



## The Effect of Natural Biochar Application on Nitrogen Fertilizer Productivity in Spinach

Jaefar Nikbakht<sup>1</sup> | Shaghayegh Vaziri<sup>2</sup> | Taher Barzegar<sup>3</sup>

1. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Agricultural Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: [Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir](mailto:Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir)
2. Department of Water Engineering, Agricultural Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: [shaghayegh9176@gmail.com](mailto:shaghayegh9176@gmail.com)
3. Department of Horticultural Sciences, Agricultural Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: [tbarzegar@znu.ac.ir](mailto:tbarzegar@znu.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received 23 November 2022

Received in revised form

18 June 2023

Accepted 24 June 2023

Published online 12 October 2023

#### Keywords:

*Fertigation*

*Fertilizer levels*

*Soil improver*

*Yield and yield components*

### ABSTRACT

Current research was carried out as a pot experiment in order to investigate the effect of different biochar levels (zero (Bi0), one (Bi1) and two (Bi2) percent of soil mass) and nitrogen fertilizer (from the urea source) (zero (F0), 150 (F150) and 300 (F300) kg/ha) on spinach (cv. Viroflay) yield and fertilizer productivity. The experiment was done from September 2021 to January 2022 as a factorial experiment based on randomized complete blocks design with four replications in the research greenhouse of agricultural faculty of Zanjan University. Fertilizing was done as fertigation in three splits with an interval of 10 days. Results showed, using one and two percent biochar were significantly increased means of leaf chlorophyll index 15% and 34% (respectively) and leaf area 14% and 34% (respectively) compared to the control treatment. In F150 and F300 treatments compared to F0, means of leaf chlorophyll index increased 64% and 110% (respectively) and leaf area increased 30% and 58% (respectively). Based on the results of interaction effects, maximum mean of petiole length, fresh and dry mass of plant and fertilizer productivity were achieved in Bi2-F300 treatment (respectively 6.1 cm, 10.1 gr and 24.0 kg/kg). Based on the research results, biochar application in soil is suggested to increase fertilizer productivity which reduces the harmful effects of using chemical fertilizers on the environment.

**Cite this article:** Nikbakht, J., Vaziri, Sh., & Barzegar, T. (2023). The Effect of Natural Biochar Application on Nitrogen Fertilizer Productivity in Spinach. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (3), 755-768.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.351415.1033>





## تأثیر کاربرد بیوجار طبیعی بر بهره‌وری کود نیتروژن در اسفناج

جعفر نیکبخت<sup>۱</sup> | شقایق وزیری<sup>۲</sup> | طاهر برزگر<sup>۳</sup>۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: [Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir](mailto:Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir)۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: [shaghayegh9176@gmail.com](mailto:shaghayegh9176@gmail.com)۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: [tbarzegar@znu.ac.ir](mailto:tbarzegar@znu.ac.ir)

## اطلاعات مقاله

## چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰

## کلیدواژه‌ها:

اصلاح‌کننده خاک

سطوح کود

عملکرد و اجزای عملکرد

کودآبیاری

پژوهش حاضر به صورت آزمایش گلدانی به منظور بررسی اثر سطوح متفاوت بیوجار (صفر (Bi0)، یک (Bi1) و دو (Bi2) درصد وزنی خاک) و کود نیتروژن (از منبع اوره) (صفر (F0)، ۱۵۰ (F150) و ۳۰۰ (F300) کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد و بهره‌وری کود در گیاه اسفناج رقم Viroflay اجرا شد. پژوهش حاضر به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار از مهرماه تا دی‌ماه ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام گرفت. کوددهی به صورت کودآبیاری و در سه نوبت به فاصله ۱۰ روز انجام شد. براساس یافته‌های پژوهش، با کاربرد یک و دو درصد بیوجار میانگین شاخص کلروفیل برگ به ترتیب ۱۵ و ۳۴ درصد و میانگین سطح برگ به ترتیب ۱۴ و ۳۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار یافت. همچنین افزایش میانگین شاخص کلروفیل برگ در تیمارهای F150 و F300 نسبت به تیمار F0 به ترتیب ۶۴ و ۱۱۰ درصد و میانگین سطح برگ به ترتیب ۳۰ و ۵۸ درصد بود. براساس نتایج اثرات متقابل، بیش‌ترین میانگین طول دم‌برگ، میانگین وزن تر و خشک گیاه و میانگین بهره‌وری کود در تیمار Bi2-F300 (به ترتیب ۶/۱ سانتی‌متر، ۱۰/۱ گرم، ۱/۲ گرم و ۲۴/۰ کیلوگرم بر کیلوگرم) به دست آمد. براساس نتایج پژوهش، کاربرد بیوجار در خاک برای افزایش بهره‌وری کود و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی استفاده از کود شیمیایی پیشنهاد می‌گردد.

استناد: نیکبخت، جعفر؛ وزیری، شقایق؛ و برزگر، طاهر (۱۴۰۲). تأثیر کاربرد بیوجار طبیعی بر بهره‌وری کود نیتروژن در اسفناج. نشریه مدیریت آب و آبیاری،

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.351415.1033>، ۷۵۵-۷۶۸، ۱۳ (۳)

## ۱- مقدمه

میزان نیتروژن خاک در شرایط طبیعی (بدون دخالت انسان)، رابطه مستقیم با پوشش گیاهی آن دارد. در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، به دلیل کمبود آب، پوشش گیاهی خاک کافی نبوده که این شرایط سبب کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه فقر ماده آلی آن و در نهایت کاهش نیتروژن خاک می‌گردد (Gavili et al., 2016). نیتروژن پرمصرف‌ترین عنصر غذایی در تغذیه گیاهان محسوب می‌گردد که اثر مستقیم بر تولید ماده خشک از طریق تأثیر بر سطح برگ و کارایی فتوسنتز می‌گذارد (Eskandari et al., 2021). کشاورزان در این مناطق به منظور تأمین کمبود نیتروژن خاک، از کودهای شیمیایی حاوی این عنصر استفاده می‌کنند تا نیاز گیاه به این عنصر غذایی در طول دوره رشد را جبران کنند (Nikbakht et al., 2020). یکی از مسائل اصلی در مصرف کود، سطح بهینه مصرف آن می‌باشد. مصرف بیش از نیاز گیاه به نیتروژن، باعث اسیدی شدن خاک، کاهش فعالیت میکروبی خاک، طولانی‌تر شدن دوره رشد گیاه و تأخیر در رسیدن محصول، کاهش عملکرد کل، افزایش هزینه‌های تولید و مسائل زیست‌محیطی مانند آلودگی منابع آب می‌گردد (Nikbakht et al., 2020; Eskandari et al., 2021). بنابراین مصرف بهینه کود می‌تواند بهره‌وری مصرف کود را افزایش دهد (Nikbakht et al., 2020).

