

## Combined effects of Biochar and Nitrogen on some Agronomical Traits of Rapeseed and Water Use Efficiency under Water Deficit Conditions

Asad Ghaderpoor<sup>1</sup>, Adel Reyhanitabar<sup>2\*</sup>, Nosratollah Najafi<sup>2</sup>, Davoud Zarehaghi<sup>3</sup>,  
Soheil Salimi Trazoj<sup>4</sup>

Received: 24 June 2024 Accepted: 10 October 2024

1- Master of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

4- Master of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

\*Corresponding Author: Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

### Abstract

**Background& Objective:** In this research, the effects of combined application of biochar and nitrogen (N) fertilizer on some agronomical traits of rapeseed (*Brassica napus* L.), under water deficit stress conditions were studied in pot culture with a calcareous sandy loam soil.

**Methods & Materials:** A factorial experiment was done in a completely randomized design with three replicates. The factors were organic matter at five levels (0, 0.75, and 1.5 g 100 g<sup>-1</sup> from two sources of biochar and wheat straw), N at two levels (150 and 300 mg kg<sup>-1</sup> as urea), and moisture at two levels (without stress or optimum, 85–100 percent of field capacity, and stress, 50–60 percent of field capacity). Before the plants harvesting, leaf chlorophyll index, leaf water potential, stomatal conductance, and leaf area were measured. After the plant harvesting, water use efficiency, and some agronomical traits were determined.

**Results:** Application of nitrogen and biochar significantly increased leaf chlorophyll index, leaf water potential, stomatal conductance, shoot dry matter weight, grain dry matter weight, weight of one thousand seeds, water use efficiency and seed oil content. Wheat straw application decreased leaf chlorophyll index, number of leaves, relative water content, leaf water potential and leaf water use efficiency, but at the same time increased plant height, stem diameter, stomatal conductance, shoot dry matter weight, dry weight of seed, and thousand seed weight compared to the treatment without organic matter. Water deficit stress decreased the plant height, leaf number, stem diameter, stomatal conductance, relative water content, leaf water potential, pod number, fresh and dry weights of shoot, fresh and dry weights of root, fresh and dry weights of seed and weight of one thousand seed, except for water use efficiency and leaf chlorophyll index.

**Conclusion:** In this greenhouse study, B<sub>1.5</sub> N<sub>150</sub> FC<sub>0.5</sub> treatment reduced nitrogen use compared to the same treatment with 300 mg N.kg<sup>-1</sup> soil (B<sub>1.5</sub> N<sub>300</sub> FC<sub>0.5</sub>) without significant yield loss. The application of organic matter including wheat straw and biochar at both levels of 0.75% and 1.5% caused a significant increase in most of the agronomical traits of rapeseed plants, especially the seed oil content in a calcareous soil, and of course, future research in the field is recommended.

**Keywords:** Biochar, Drought, Nitrogen Fertilizer, Rapeseed, Wheat Straw

## تأثیر مصرف توأم بیوچار و نیتروژن بر برخی خصوصیات زراعی بوته کلزا و کارایی مصرف آب در شرایط تنش کم آبی

اسعد قادر پور<sup>۱</sup>، عادل ریحانی تبار<sup>۲\*</sup>، نصرت اله نجفی<sup>۲</sup>، داود زارع حقی<sup>۳</sup>، سهیل سلیمی ترازوج<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱۹

۱- کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۴- کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

\*مسئول مکاتبه: Email: [areyhani@tabrizu.ac.ir](mailto:areyhani@tabrizu.ac.ir)

### چکیده

**مقدمه و اهداف:** این پژوهش با هدف بررسی اثر برهمکنش نیتروژن و بیوچار در شرایط تنش کم آبی بر برخی خصوصیات زراعی گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط گلخانه‌ای در یک خاک آهکی با بافت لوم شنی انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل ماده آلی در پنج سطح (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد از دو منبع بیوچار (B) و کاه گندم (St))، نیتروژن (N) در دو سطح (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع اوره) و رطوبت در دو سطح بدون تنش (۸۵ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (FC)) و تنش (۵۰ تا ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه) بود. قبل از برداشت بوته‌ها شاخص کلروفیل برگ، پتانسیل آب برگ، هدایت روزنه‌ای و سطح برگ اندازه‌گیری شدند. بعد از برداشت بوته‌ها نیز کارایی مصرف آب و برخی خصوصیات زراعی اندازه‌گیری شدند.

