., & Ryan, J. (2013). *Methods of soil, plant, and water analysis: A manual for the west asia and north africa region. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Beirut, Lebanon. 243p.*
20. Watt, G. W., & Chrisp, J. D. (1954). Spectrophotometric method for determination of urea. *Analytical Chemistry. 26(3): 452-453. https://doi.org/10.1021/ac60087a006*

- <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114644>
34. Xiang, A., Qi, R., Wang, M., Zhang, K., Jiang, E., Ren, Y. & Hu, Z. (2021). Study on the infiltration mechanism of molten urea and biochar for a novel fertilizer preparation. *Industrial Crops and Products*. 153: 112558. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112558>
 35. Wang, C., Luo, D., Zhang, X., Huang, R., Cao, Y., Liu, G., Zhang, Y. & Wang, H. (2022). Biochar-based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: a mini review. *Environmental Science and Ecotechnology*. 10: 100167. <https://doi.org/10.1016/j.es.2022.100167>
 36. Shin, J., & Park, S. (2018). Optimization of blended biochar pellet by the use of nutrient releasing model, *Appl. Sci.* 8(11): 2274. <https://doi.org/10.3390/app8112274>
 37. Shi, W., Ju, Y., Bian, R., Li, L., Joseph, S., Mitchell, D.R., Munroe, P., Taherymoosavi, S., & Pan, G., (2020). Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. *Science of The Total Environment*. 701: 134424. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134424>
 38. Yu, Z., Zhao, J., Hua, Y., Li, X., Chen, Q. & Shen, G. (2021). Optimization of granulation process for binder-free biochar-based fertilizer from digestate and its slowrelease performance. *Sustainability*. 13(15): 8573. <https://doi.org/10.3390/su13158573>
 39. Cheng, H., Jones, D. L., Hill, P., Bastami, M. S., & Tu, C. L. (2018). Influence of biochar produced from different pyrolysis temperature on nutrient retention and leaching. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 64(6): 850-859. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1384545>
 - temperatures impact lead sorption mechanisms by bagasse biochars. *Chemosphere* 105:68–74. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.12.042>.
 28. Jin-Hua, Y., Ren-Kou, X., Ning, W., & Jiu-Yu, L. (2011). Amendment of acid soils with crop residues and biochars. *Pedosphere*. 21(3): 302-308. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60130-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60130-6)
 29. Fooladi Dorhani, M., Shayannejad, M., Mosaddeghi, M. R., & Shariatmadari, H. (2019). The effect of temperature and composition of various raw materials on some physicochemical properties of biochar. 16th Iranian soil science congress.
 30. Rehrah, D., Reddy, M.R., Novak, J. M., Bansode, R. R., Schimmel, K. A., Yu, J., Watts, D. W., & Ahmedna, M. (2014). Production and characterization of biochars from agricultural by-products for use in soil quality enhancement. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 108:301–309. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.03.008>.
 31. Gabhi, R., Basile, L., Kirk, D. W., Giorcelli, M., Tagliaferro, A., & Jia, C. Q. (2020). Electrical conductivity of wood biochar monoliths and its dependence on pyrolysis temperature. *Biochar* 2(3):369-378.
 32. Bakshi, S., Banik, C., Laird, D. A., Smith, R., & Brown, R. C. (2021). Enhancing biochar as scaffolding for slow release of nitrogen fertilizer. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 9:24.8222-8231. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c02267>
 33. Maghsoodi, M. R., Najafi, N., Reyhanitabar, A., & Oustan, S. (2020). Hydroxyapatite nanorods, hydrochar, biochar, and zeolite for controlled release urea fertilizers. *Geoderma*. 379: 114644.

- clay-biochar composite using natural attapulgite and cauliflower leaves. *Environmental Science and Pollution Research*. 26 (8): 7463-7475. DOI:10.1007/s11356-019-04172-8
46. Chen, L., Chen, X. L., Zhou, C. H., Yang, H. M., Ji, S. F., Tong, D. S., Zhong, Z. K., Yu, W. H. & Chu, M. Q. (2017). Environmental-friendly montmorillonite-biochar composites: facile production and tunable adsorption-release of ammonium and phosphate. *Journal of Cleaner Production*. 156: 648-659. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.050>
47. An, X., Yu, J., Yu, J., Tahmasebi, A., Wu, Z., Liu, X., & Yu, B. (2020). Coprolysis of biomass, bentonite, and nutrients as a new strategy for the synthesis of improved biochar-based slow-release fertilizers. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 8 (8): 8.3181–3190. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06483>
48. Baki, M., & Abedi-Koupai, J. (2018). Preparation and characterization of a superabsorbent slow release fertilizer with sodium alginate and biochar. *Journal of Applied Polymer Science*. 135: 10.45966. <https://doi.org/10.1002/app.45966>
49. Jia, Y., Hu, Z., Ba, Y., & Qi, W. (2021). Application of biochar-coated urea controlled loss of fertilizer nitrogen and increased nitrogen use efficiency. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 8: 1.1-11. DOI:10.1186/s40538-020-00205-4
50. Ye, Z., Zhang, L., Huang, Q., & Tan, Z. (2019). Development of a carbon-based slow release fertilizer treated by bio-oil coating and study on its feedback effect on farmland application. *Journal of Cleaner Production*. 239: 118085. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118085>
40. Manikandan, A., & Subramanian, K. (2015). Ability of urea impregnated biochar fertilizers for securing the slow release of nitrogen in soils—preliminary study. *International Journal of Agriculture Sciences*. 7(11): 750-756. DOI:10.9735/0975-3710.7.11
41. Cen, Z., Wei, L., Muthukumarappan, K., Sobhan, A., & McDaniel, R. (2021). Assessment of a biochar-based controlled release nitrogen fertilizer coated with polylactic acid. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 21:3.2007-2019. DOI:10.1007/s42729-021-00497-x
42. Ramola, S., Belwal, T., Li, C. J., Wang, Y. Y., Lu, H. H., Yang, S. M., & Zhou, C. H. (2020). Improved lead removal from aqueous solution using novel porous bentonite and calcite-biochar composite. *Science of The Total Environment*. 709: 136171. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136171>
43. Ashiq, A., Adassooriya, N. M., Sarkar, B., Rajapaksha, A. U., Ok, Y. S., & Vithanage, M. (2019). Municipal solid waste biochar-bentonite composite for the removal of antibiotic ciprofloxacin from aqueous media. *Journal of Environmental Management*. 236: 428-435. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.006>
44. Premarathna, K. S. D., Rajapaksha, A. U., Adassoriya, N., Sarkar, B., Sirimuthu, N. M., Cooray, A., Ok, Y. S., & Vithanage, M. (2019). Clay-biochar composites for sorptive removal of tetracycline antibiotic in aqueous media. *Journal of Environmental Management*. 238: 315-322. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.069>
45. Wang, Z., Yang, X., Qin, T., Liang, G., Li, Y. & Xie, X. (2019). Efficient removal of oxytetracycline from aqueous solution by a novel magnetic