میانگین وزن تر اندام هوایی اسفناج تحت تأثیر چهار سطح کود نیتروژن (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در پژوهش Sadeghi et al. (2017) به ترتیب ۱۹/۶۰، ۱۲۱/۹۹، ۱۸۴/۴۰ و ۴۳۱/۵۲ گرم به دست آمد. نتایج پژوهش Goodarzi et al. (2020) نشان داد افزودن شش سطح کود نیتروژن از منبع اوره به خاک بستر گیاه (به ترتیب ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) باعث افزایش میانگین عملکرد اسفناج نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱۷/۸، ۲۶/۵، ۳۳/۹، ۳۸/۳، ۳۹/۸ و ۳۹/۸ درصد (به ترتیب) شد. Mola et al. (2021) طی پژوهشی نتیجه گرفتند افزودن ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به خاک (به ترتیب ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی گیاه) باعث افزایش میانگین عملکرد اسفناج نسبت به تیمار شاهد به میزان ۲۳/۰ و ۵۵/۲ درصد (به ترتیب) شد. براساس یافته‌های Thapa et al. (2021)، افزودن ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش میانگین عملکرد اسفناج نسبت به تیمار شاهد به میزان ۲۶/۲، ۴۴/۰، ۷۹/۲ و ۹۰/۵ درصد (به ترتیب) شد. طی آزمایشی Patel et al. (2021) با افزودن سطوح متفاوت ترکیب کود نیتروژن و فسفر به خاک، مشاهده کردند بیش‌ترین میانگین عملکرد اسفناج در تیمار ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۴۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (۷۲۴۵/۶۹ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین میانگین عملکرد در تیمار شاهد (تیمار بدون کود) (۴۷۳۱/۶۱ کیلوگرم در هکتار) بود (۵۳ درصد افزایش میانگین عملکرد).

راه کارهای متعددی برای افزایش بهره‌وری مصرف کود مورد استفاده قرار می‌گیرد که افزودن بیوجار یکی از این راه کارهایی است که در سال‌های اخیر از آن استفاده می‌شود. بیوجار محصولی غنی از کربن است که از حرارت دیدن زیست‌توده‌هایی مانند چوب، کود دامی یا برگ، در یک محفظه در بسته، بدون هوای در دسترس یا حاوی مقادیر کم آن حاصل می‌گردد. به لحاظ تخصصی‌تر، بیوجار از تجزیه حرارتی مواد آلی تحت شرایط محدودیت اکسیژن و در دماهای کم‌تر از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به دست می‌آید (Bitarafan et al., 2018). بیوجار به دلیل پایداری در برابر تجزیه و داشتن منافذ متعدد (در مقیاس میکرومتر)، به عنوان یک ماده اصلاح‌کننده مفید خاک موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی (افزایش تخلخل، ظرفیت نگهداری آب در خاک و هدایت هیدرولیکی خاک) و شیمیایی خاک (افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و ماده آلی)، باعث افزایش توانایی نگهداری آب در خاک و حفظ ماده آلی خاک گردیده که در نتیجه آن بهره‌وری کود استفاده شده افزایش می‌یابد (Gavili et al., 2016; Poormansour et al., 2019).

براساس نتایج پژوهش گلدانی Bolhassani et al. (2019)، افزودن ۰/۵ و یک درصد وزنی پوسته برنج و ۰/۵ و

یک درصد وزنی بیوپچار پوسته برنج به خاک (به‌عنوان ماده آلی) باعث افزایش میانگین وزن تر اسفناج به میزان ۴/۴، ۱۰/۶، ۱۷/۹ و ۲۰/۵ درصد (به‌ترتیب) نسبت به تیمار شاهد شد. بررسی اثر متقابل سطوح متفاوت کود نیتروژن (۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز کودی گیاه) و بیوپچار ذرت علوفه‌ای (صفر، دو و پنج درصد وزن خاک) بر عملکرد لفل سبز توسط Hosseinnejad Mir *et al.* (2021) نشان داد در هر سطح بیوپچار، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار عملکرد به‌ترتیب در تیمارهای ۱۲۰ و ۷۵ درصد نیاز کودی گیاه بود. در این پژوهش، بیش‌ترین میانگین عملکرد گیاه (۸/۸۶ کیلوگرم در مترمربع) در تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره+ صفر درصد بیوپچار و کم‌ترین میانگین عملکرد (۱/۶ کیلوگرم در مترمربع) در تیمار ۷۵ درصد کود اوره+ دو درصد بیوپچار ذرت علوفه‌ای به‌دست آمد. در آزمایش Jabborova *et al.* (2021) میانگین وزن تر ساقه اسفناج تیمارهای شاهد و بیوپچار به‌ترتیب ۱۱/۶ و ۱۶ گرم به‌دست آمد. در پژوهش Saah *et al.* (2022) بیش‌ترین عملکرد کاهو (۱۹/۳ تن در هکتار) با کاربرد هم‌زمان بیوپچار با اندازه کم‌تر از دو میلی‌متر و ۶۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و کم‌ترین مقدار عملکرد (۱۱/۱ تن در هکتار) در تیمار بیوپچار با اندازه بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر و عدم استفاده از نیتروژن به‌دست آمد.

کاربرد مقادیر مناسب کود نیتروژن، به‌طوری‌که بالاترین بهره‌وری مصرف برای گیاه و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی را در پی داشته باشد، بخش مهمی از مدیریت کودهای نیتروژن‌دار را تشکیل می‌دهد. در سال‌های اخیر توصیه بر آن است تا از مواد طبیعی مناسب، برای افزایش بهره‌وری مصرف کود استفاده شود. بیوپچار به‌عنوان ماده بهبوددهنده خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌تواند با اثرگذاری بر چرخه نیتروژن، پویایی این عنصر غذایی را تغییر داده و موجب به حداقل رساندن هدررفت آن و افزایش بهره‌وری مصرف کود گردد. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر افزودن بیوپچار به بستر کشت گیاه اسفناج بر بهره‌وری کود نیتروژن بود. اسفناج با نام علمی *Spinacea oleracea* L. یکی از سبزی‌های برگ‌ی مهم خانواده چغندرپان است که بومی مناطق مرکزی آسیا و به احتمال قوی ایران می‌باشد. این گیاه دارای ارزش غذایی مهمی بوده و برگ‌ها و ساقه‌های ظریف آن به‌صورت تازه و یا فرآوری‌شده مصرف می‌شود، به‌طوری‌که در بین ۴۲ نوع میوه و سبزی رایج، از نظر مقدار نسبی ۱۰ نوع ویتامین و مواد معدنی، در رتبه دوم اهمیت قرار دارد. این گیاه با دارابودن ترکیبات فولیک‌اسید برای معالجه کم‌خونی بسیار مفید است (Erfani *et al.*, 2006).

## ۲- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش گلدانی از مهرماه تا دی‌ماه ۱۴۰۰ بر روی گیاه اسفناج رقم Viroflay در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل بیوپچار در سه سطح (صفر (Bi0)، یک (Bi1) و دو (Bi2) درصد) و کود نیتروژن (از منبع اوره) در سه سطح (صفر (F0)، ۱۵۰ (F150) و ۳۰۰ (F300) کیلوگرم در هکتار) بود. تیمار FOB0 به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. گلدان‌های مورد استفاده در پژوهش به‌صورت مکعبی با طول ۴۹ سانتی‌متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر بود. به‌منظور آماده‌سازی بستر کشت، از خاک مزرعه استفاده شد که پس از سرنده کردن با الک ۱/۵ سانتی‌متری، با نسبت مساوی (۵۰:۵۰) با ماسه مخلوط شده و پس از اختلاط کامل با بیوپچار، در تمام گلدان‌ها به مقدار ۲۲ کیلوگرم ریخته شد. قبل از ریختن خاک در گلدان‌ها، در کف گلدان‌ها به عمق سه تا پنج سانتی‌متر شن بادامی برای زهکشی کامل آب گلدان‌ها ریخته شد. بیوپچار مورد استفاده در این پژوهش از بیوپچار طبیعی تهیه‌شده از معدن بیوپچار کوهبنان استان کرمان تهیه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و بیوپچار مورد استفاده در پژوهش در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است.