**یافته‌ها:** با مصرف بیوچار و نیتروژن شاخص کلروفیل برگ، پتانسیل آب برگ، هدایت روزنه‌ای، ماده خشک شاخساره، ماده خشک ریشه و دانه، تعداد غلاف، وزن هزار دانه، کارایی مصرف آب و مقدار روغن دانه به‌طور معناداری نسبت به شاهد افزایش یافتند. مصرف کاه گندم، شاخص کلروفیل برگ، پتانسیل آب برگ و کارایی مصرف آب برگ را کاهش داد ولی هم‌زمان سبب افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، وزن ماده خشک شاخساره، ریشه و دانه، تعداد غلاف و وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین، اعمال تنش کم آبی به‌جز کارایی مصرف آب و شاخص کلروفیل برگ سبب کاهش بقیه صفات اندازه‌گیری شده شد.

**نتیجه‌گیری:** در این تحقیق گلخانه‌ای تیمار  $B_{1.5}N_{150}FC_{0.5}$  بدون افت عملکرد در مقایسه با تیمار  $B_{1.5}N_{300}FC_{0.5}$  باعث صرفه جویی در مصرف نیتروژن شد. مصرف ماده آلی اعم از کاه گندم و بیوچار در هر دو سطح ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد سبب افزایش معنادار اکثر صفات زراعی بوته کلزا به ویژه مقدار روغن دانه در یک خاک آهکی شد و البته تحقیقات آتی در مزرعه توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** بیوچار، کود نیتروژن، کاه گندم، کلزا، کم آبی

## مقدمه

کشور ایران به استثنای ساحل دریای خزر دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است و با گرم شدن کره زمین، وقوع تنش کم آبی در طول دوره رشد گیاهان امری اجتناب ناپذیر است. تنش خشکی از محدودکننده ترین عوامل تولید کلزا در نواحی خشک و نیمه خشک مثل آذربایجان شرقی است و بر فرایندهای حیاتی بوته نظیر فتوسنتز، فشار تورمی سلولها و رشد سلولها اثر منفی دارد (یوسفی و همکاران ۲۰۱۸). اثر تنش خشکی بر گیاه کلزا بسته به رقم، شدت و دوام تنش و شرایط آب و هوایی و شرایط حاصلخیزی فیزیکی و شیمیایی خاک متفاوت است. در نتیجه، انتظار می رود که این پدیده بر تولید محصول تأثیر گذارد (نورقلی پور و همکاران ۲۰۱۴). بررسیهای انجام شده نشان می دهد که وقوع تنش کم آبی در مرحله رشد طولی ساقه کلزا و مرحله گلدهی به شدت بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه کلزا اثر منفی دارد. بنابراین، وقوع تنش کم آبی در مراحل یاد شده سبب کاهش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین می گردد (یوسفی و همکاران ۲۰۱۸).

نیاز کلزا به نیتروژن زیاد است و مدیریت این عنصر مهم ترین عامل پایداری تولید به حساب می آید. کود نیتروژن مورد نیاز کلزا برای دستیابی به عملکرد مطلوب بسته به وضعیت خاک از ۵۰ تا ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار متفاوت گزارش شده است. البته بدیهی است در کنار نیتروژن سایر عناصر غذایی پرمصرف به ویژه فسفر و پتاسیم و عناصر غذایی کم مصرف به قدر کفایت برای رسیدن به تولید مطلوب گیاه کلزا نیاز است (نورقلی پور و همکاران ۲۰۱۴). مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه بسته به گونه، اندام و سن بوته متفاوت است، ولی در مجموع ۱/۵ تا ۵ درصد وزن خشک بوته را نیتروژن تشکیل می دهد. در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل کمبود مواد آلی، کمبود نیتروژن عامل محدود کننده رشد گیاهان بوده و مهم ترین روش تأمین نیتروژن استفاده از کودهای نیتروژنی است (ملکوتی و همای ۲۰۰۴). با این حال، مصرف بی رویه این عنصر موجب