Table 1. Physico-Chemical properties of farm soil

Clay	Silt	Sand	Soil Texture	$\rho_b$	$\rho_s$	OM	K	Na	Ca	N	EC	pH
(%)	(%)	(%)		( $gr.cm^{-3}$ )	( $gr.cm^{-3}$ )	(%)	( $mg.kg^{-1}$ )	( $mg.kg^{-1}$ )	( $mg.kg^{-1}$ )	(%)	( $dS.m^{-1}$ )	
37	38	25	Clay Loam	1.18	2.64	0.94	200	130	120	0.1	1.49	7.42

Table 2. Some Physico-Chemical properties of biochar

C (%)	N (%)	EC (ds.m <sup>1</sup> )	pH	CEC (cmol.m <sup>1</sup> )
70.1	2.3	2.7	5.6	83.6

پس از آماده‌سازی گلدان‌ها، کلیه گلدان‌ها در چهار بلوک متفاوت که هر بلوک شامل گلدان‌های یک تکرار بود، چیدمان شد. چیدمان گلدان‌ها در هر بلوک به صورت کاملاً تصادفی انجام گرفت. در نهایت در هر گلدان بذر اسفناج در ۱۰ نقطه در عمق دو الی سه سانتی‌متری کشت شد. اعمال سطوح متفاوت کود نیتروژن (به صورت کودآبیاری) پس از رسیدن گیاهان به چهار برگی انجام شد. کوددهی در سه نوبت به فاصله ۱۰ روز انجام شد. در آزمایش حاضر، نیاز آب آبیاری گلدان‌ها در هر دور آبیاری (سه روز) از طریق روش لایسیمتر زهکش‌دار (رابطه ۱) و اندازه‌گیری آن در گلدان‌های شاهد و سپس متوسط‌گیری مقدار حاصل از چهار گلدان شاهد به دست آمد.

$$I - O = \Delta S \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، I آب ورودی به گلدان از طریق آبیاری، O آب زهکشی شده از انتهای گلدان و  $\Delta S$  جبران رطوبت خارج شده از خاک گلدان در فاصله بین دو آبیاری به علت تبخیر- تعرق گیاه.

برای ارزیابی اثر تیمارهای آزمایش بر گیاه، چند روز قبل از برداشت اسفناج‌ها، شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه SPAD اندازه‌گیری شد. برای محاسبه درصد نسبی محتوای آب برگ، ابتدا قطعه‌ای از برگ‌های میانی گیاه برش داده شده و پس از تعیین وزن آن‌ها با ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم، به مدت ۲۴ ساعت درون آب مقطر و در محیط تاریک قرار داده شد. سپس برگ‌ها از آب مقطر خارج شده و بعد از توزین، به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. در نهایت وزن خشک قطعات برگ اسفناج تعیین شده و محتوی نسبی آب برگ با رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$RWC = \frac{M_{Wet} - M_{Dry}}{M_{Turgidity} - M_{Dry}} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲)، RWC محتوی نسبی آب برگ (درصد)،  $M_{Wet}$  وزن تر برگ (گرم)،  $M_{Dry}$  وزن خشک برگ (گرم)،  $M_{Turgidity}$  وزن آماس برگ (گرم) می‌باشد (Nikbakht et al., 2022).

پس از تکمیل رشد گیاهان، پنج بوته از ۱۰ بوته هر گلدان به صورت تصادفی انتخاب و از محل طوقه برش داده شده، بلافاصله وزن تر آن‌ها به وسیله ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. لازم به توضیح است، گلدان‌ها عصر روز قبل از برداشت آبیاری گردیده و اندازه‌گیری صفات روز بعد و صبح زود انجام گرفت. سپس برگ‌ها از ساقه جدا شده و با جداسازی دمبرگ‌ها از برگ‌ها، طول دمبرگ‌ها به صورت جداگانه به وسیله خط‌کش اندازه‌گیری شد. سطح برگ گیاهان با کمک دستگاه اسکنر نوری تعیین شد. در نهایت کلیه قطعات گیاهان (ساقه، برگ و دمبرگ‌ها) درون پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون الکتریکی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و در نهایت وزن خشک گیاهان اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین بهره‌وری مصرف کود نیتروژن از رابطه (۳) (Nikbakht et al., 2020) استفاده شد.

$$FP = \frac{FWF - FWNF}{FM} \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه (۳)، FP بهره‌وری مصرف کود (کیلوگرم بر کیلوگرم)، FWF وزن تر گیاهانی که کود دریافت کرده‌اند (کیلوگرم)، FWNF وزن تر گیاهانی که کود دریافت نکرده‌اند (تیمار شاهد) و FM وزن کود مصرف‌شده برای هر تیمار (کیلوگرم) می‌باشد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزارهای SAS9.3 و SPSS22.0 داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### ۳- نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش در جدول سه ارائه شده است. ملاحظه می‌شود اثر سطوح متفاوت بیوپچار و کود نیتروژن بجز محتوی نسبی آب برگ بر بقیه صفات اندازه‌گیری شده، در سطوح متفاوت آماری معنی‌دار شد. اثر متقابل بیوپچار و کود نیتروژن بر صفات وزن تر و خشک و طول دم‌برگ معنی‌دار شد. عدم معنی‌دار شدن اثر تیمارهای آزمایش بر محتوای نسبی آب برگ می‌تواند به دلیل تأمین کامل نیاز آبی کلیه گیاهان و عدم اعمال تنش خشکی بر آن‌ها باشد.

Table 3. Variance analysis of evaluated traits in spinach

Source of variances	df	Plant Fresh mass	Plant dry mass	Petiole length	Chlorophyll index	Relative water content	Leaf area	fertilizer productivity
Rep	3	0.1 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.3 <sup>ns</sup>	9.5 <sup>ns</sup>	33.3 <sup>ns</sup>	7.5 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>
Biochar	2	18.1 <sup>***</sup>	0.2 <sup>***</sup>	5.9 <sup>***</sup>	316.2 <sup>***</sup>	118.3 <sup>ns</sup>	282.8 <sup>***</sup>	0.8 <sup>***</sup>
Fertilizer	2	77.7 <sup>***</sup>	0.96 <sup>***</sup>	27.4 <sup>***</sup>	1776.3 <sup>***</sup>	53.0 <sup>ns</sup>	575.3 <sup>***</sup>	3.4 <sup>***</sup>
Fer×Bio	4	1.8 <sup>**</sup>	0.04 <sup>*</sup>	0.9 <sup>***</sup>	4.0 <sup>ns</sup>	41.7 <sup>ns</sup>	6.4 <sup>ns</sup>	0.1 <sup>**</sup>
Error	24	0.3	0.01	0.1	4.2	91.3	6.9	0.01
CV (%)	-	10.3	15.5	9.2	5.9	14.2	8.5	10.3

ns: no significant; \*, \*\* and \*\*\*: significant at 0.1%, 1% and 5% respectively.

### ۳-۱- شاخص کلروفیل برگ

شکل (۱) مقایسه میانگین شاخص کلروفیل برگ اسفناج تحت تأثیر سطوح بیوپچار را نشان می‌دهد. براساس یافته‌ها، با کاربرد دو و یک درصد بیوپچار، میانگین شاخص کلروفیل برگ اسفناج نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۰/۳ و ۴/۵ واحد SPAD (به ترتیب ۳۴ و ۱۵ درصد) و نسبت به یکدیگر (دو درصد بیوپچار نسبت به یک درصد) ۵/۸ واحد SPAD (۱۷ درصد) افزایش معنی‌دار داشت. کاربرد بیوپچار باعث افزایش جذب منیزیم که جزء مهمی از رنگدانه کلروفیل است می‌شود. در نتیجه شاخص کلروفیل برگ افزایش می‌یابد (Charkhab *et al.*, 2021). در پژوهش Charkhab *et al.* (2021) مقدار شاخص کلروفیل برگ ذرت با کاربرد چهار تن در هکتار بیوپچار ۴۸/۳۸ به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (۴۲/۰۷) ۱۵ درصد افزایش داشت.

تأثیر سطوح متفاوت کود نیتروژن بر شاخص کلروفیل برگ اسفناج در شکل (۲) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود با استفاده از ۳۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن، میانگین شاخص کلروفیل برگ اسفناج نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۲۴/۲ و ۱۴/۲ واحد SPAD (۱۱۰ و ۶۴ درصد به ترتیب) و نسبت به یکدیگر ۱۰ واحد SPAD (۲۸ درصد) افزایش داشت. اثر افزایشی کود نیتروژن بر مقدار کلروفیل به نقش نیتروژن در ساختار کلروفیل مربوط می‌شود. در ساختمان کلروفیل اتم منیزیم در مرکز قرار گرفته و چهار اتم نیتروژن آن را احاطه کرده‌اند. نیتروژن سازنده اصلی همه اسیدهای آمینه، پروتئین و لیپیدها می‌باشد که به صورت یک ترکیب ساختاری در کلروپلاست عمل می‌کند.

بنابراین کمبود نیتروژن سبب کاهش کلروفیل برگ می‌شود (Sadeghi *et al.*, 2017; Kalantari *et al.*, 2018). مقدار شاخص کلروفیل برگ اسفناج در پژوهش Mola *et al.* (2021) با کاربرد صفر، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، به ترتیب ۴۲، ۴۵ و ۴۷، در آزمایش Kalantari *et al.* (2018) با کاربرد صفر، ۱۲۵ و ۲۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در هر کیلوگرم خاک، به ترتیب ۳/۳، ۲۸/۳ و ۲۹/۵ (اندازه‌گیری ۷۵ روز بعد از کشت) و در پژوهش Sadeghi *et al.* (2017) با کاربرد ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن به ترتیب ۲۵/۹۶، ۵۸/۰۸، ۵۷/۸۱ و ۵۸/۳۱ به دست آمد.

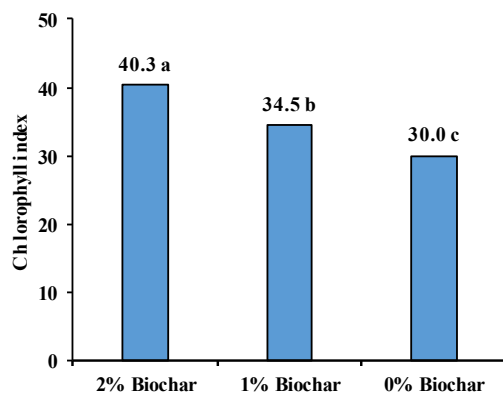


Figure 1. Effect of biochar treatments on chlorophyll index in spinach

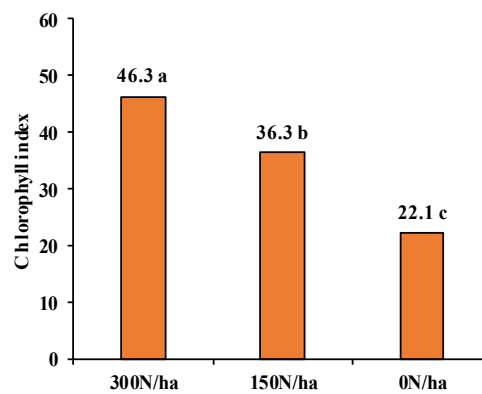


Figure 2. Effect of nitrogen fertilizer treatments on chlorophyll index in spinach

### ۳-۲- طول دمبرگ

اثر متقابل سطوح بیوچار و کود نیتروژن بر میانگین طول دمبرگ اسفناج در شکل (۳) نشان داده شده است. یافته‌های پژوهش نشان داد در هر سطح بیوچار، استفاده از ۳۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار میانگین طول دمبرگ اسفناج نسبت به تیمار صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن شد که در سطح بیوچار دو درصد میزان افزایش طول دمبرگ به ترتیب ۳/۸ و ۲/۳ سانتی‌متر (به ترتیب ۱۶۵ و ۱۰۰ درصد) و در سطح بیوچار یک درصد به ترتیب ۳/۲ و ۱/۷ سانتی‌متر (به ترتیب ۱۷۸ و ۹۴ درصد) و در سطح بیوچار صفر درصد یا شاهد به ترتیب ۲/۰ و ۱/۴ سانتی‌متر (۱۱۱ و ۷۸ درصد به ترتیب) بود. همچنین از یافته‌های آزمایش می‌توان نتیجه گرفت، در هر سطح کود نیتروژن استفاده از سطوح متفاوت بیوچار موجب افزایش معنی‌دار طول دمبرگ اسفناج که میزان افزایش در سطح صفر کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب ۰/۴ و ۰/۵۰ سانتی‌متر (به ترتیب ۲/۰ و ۲۸ درصد)، در سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به ترتیب ۰/۳ و ۱/۴ سانتی‌متر (به ترتیب ۹/۰ و ۴۲ درصد) و در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب ۲/۳ و ۱/۲ سانتی‌متر (به ترتیب ۳۲ و ۶۱ درصد) شد. با توجه به شکل (۳)، در اثر برهم‌کنش تیمارهای آزمایش، بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین طول دمبرگ اسفناج به ترتیب در تیمار Bi2-F300 (۶/۱ سانتی‌متر) و تیمار شاهد یا Bi0-F0 (۱/۸ سانتی‌متر) بود که با یکدیگر ۴/۳ سانتی‌متر (۲۳۹ درصد) اختلاف معنی‌دار داشت.

بیوچار ماده‌ای متخلخل و غنی از کربن (۸۹ درصد) می‌باشد که ساختار آن قادر به ذخیره‌سازی آب و عناصر غذایی می‌باشد. بنابراین، کاربرد بیوچار در خاک می‌تواند سبب افزایش تعداد ریزجانداران مفید خاک، کاهش چگالی ظاهری و افزایش تخلخل و هوادهی خاک و در نتیجه حاصلخیزی خاک گردد. با توجه به پایداری بیوچار در برابر تجزیه، به نظر می‌رسد که این ماده با داشتن منافذ متعدد (در مقیاس میکرومتر) می‌تواند به‌طور مستقیم توانایی نگهداری آب در خاک را

به صورت بلندمدت افزایش دهد (Nikbakht *et al.*, 2023). با افزایش قابلیت دسترسی به آب و مواد غذایی، آماس سلولی و در نتیجه پتانسیل فشاری آب در سلول افزایش می‌یابد. افزایش آماس سلولی دلیلی بر افزایش تقسیم سلولی و افزایش طول اندام‌های گیاهی می‌باشد (Nikbakht *et al.*, 2022).