تلفات و بروز مسائل محیط زیستی مانند کاهش تنوع زیستی، اسیدی شدن خاک و افزایش انتشار گاز اکسید نیتروژن می شود. در حال حاضر ۹۸ میلیون تن کود نیتروژن به صورت انواع کودهای شیمیایی در جهان مصرف می شود. در ایران نیز از ۴/۲ میلیون تن کود مصرفی بیش از ۶۰ درصد آن را کود نیتروژنی تشکیل می دهد و متاسفانه کارایی مصرف آن به ندرت از ۳۰ درصد تجاوز می کند (ملکوتی و همای ۲۰۰۴). پژوهشهای اخیر نشان داده است که استفاده از کودهای آلی به جای کودهای شیمیایی می تواند موجب افزایش محصول و جلوگیری از آلودگیهای زیست محیطی و افزایش کارایی مصرف آب گردد. استفاده از مواد آلی پایدار مانند بیوچار می تواند یک ایده مناسب برای افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود تولید محصولات کشاورزی و کارایی مصرف عناصر غذایی در این مناطق باشد. بیوچار یا زغال زیستی یک ماده غنی از کربن است که از زیست توده های مختلف طی فرایند پیرولیز تهیه می شود. با توجه به ویژگیهای بیوچار به عنوان یک اصلاحگر و بهبود دهنده کیفیت خاک تصور بر این است که باعث بهبود کیفیت محصول نیز خواهد شد. بیوچار با تأثیر مثبت بر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک و بهبود شاخصهای کیفیت خاک در تعدیل تنش کم آبی نقش مهمی ایفا می کند. بیوچار به عنوان عاملی برای ذخیره آب در مواقع خشکسالی به ویژه در خاکهای شنی مطرح است. وانگ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که بیوچار با افزایش ظرفیت نگهداری آب توسط خاک و در نتیجه آب قابل استفاده بوته سبب بهبود رشد بوته در شرایط کم آبی شد. همچنین این ماده نقش مهمی در کربن اندوزی در خاک و کاهش گرمایش جهانی ایفا می کند. با وجود مدت زمان کوتاه پژوهشهای انجام شده در مورد بیوچار، مشخص شده است که این ماده بر چرخه همه عناصر از جمله نیتروژن تأثیرگذار است. همچنین، این اثر قطعاً به نوع خاک، اقلیم و بوته بستگی دارد (لهمان و همکاران ۲۰۱۱). گزارش شده است که با افزودن بیوچار حاصل از کودهای دامی به خاکهای مزارع کشاورزی

بیوچارهای تولید شده از زیست توده‌ها و شرایط دمایی مختلف بر تحرک و فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در خاک‌های آهکی ایران که عموماً دچار کمبود ماده آلی هستند مورد بررسی قرار گیرد. در همین راستا تأثیر مصرف توأم بیوچار و نیتروژن بر برخی خصوصیات زراعی و کارایی مصرف آب در بوته کلزا در شرایط تنش کم‌آبی هدف پژوهش حاضر بود.

### مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه در این پژوهش از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری یک مزرعه در ایستگاه تحقیقاتی کرکج دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز به صورت مرکب تهیه شد که پس از هوا خشک کردن و کوبیدن، مقداری از آن از الک دو میلی‌متری برای اندازه‌گیری خصوصیات خاک و از الک ۴/۷۶ سانتی‌متر برای پر کردن گلدان‌ها و کاشت بوته عبور داده شد. برای تعیین رطوبت معادل ظرفیت مزرعه (FC) از دستگاه صفحات فشاری در مکش ۳۰ کیلوپاسکال (۰/۳ بار) استفاده گردید (بلک و ایوانس ۱۹۶۵). برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند بافت خاک به روش هیدرومتری چهار زمانه (گی و بادر ۱۹۸۶)، کربن آلی به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز ۱۹۸۲)، غلظت قابل‌جذب عناصر غذایی کم‌مصرف کاتیونی (آهن، روی، مس و منگنز) به روش DTPA (لیندزی و نورول ۱۹۷۸)، نیتروژن کل به روش میکروکلدال (جونز ۲۰۰۱)، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن (اولسن و سامرز ۱۹۸۲)، پتاسیم قابل‌جذب با استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیوم (جونز ۲۰۰۱)، pH در گل اشباع (رودز ۱۹۹۶) و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع (توماس ۱۹۹۶) تعیین شدند (جدول ۱).

کاهش بارزی در آبشویی عناصر غذایی مانند نیتروژن به‌ویژه در خاک‌های شنی و اقلیم‌های مرطوب ایجاد می‌شود و بیوچار می‌تواند به‌طور آهسته نیتروژن غیر متحرک را آزاد و در دسترس بوته قرار دهد (تقی‌زاده طوسی و همکاران ۲۰۱۲). قربانی و همکاران (۲۰۲۲) برهمکنش بین بیوچار، کودهای شیمیایی، زیستی و نیتروژن را بررسی و گزارش کردند که بیوچار با کود اوره، کمپوست و کود سبز (لگوم) برهمکنش هم‌افزایی داشت؛ به‌طوری که کاربرد بیوچار همراه با هر یک از کودهای اوره، کمپوست و کود سبز توانست جذب نیتروژن توسط بوته گندم و عملکرد آن را در مقایسه با کاربرد کود اوره، کمپوست و یا کود سبز به‌صورت تنها افزایش دهد. اخیراً عظیم‌زاده (۲۰۲۳) در یک مطالعه مروری چنین نتیجه گرفت که بیوچار دارای سطوح با بار الکتریکی منفی بوده و می‌تواند یون‌های آمونیوم و مولکول‌های آلی کوچک دارای نیتروژن را جذب و نگهداری کند. همچنین، با رهاسازی مقادیری نیتروژن به خاک و با تغییر نسبت کربن به نیتروژن می‌تواند تعادل معدنی شدن - آلی شدن نیتروژن را در خاک تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر آن، بیوچار با تغییر pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت هدایت الکتریکی، فعالیت زیستی، فراهمی عناصر غذایی، تخلخل و تهویه به‌طور غیرمستقیم چرخه و پویایی نیتروژن را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نهایت عظیم‌زاده (۲۰۲۳) چنین نتیجه‌گیری کردند که بیوچار با نیتروژن دارای برهمکنش هم‌افزایی بوده و می‌تواند میزان مصرف کودهای نیتروژنی را کاهش دهد.

### هدف پژوهش

تغییرات در چرخه نیتروژن در خاک با افزودن بیوچار به خاک، به‌ویژه خاک‌های آهکی هنوز به‌خوبی مشخص نشده و پژوهش‌های بیشتری نیاز است تا تأثیر

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این پژوهش.

| بافت خاک | شن | سیلت | رس | OC (%) | CaCO <sub>3</sub> -eq | FC | pH | EC (dS m <sup>-1</sup> ) |
|----------|----|------|----|--------|-----------------------|----|----|--------------------------|
|          |    |      |    |        |                       |    |    |                          |

ادامه جدول ۱

| منگنز                  | مس  | روی | آهن | پتاسیم | فسفر | نیتروژن                 |
|------------------------|-----|-----|-----|--------|------|-------------------------|
| (mg kg <sup>-1</sup> ) |     |     |     |        |      | (g 100g <sup>-1</sup> ) |
| ۸/۴                    | ۱/۱ | ۰/۵ | ۴/۳ | ۱۸۰/۵  | ۴/۸  | ۰/۱۳                    |