صفت طویل بودن طول دمبرگ و برافراشته بودن آن صفتی مطلوب از نظر برداشت مکانیزه محسوب می‌شود، اما تجمع نیتراژ در دمبرگ بیش‌تر از سایر قسمت‌های گیاه بوده و در صورت مدیریت نامناسب کود نیتروژن می‌تواند به عنوان یک صفت نامطلوب مطرح شود (Jafari and Jalali, 2018). بیش‌ترین طول دمبرگ در آزمایش Vojodi *et al.* (2018) Mehrabani در تیمار کاربرد ۳۰۶ کیلوگرم بر هکتار کود اوره (۲/۸ سانتی‌متر) به دست آمد که نسبت به طول دمبرگ تیمار شاهد (۱/۸ سانتی‌متر) ۵۵/۶ درصد بیش‌تر بود. در آزمایش Senviset and Preston (2018) طول دمبرگ گیاه کاساوا با کاربرد صفر، ۰/۵، ۱/۰، ۱/۵ و ۲/۰ کیلوگرم در مترمربع بیوچار به ترتیب ۱/۷۲ و ۲/۲۷ سانتی‌متر به دست آمد.

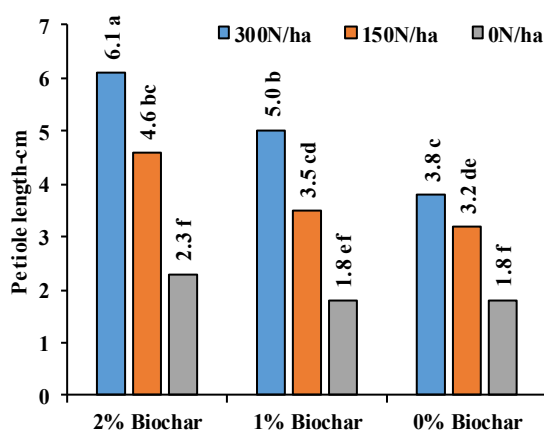


Figure 3. Interaction effect of biochar and nitrogen fertilizer treatments on petiole length in spinach

### ۳-۳- سطح برگ

شکل (۴) نتایج تأثیر استفاده از بیوچار بر میانگین سطح برگ اسفناج را نشان می‌دهد. براساس یافته‌ها، کاربرد بیوچار موجب افزایش معنی‌دار میانگین سطح برگ گیاه نسبت به تیمار شاهد شد که افزایش در تیمار دو درصد بیوچار ۹/۶ سانتی‌مترمربع (۳۶ درصد) و در تیمار یک درصد ۳/۶ سانتی‌مترمربع (۱۴ درصد) بود. همچنین بین دو تیمار دو و یک درصد بیوچار، ۶/۰ سانتی‌مترمربع (۲۰ درصد) اختلاف معنی‌دار وجود داشت. افزایش سطح برگ احتمالاً به دلیل تأمین نیتروژن و سایر عناصر غذایی موردنیاز گیاه، در اثر افزودن بیوچار به خاک باشد (Gavili *et al.*, 2016). در پژوهش Gavili *et al.* (2016)، سطح برگ اسفناج با کاربرد بیوچار گاوی با مقادیر صفر، ۱/۲۵، ۲/۵ و ۵/۰ درصد وزنی خاک، به ترتیب ۱۶۱۴، ۱۸۳۴، ۱۶۳۵ و ۱۴۶۵ سانتی‌مترمربع به دست آمد.

براساس یافته‌های پژوهش حاضر (شکل ۵)، استفاده از ۳۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در دوره رشد گیاه اسفناج، موجب افزایش معنی‌دار میانگین سطح برگ گیاه نسبت به تیمار شاهد به میزان به ترتیب ۱۳/۸ و ۷/۱ سانتی‌مترمربع (به ترتیب ۵۸ و ۳۰ درصد) و نسبت به یکدیگر به میزان ۶/۷ سانتی‌مترمربع (۲۲ درصد) شد. افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی با کاربرد کود شیمیایی و جذب بیش‌تر آن‌ها توسط گیاه، باعث افزایش فتوسنتز و سطح



برگ گیاه می‌شود (Fallah Morteza Nezhad *et al.*, 2014). سطح برگ گیاه اسفناج در آزمایش Sadeghi *et al.* (2017) با کاربرد ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن به ترتیب ۸۹/۲۳، ۱۷۷/۶۹، ۴۶۰/۲۳ و ۱۲۸۵/۶۱ سانتی‌مترمربع و در پژوهش Abdelraouf (2016) با کاربرد ۵۶، ۱۱۲، ۱۶۸ و ۲۲۴ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به ترتیب ۳۵۴/۱، ۵۳۰/۲، ۵۹۸/۸ و ۷۷۵/۹ سانتی‌مترمربع حاصل شد.

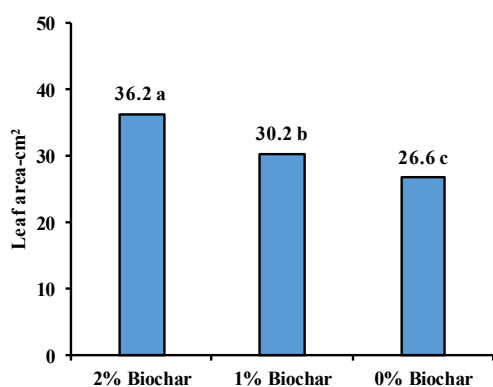


Figure 4. Effect of biochar treatments on leaf area in spinach

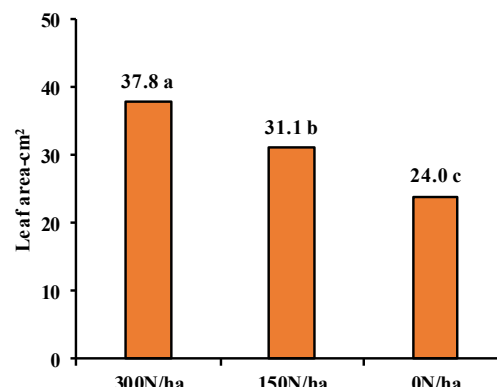


Figure 5. Effect of nitrogen fertilizer treatments on leaf area in spinach

### ۳-۴- وزن تر و خشک گیاه

شکل‌های (۶) و (۷) برهم‌کنش سطوح بیوچار و کود نیتروژن بر وزن تر و خشک گیاه اسفناج را نشان می‌دهد. براساس یافته‌ها، در هر سطح بیوچار، افزودن مقادیر متفاوت کود نیتروژن به خاک موجب افزایش میانگین وزن تر گیاه شد که افزایش در سطح صفر کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن یا شاهد به ترتیب ۰/۹ و ۱/۵ گرم (۴۳ و ۷۱ درصد)، در سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به ترتیب ۱/۲ و ۲/۰ گرم (۲۸ و ۴۷ درصد) و در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب ۳/۹ و ۱/۵ گرم (۲۴ و ۶۳ درصد) بود (شکل ۶). همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود افزایش میانگین وزن خشک اسفناج در سطح صفر کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن یا شاهد به ترتیب ۰/۱ و ۰/۱ گرم (۳۳ و ۳۳ درصد)، در سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به ترتیب ۰/۱ و ۰/۲ گرم (۱۷ و ۳۳ درصد) و در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب ۰/۴ و ۰/۱ گرم (۱۳ و ۵۰ درصد) بود.