دماى ۳۰۰ درجه سلسیوس (با سرعت انتقال گرمای ۱۰ درجه سلسیوس در هر دقیقه) به مدت یک ساعت نگهداری شد. پس از رساندن دمای کوره حاوی بیوچار به‌طور تدریجی به دمای اتاق، بیوچار تولیدی از کوره خارج و از الک یک میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار از جمله غلظت عناصر کربن، هیدروژن و نیتروژن با استفاده از دستگاه CHN Elemental Analyzer (Carlo-Erba NA-1500)، قابلیت هدایت الکتریکی و pH در نسبت ۱:۱۰ بیوچار به آب (سونگ و گو ۲۰۱۲)، فسفر و پتاسیم کل به روش هضم در اسید (اسید کلریدریک و اسید نیتریک) (اولسن و سامرز ۱۹۸۲ و جونز ۲۰۰۱)، درصد خاکستر و عملکرد بیوچار بر طبق (سونگ و گو ۲۰۱۲) تعیین شدند (جدول ۲).

کاه گندم از ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان دانشگاه تبریز تهیه و برای حذف مواد زائد و گرد و غبار، ابتدا با آب شهری شستشو و سپس در داخل آب مقطر قرار داده شد و به‌منظور همگن‌سازی نمونه‌ها پس از خشک شدن، به‌وسیله آسیاب خرد و از الک یک میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های کاه گندم مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ آمده است.

برای تولید بیوچار، ابتدا مواد اولیه در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت آون خشک شدند (دونگ و همکاران ۲۰۱۱). سپس نمونه‌ها در داخل کوره قرار داده شده و درب آن کاملاً بسته شد تا از ورود اکسیژن جلوگیری شود. گاز آرگون با دبی پنج لیتر بر دقیقه به داخل کوره تزریق شد و شرایط برای انجام فرایند پیرولیز فراهم شد. سپس مواد اولیه بعد از حصول

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کاه گندم و بیوچار مورد استفاده در این پژوهش

| بیوچار | کاه گندم | عناصر اندازه‌گیری شده                      |
|--------|----------|--|
| ۶/۳۱   | ۷/۵      | pH <sub>(1:10)</sub>                       |
| ۴/۴۸   | ۰/۶۸     | EC <sub>(1:10)</sub> (dS m <sup>-1</sup> ) |
| ۲۲/۶۷  | ۱۶/۶     | مقدار خاکستر (درصد)                        |
| ۴۷/۷۳  | ۳۹/۷     | کربن کل (درصد)                             |
| ۲/۲۱   | ۶/۲      | هیدروژن کل (درصد)                          |
| ۷۰/۱۹  | ۶۶/۱     | C/N  |
| -      | ۰/۱۵     | H/C  |
| ۳۷/۴۲  | -        | عملکرد بیوچار (درصد)                       |
| ۰/۶۸   | ۰/۶      | نیتروژن کل (درصد)                          |
| ۱/۱۸   | ۰/۷۹     | فسفر (mg kg <sup>-1</sup> )                |
| ۴۰/۶۵  | ۲/۶۶     | پتاسیم (mg kg <sup>-1</sup> )              |
| ۲۶/۶۸  | ۳/۲۷     | کلسیم (g kg <sup>-1</sup> )                |
| ۵/۸۴   | ۱/۹۲     | منیزیم (g kg <sup>-1</sup> )               |
| ۴۵۰    | ۴۲۰      | آهن (mg kg <sup>-1</sup> )                 |
| ۱۸/۰۹  | ۱۶/۵۹    | روی (mg kg <sup>-1</sup> )                 |
| ۸/۷۱   | ۷/۶۲     | مس (mg kg <sup>-1</sup> )                  |
| ۳۰/۴۴  | ۳۰/۰۵    | منگنز (mg kg <sup>-1</sup> )               |

### طرح آزمایشی

طرح آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور و ۲۰ تیمار در سه تکرار و با مجموع ۶۰ گلدان اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل ماده آلی در پنج سطح (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد از دو منبع کاه گندم و بیوچار حاصل از آن)، نیتروژن در دو سطح (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع اوره) و رطوبت در دو سطح (۵۰ تا ۶۰ و ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC) بود.

سطوح ماده آلی (کاه و بیوچار) این پژوهش بر طبق نتایج سلیمی (۲۰۱۹) انتخاب شدند؛ چرا که وی گزارش کرده بود که سطوح دو و چهار درصد کاه گندم باعث کاهش برخی خصوصیات زراعی بوته کلزا در شرایط گلخانه شد. به خاک با کلاس بافتی لوم شنی، ماده آلی در پنج سطح به همراه ۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات آمونیوم افزوده شد و به مدت ۶۰ روز در دامنه رطوبتی بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد FC و در دمای  $25 \pm 5$  درجه سلسیوس در شرایط گلخانه نگهداری شد تا مواد آلی مصرفی با خاک کاملاً مخلوط شود. بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه‌های رایج کودی، مقدار شش میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن (FeEDDHA)، ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم ( $K_2SO_4$ )، ۲۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک از منبع سوپر فسفات تریپل، ۱۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ )، با در نظر گرفتن وزن خاک هر گلدان (سه کیلوگرم خاک) به صورت محلول موقع کشت مصرف شد. کود نیتروژن در دو سطح (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع اوره) و در سه نوبت در طول دوره رشد (نوبت اول موقع کشت، نوبت دوم ۳۰ روز پس از کشت و نوبت سوم ۵۰ روز پس از کشت بوته) مصرف گردید. نه عدد بذر جوانه‌دار شده کلزا کشت شد. بعد از سبز شدن و اطمینان

از استقرار آنها، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به سه عدد کاهش یافت. رطوبت خاک تا مرحله روزت (چند برگی شدن) بوته‌ها در محدوده ۸۰ تا ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای به روش وزنی نگه داشته شد. بعد از رسیدن بوته‌ها به مرحله روزت تنش کم آبی (۵۰ تا ۶۰ درصد FC) اعمال شد و تا پایان دوره رشد ادامه داده شد. در طول دوره رشد، شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنسج (Hansatech، مدل CL-01)، سطح برگ با استفاده از دستگاه مربوطه (LAM، مدل LI-3100C) ساخت کشور آمریکا، هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرموتور انتشاری AP4 (Porometer (Delta-T Devices, Cambridge, UK) و پتانسیل آب برگ قبل از برداشت بوته توسط محفظه فشاری بین ساعت ۱۲ تا ۱۴ اندازه‌گیری شد. بعد از اتمام دوره رشد (سه ماه)، برخی صفات زراعی همچون ارتفاع بوته، قطر ساقه در محل طوقه، ماده خشک شاخساره، ریشه و دانه، تعداد غلاف، وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب بر اساس نسبت محصول تولید شده به مقدار آب مصرفی اندازه‌گیری شد (کرامر ۱۹۸۳). همچنین، در دانه کلزا درصد روغن به روش سوکسله<sup>۲</sup> اندازه‌گیری شد (اونای و همکاران ۲۰۱۶). تجزیه واریانس با نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و ترسیم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام شدند.

### نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. کلاس بافت خاک مورد استفاده لوم شنی، فقیر از ماده آلی و نیتروژن بود. این نوع کلاس بافت در خاک‌های کشور غالب است. فسفر، آهن و روی قابل جذب نیز کمتر از سطح بحرانی تعیین شده در خاک‌های ایران برای اکثر گیاهان زراعی بود؛ اما از نظر مس و منگنز قابل جذب خاک تقریباً در وضعیت مطلوبی قرار داشت. از

<sup>۱</sup> Leaf area meter

<sup>۲</sup> Soxhlet

قابل جذب عناصر نیز بیوچار مورد استفاده دارای مقداری پتاسیم، فسفر و عناصر کم مصرف به ویژه آهن و روی بود که در خاک‌های آهکی می‌توانند باعث بهبود رشد گیاهان شوند، همچنین، بر اثر حرارت دادن زیست-توده اولیه اندکی آمونیوم و نترات در بیوچار تولید می‌شود که به عنوان نیتروژن قابل جذب بیوچار شناخته می‌شوند (ریحانی‌تبار و همکاران ۲۰۲۰).