هم‌چنین براساس نتایج آزمایش در هر سطح کود نیتروژن، افزودن مقادیر متفاوت بیوچار به خاک بستر کشت باعث افزایش میانگین وزن تر گیاه اسفناج شد که افزایش در تیمار دو درصد بیوچار به ترتیب ۶/۵ و ۲/۷ گرم (به ترتیب ۱۸۱ و ۷۵ درصد)، در تیمار یک درصد بیوچار به ترتیب ۴/۷ و ۲/۵ گرم (به ترتیب ۱۵۷ و ۸۳ درصد) و در سطح بیوچار صفر درصد یا شاهد به ترتیب ۴/۱ و ۲/۲ گرم (به ترتیب ۱۹۵ و ۱۰۵ درصد) بود (شکل ۶). میزان افزایش وزن خشک اسفناج (شکل ۷) در تیمار دو درصد بیوچار به ترتیب ۰/۸ و ۰/۴ گرم (۹۴ و ۱۹۱ درصد به ترتیب)، در تیمار یک درصد بیوچار به ترتیب ۰/۵ و ۰/۳ گرم (۱۲۵ و ۷۵ درصد به ترتیب) و در سطح بیوچار صفر درصد یا شاهد به ترتیب ۰/۵ و ۰/۳ گرم (۱۶۷ و ۱۰۰ درصد به ترتیب) بود.

با توجه به شکل‌های (۶) و (۷)، با کاربرد هم‌زمان سطوح متفاوت کود نیتروژن و بیوچار، بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین وزن تر گیاه اسفناج (به ترتیب ۱۰/۱ و ۲/۱ گرم) به ترتیب در تیمارهای Bi2F300 و شاهد (Bi0F0) (۸/۰ گرم

یا ۳۸۱ درصد اختلاف معنی‌دار) و بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین وزن خشک گیاه اسفناج (به‌ترتیب ۱/۲ و ۰/۳ گرم) به‌ترتیب در تیمارهای Bi2F300 و شاهد (Bi0F0) (۰/۹ گرم یا ۳۰۰ درصد اختلاف معنی‌دار) حاصل شد. افزایش وزن تر و خشک گیاه با کاربرد کود نیتروژن می‌تواند نتیجه‌ای از فعالیت مریستمی برای تولید بافت‌ها و اندام‌های بیش‌تر باشد، چرا که نیتروژن نقش مهمی در سنتز و ساخت اسیدهای نوکلئیک و پروتئین و هم‌چنین تشکیل پروتوپلاسم داشته و باعث افزایش سهم پروتوپلاسم در اندازه سلول‌ها گردد (Jasim and Esho, 2022). تأثیر مثبت و افزایش وزن تر و عملکرد گیاه با افزودن بیوچار به خاک می‌تواند به‌دلیل بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و در نتیجه افزایش فراهمی عناصر غذایی موردنیاز گیاه باشد (Gavili *et al.*, 2016). بنابراین با کاربرد هم‌زمان بیوچار و کود نیتروژن افزایش وزن تر و عملکرد گیاه نسبت به کاربرد منفرد آن‌ها، بیش‌تر می‌شود. یافته‌های (Jasim and Esho (2022) نشان داد افزودن ۴۰ کیلوگرم نیتروژن به هر ۱۰۰۰ مترمربع، باعث ۷۶ درصد افزایش وزن تر اسفناج شد. در پژوهش (Shafeek *et al.* (2020) با کاربرد ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هر ۴۰۰۰ مترمربع، در دو سال آزمایش وزن تر اسفناج به‌طور متوسط به‌ترتیب ۳۴/۷ و ۷۵/۳ درصد و وزن خشک به‌ترتیب ۳۲/۷ و ۷۳/۷ درصد افزایش داشت. در پژوهش (Abdelraouf (2016) میانگین وزن تر و خشک اسفناج با کاربرد ۱۶۸ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌ترتیب ۶۴/۲۸ و ۵/۳۵ گرم و ۲۲۴ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌ترتیب ۸۳/۱۴ و ۶/۱ گرم به‌دست آمد. در آزمایش (Gavili *et al.* (2016)، افزودن ۱/۲۵، ۲/۵ و ۵/۰ درصد وزنی بیوچار گاوی به خاک باعث تغییر میانگین وزن تر اسفناج به میزان ۱۶/۷، ۳/۸ و ۱۰/۳- درصد (به‌ترتیب) و میانگین وزن خشک اسفناج به میزان ۹/۳، ۱/۰- و ۱۷/۰- درصد (به‌ترتیب) نسبت به تیمار شاهد شد. افزایش میانگین وزن تر و خشک اسفناج با افزودن بیوچار به خاک در پژوهش (Jaborova *et al.* (2021)، به‌ترتیب ۳۷/۹ و ۴۲/۱ درصد به‌دست آمد. طی آزمایشی (Zibaei *et al.* (2019) مشاهده کردند با کاربرد هم‌زمان بیوچار و کود نیتروژن، بیش‌ترین میانگین وزن تر و خشک اسفناج (به‌ترتیب ۳۹/۵۲۳ و ۴/۵۶۳ گرم در گلدان) در تیمار بیوچار پوسته برنج+ بقایای پوسته برنج+ ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در هر کیلوگرم خاک بود.

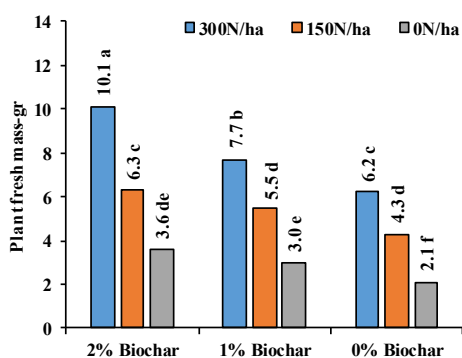


Figure 6. Interaction effect of biochar and nitrogen fertilizer treatments on plant fresh mass in spinach

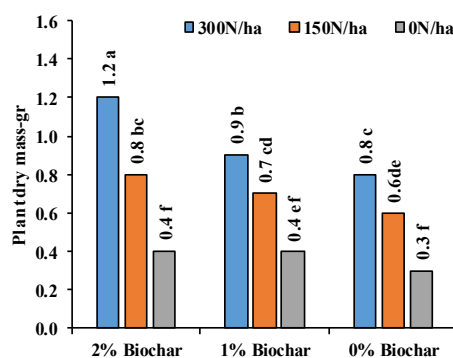


Figure 7. Interaction effect of biochar and nitrogen fertilizer treatments on plant dry mass in spinach

### ۳-۵- بهره‌وری کود

در کشورهای جهان سوم به‌منظور افزایش عملکرد در تولید سبزیجات از نیتروژن استفاده می‌شود. استفاده بیش از حد و حتی مقدار نرمال کودهای نیتروژنی، می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی چون غلظت زیاد عناصر در خاک، آلودگی زه‌آب‌ها

به عناصر و افزایش بیماری‌های گیاهی را به دنبال داشته باشد که دلیل این مسائل، بهره‌وری اندک استفاده از کود نیتروژن و هدررفت و اتلاف بخش قابل توجهی از نیتروژن می‌باشد. بنابراین دانشمندان و پژوهش‌گران علم کشاورزی برای مقابله با این چالش و بهبود وضعیت عناصر غذایی در خاک‌ها، روش‌های مختلفی همچون کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک نظیر بیوچار را پیشنهاد کرده‌اند. بیوچار به دلیل جذب نترات آمونیوم به سطح خود (ظرفیت تبادل کاتیونی بالای آن)، افزایش قدرت نگهداری خاک (بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک) و کاهش چگالی ظاهری خاک، موجب بهبود و افزایش بهره‌وری نیتروژن می‌شود (Zibaei *et al.*, 2019).

بر پایه یافته‌های پژوهش حاضر (شکل ۸)، استفاده هم‌زمان بیوچار و کود نیتروژن باعث افزایش میانگین بهره‌وری کود شد، به طوری که در سطح ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار کود نیتروژن، استفاده از یک و دو درصد بیوچار نسبت به تیمار صفر درصد بیوچار به ترتیب ۵/۰ و ۱۳/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم (به ترتیب ۱۲۰ و ۴۶ درصد) و در سطح ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار کود نیتروژن به ترتیب ۶/۵ و ۳/۹ کیلوگرم بر کیلوگرم (به ترتیب ۱۳۵ و ۸۱ درصد) میانگین بهره‌وری کود افزایش یافت. بنابراین، با توجه به روند تغییرات میانگین بهره‌وری کود در شکل (۹) و همچنین مقادیر اخیر، مشاهده شد در هر سطح کود نیتروژن، استفاده از دو درصد بیوچار باعث افزایش میانگین بهره‌وری کود نسبت به کاربرد یک درصد بیوچار شد که نشان‌دهنده اثرات مثبت استفاده از این ماده در کشت اسفناج می‌باشد.

بیوچار می‌تواند پویایی عناصر غذایی را با اثرگذاری بر چرخه نیتروژن و ارائه گزینه‌هایی در راستای به حداقل رساندن هدررفت و اتلاف نیتروژن به صورت آبشویی از طریق تبادل یونی، جذب و غیر پویاسازی و همچنین افزایش عرضه مواد غذایی تغییر دهد. افزودن بیوچار به طور قابل توجهی فرایند نترات‌سازی خاک را تسریع می‌کند و مقدار میکروارگانیزم‌های اکسیدکننده آمونیوم خاک را بهبود می‌بخشد. بنابراین هم‌زمانی استفاده از بیوچار با کودهای نیتروژنه می‌تواند از طریق بهبود شرایط معدنی‌شدن نیتروژن و جذب توسط گیاه، موجب افزایش بهره‌وری کود نیتروژن گردد (Zibaei *et al.*, 2019).

در پژوهش Sadeghipour (2015)، میانگین بهره‌وری کود نیتروژن در کشت دو ساله اسفناج با افزودن ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به ترتیب ۹۲/۲۹، ۸۷/۳۹ و ۹۰/۰۰ کیلوگرم وزن تر گیاه بر کیلوگرم کود به دست آمد. در آزمایش Zhang *et al.* (2015) میانگین کارایی مصرف نیتروژن در اسفناج با افزودن ۸۵ و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به ترتیب ۴۵/۲۱ و ۱۰/۱۴ درصد بود. براساس یافته‌های پژوهش Zibaei *et al.* (2019)، میانگین بهره‌وری کود در شرایط استفاده از بیوچار پوسته برنج، بقایای پوسته برنج و بیوچار+ بقایا در کشت اسفناج در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک نیتروژن نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۶۷، ۵/۰ و ۲۶ درصد و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک نیتروژن نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۷، ۱۸ و ۳۹ درصد افزایش یافت.

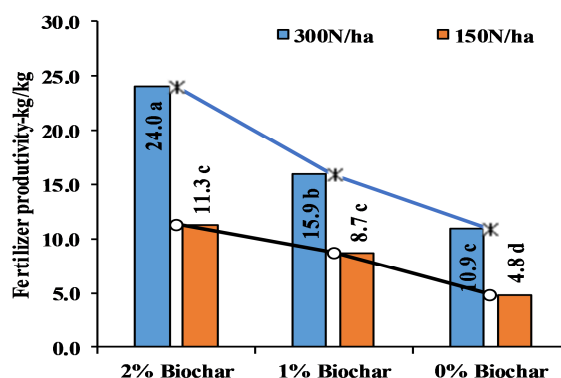


Figure 8. Interaction effect of biochar and nitrogen fertilizer treatments on fertilizer productivity in spinach

#### ۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تأثیر کاربرد هم‌زمان بیوچار طبیعی و کود نیتروژن بر بهره‌وری مصرف کود در اسفناج مورد آزمایش قرار گرفت. یافته‌های پژوهش نشان داد به دلیل فقر خاک مورد آزمایش از نظر نیتروژن، عملکرد اسفناج پایین بود (۲/۱ گرم) که با کاربرد ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژنه مقدار این صفت به ترتیب ۴۳ و ۷۱ درصد افزایش یافت. با در نظر گرفتن جدول نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک، یافته‌های پژوهش نشان داد افزودن بیوچار به خاک، موجب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک گردید، به طوری که مقدار عملکرد در شرایط استفاده از یک و دو درصد بیوچار نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲/۲ و ۴/۱ گرم افزایش یافت. همچنین به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در اثر افزودن هم‌زمان بیوچار، کاربرد کود نیتروژن هم‌زمان با بیوچار در خاک، بهره‌وری مصرف کود را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد که بیش‌ترین بهره‌وری مصرف کود (۲۴/۰ کیلوگرم بر کیلوگرم) در تیمار Bi2F300 حاصل شد. براساس یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت افزودن بیوچار به خاک اراضی کشاورزی به‌عنوان راه‌کاری مدیریتی برای پایداری استفاده از منابع آب و خاک پیشنهاد می‌گردد.

#### ۵- تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی بوده و بیوچار مورد استفاده در پژوهش از بیوچار طبیعی معدن کوهبنان کرمان به‌دست آمده بود که نویسندگان بر خود واجب می‌دانند از مدیریت محترم این معدن تشکر و قدردانی نمایند.

#### ۶- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

#### ۷- منابع

- Abdelraouf, A. A. E. (2016). The effects of nitrogen fertilization on yield and quality of spinach grown in high tunnels. *Alexandria Science Exchange Journal*, 37, 488-496.
- Ahmed, R., Li, Y., Mao, L., Xu, Ch., Lin, W., Ahmed, Sh., & Ahmed, W. (2019). Biochar effects on mineral nitrogen leaching, moisture content, and evapotranspiration after 15N urea fertilization for vegetable crop. *Agronomy*, 9(331), 1-18.
- Bitarafan, Z., Asghari, H., Hasanloo, T., Gholami, A., & Moradi, F. (2018). Biochar effect on seed trigonelline content of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) ecotypes under deficit irrigation. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 34(1), 155-165. (In Persian).
- Bolhassani, Z., Ronaghi, A., Ghasemi, R., & Zarei, M. (2019). Influence of rice-husk derived biochar and growth promoting rhizobacteria on the yield and chemical composition of spinach in soil under salinity stress. *Iranian Journal of Soil Research*, 33(3), 335-348. (In Persian).
- Charkhab, A., Mojaddam, M., Lack, S., Sakinejad, T., & Dadnia, M. R. (2021). The effect of biochar and humic acid rates on some physiological characteristics and grain yield SC704 corn (*Zea mays* L.) hybrid under water deficit stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 15(58), 171-192. (In Persian).
- Erfani, F., Hasandokht, M. R., Barzegar, M., & Jabari, A. (2006). Determination and comparison of chemical properties of seven Iranian spinach cultivars. *Food Science and Technology*, 3(2), 27-34. (In Persian).

- Eskandari, Z., Taab, A., Eshghizadeh, H. R., & Khorvash, M. (2021). Growth characteristics and yield evaluation of dual-purpose corn hybrids in two levels of urea fertigation. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(3): 111-124. (In Persian).
- Fallah Morteza Nezhad, S., Peyvast, G., Olfati, J., & Sammak, B. (2014). Effects of chemical fertilization and organic fertilizer on spinach (*Spinacia oleracea* L.) yield and nitrate accumulation. *Journal of Plant Production Research*, 21(1), 49-68. (In Persian).
- Gavili, E., Mousavi, S. A. A., & Kamgar Haghighi, A. A. (2016). Effect of cattle manure biochar and drought stress on the growth characteristics and water use efficiency of spinach under greenhouse conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(2), 243-259. (In Persian).
- Goodarzi, F., Delshad, M., Soltani, F., & Mansouri, H. (2020). Changes in some growth and yield indices of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) under nitrogen fertilization and plant density. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(2), 183-198. (In Persian).
- Hosseinnejad Mir, A., Hashemi Garmdareh, S., Liaghat, A., Karimi, S., & Abbasi, F. (2021). Effect of forage maize biochar and urea fertilizer on soil chemical properties and pepper yield under greenhouse conditions. *Water and Irrigation Management*, 11(3), 593-606. (In Persian).
- Jaborova, D., Annapurna, K., Paul, S., Kumar, S., Saad, H. A., Desouky, S., Ibrahim, M. F. M., & Elkelish, A. (2021). Beneficial features of biochar and arbuscular mycorrhiza for improving spinach plant growth, root morphological traits, physiological properties, and soil enzymatic activities. *Journal of Fungi*, 571(7), 2-16.
- Jafari, P., & Jalali, A. (2018). Evaluation of yield, yield components and nitrate in some spinach landraces in Isfahan Province. *Journal of Horticultural Science*, 32(1), 149-158. (In Persian).
- Jasim, E. A. A., & Esho, K. B. (2022). Effects of nitrogen doses and organic Alga 600 fertilizer on spinach, *Spinacia oleracea* growth and yield. *Iranian Journal of Ichthyology*, 9, 127-132.
- Kalantari, A., Aliasgharzad, N., & Najafi, N. (2018). Effects of two species of pseudomonas and nitrogen levels on dry matter, chlorophyll index and N and Zn uptake by spinach plant. *Applied Soil Research*, 6(1), 62-72. (In Persian).
- Mola, I. D., Ottaiano, L., Cozzolino, E., Sabatino, L., Sifola, M. I., Mormile, P., El-Nakhel, Ch, Roupheal, Y., & Mori, M. (2021). Optical characteristics of greenhouse plastic films affect yield and some quality traits of spinach (*Spinacia oleracea* L.) subjected to different nitrogen doses. *Horticulturae*, 200(7), 1-15.
- Nikbakht, J., Eshghi, V., Barzegar, T., & Vaezi, A. (2020). Interaction of urea fertilizer and magnetized water on yield and water and fertilizer use efficiency in cucumber (*Cucumis sativus* cv. Kish F1). *Water and Soil*, 34(3), 675-688. (In Persian).
- Nikbakht, J., Mohammadi, F., & Barzegar, T. (2022). Effect of using transparent plastic mulch in deficit irrigation conditions on yield and water productivity green beans. *Water Management in Agriculture*, 8(2), 151-166. (In Persian).
- Nikbakht, J., Parvizi, A., & Barzegar, T. (2023). Effect of Biochar Application on Lettuce Yield and Water Productivity in Deficit Irrigation Conditions. *Water and Irrigation Management*, 12(4), 859-871. (In Persian).
- Patel, V. K., Vikram, B., Sikarwar, P. S., & Sengupta, J. (2021). Effect of different levels of nitrogen and phosphorus on growth and yield of spinach (*Spinacea oleracea* L.) cv. all green. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(1), 2229-2231.
- Poormansour, S., Razzaghi, F., Sepaskhah, A., & Moosavi, A. (2019). Wheat growth and yield investigation under different levels of biochar and deficit irrigation under greenhouse conditions. *Water and Irrigation Management*, 9(1), 15-28. (In Persian).
- Saah, K. J. A., Kaba, J. S., & Abunyewa, A. A. (2022). Inorganic nitrogen fertilizer, biochar particle size and rate of application on lettuce (*Lactuca sativa* L.) nitrogen use and yield. *All Life*, 15(1), 624-635.

- Sadeghi, M., Tabatabaei, J., & Bayat, H. (2017). Effects of nitrogen and nutrient removal on nitrate accumulation and growth characteristics of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Horticultural Science*, 31(2), 306-314. (In Persian).
- Sadeghipour, M. (2015). The effects of cattle manure and nitrogen fertilizer application on some characteristics of Spinach (*Spinacea Oleracea*). *Applied Field Crops Research*, 28(3), 53-64. (In Persian).
- Senviset, O., & Preston, T. R. (2018). Biochar as amendment to soil growing cassava for foliage. *Livestock Research for Rural Development*, 30(4), 17-57.
- Shafeek, M. R., Mahmoud, A. R., Helmy, Y. I., Omar, N. M., & Heba, M. A. (2020). Effect of nitrogen fertilization and foliar application of amino acid on growth, yield and nutritional value of spinach plants. *Current Science International*, 9(4), 641-648.
- Thapa, P., Shrestha, R. K., Kafle, K., & Shrestha, J. (2021). Effect of different levels of nitrogen and farmyard manure on the growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Agricultural Science*, 2(XXXII), 335-340.
- Vojodi Mehrabani, L., Valizadeh Kamran, R., Soltanighralar, Z., Emanizeraatcar, Z., & Masoumpoor, Z. (2018). The effects of urea and organic fertilizers on nitrate accumulation and some physiological traits of spinach (*Spinacia oleracea*). *Plant Productions*, 41(3), 83-94. (In Persian).
- Zhang, J., Sha, Z., Zhang, Y., Bei, Z., & Cao, L. (2015). The effects of different water and nitrogen levels on yield, water and nitrogen utilization efficiencies of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Canadian Journal of Plant Science*, 95(4), 671-679.
- Zibaei, Z., Ghasemi-Fasaei, R., & Ostovar, P. (2019). Effects of crop residues, rice husk biochar and urea application on growth, chemical composition, and nitrogen use efficiency of spinach in a calcareous soil. *Iranian Journal of Soil Research*, 33(1), 75-87. (In Persian).