### شاخص کلروفیل برگ‌ها

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی، نیتروژن، سطوح رطوبتی و اثر متقابل نیتروژن × رطوبت در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل ماده آلی × رطوبت و ماده آلی × نیتروژن × رطوبت در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص کلروفیل برگ‌ها معنادار بود، اما اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن غیر معنادار بود (جدول ۳).

نظر عنصر پتاسیم نیز برای اکثر گیاهان زراعی به ویژه غلات سطح بحرانی همین عدد ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تعیین شده است. هرچند که برای برخی گیاهان پر نیاز مثل نیشکر و آفتابگردان سطح بحرانی بسیار بیشتر از این عدد می‌باشد (شهبازی و بشارتی ۲۰۱۳). همچنین، خاک مورد استفاده از نظر شوری مشکل نداشت.

برخی ویژگی‌های کاه و بیوچار مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ آمده است. بیوچار حاوی گروه‌های عاملی اسیدی همانند هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم و عامل‌های آلی همانند اسیدهای فنولی است و اگر فلزات قلیایی، قلیایی خاکی در مقادیر کم در بیوچار وجود داشته باشد انتظار می‌رود که pH بیوچار اسیدی قوی باشد (سینگ و لهما ۲۰۱۷). واکنش بیوچار مورد استفاده در این پژوهش نیز اسیدی ضعیف بود که در خاک‌های آهکی و قلیایی ایران یک نوع امتیاز مثبت تلقی می‌شود. البته هدایت الکتریکی آن به دلیل حضور فلزات قلیایی و خاکستر زیادتر از مواد اولیه بود. از نظر شکل

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر ماده آلی، نیتروژن و رطوبت بر شاخص کلروفیل، کارایی مصرف آب، وزن خشک بذر و غلظت روغن

| میانگین مربعات       |                     |                     | شاخص کلروفیل         | درجه آزادی | منابع تغییر                |
|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------|----------------------------|
| غلظت روغن            | ماده خشک بذر        | کارایی مصرف آب      |                      |            |                            |
| ۹۲/۰۵**              | ۰/۹۹۲**             | ۰/۳۲۶**             | ۳۵۰/۷۵**             | ۴          | ماده آلی                   |
| ۳۲۶/۲۹**             | ۲/۰۳۵**             | ۰/۶۶۴**             | ۲۲۲۶/۷۴**            | ۱          | نیتروژن                    |
| ۳۳/۲۱۶ <sup>ns</sup> | ۰/۱۴۳ <sup>ns</sup> | ۰/۱۱۰**             | ۴۵/۲۰۳ <sup>ns</sup> | ۴          | ماده آلی × نیتروژن         |
| ۸۱/۰۶۱*              | ۳۸/۳۸**             | ۰/۰۱۱ <sup>ns</sup> | ۹۶۴۸/۹۷**            | ۱          | رطوبت                      |
| ۶/۸۵۶ <sup>ns</sup>  | ۰/۱۵۲ <sup>ns</sup> | ۰/۱۴۱**             | ۱۱۷/۷۲*              | ۴          | ماده آلی × رطوبت           |
| ۳۰/۱۰۴ <sup>ns</sup> | ۰/۳۷۰*              | ۰/۱۶۷**             | ۳۵۸/۱۹**             | ۱          | نیتروژن × رطوبت            |
| ۴۰/۳۰۷*              | ۰/۲۲۵*              | ۰/۱۰۳**             | ۱۰۶/۲۷*              | ۴          | ماده آلی × نیتروژن × رطوبت |
| ۱۴/۸۹۰               | ۰/۰۶۹               | ۰/۰۱۵               | ۳۸/۸۷                | ۴۰         | خطا                        |
| ۱۵/۵۹                | ۱۶/۳۷               | ۱۱/۵۳               | ۱۱/۲                 |            | ضریب تغییرات (درصد)        |

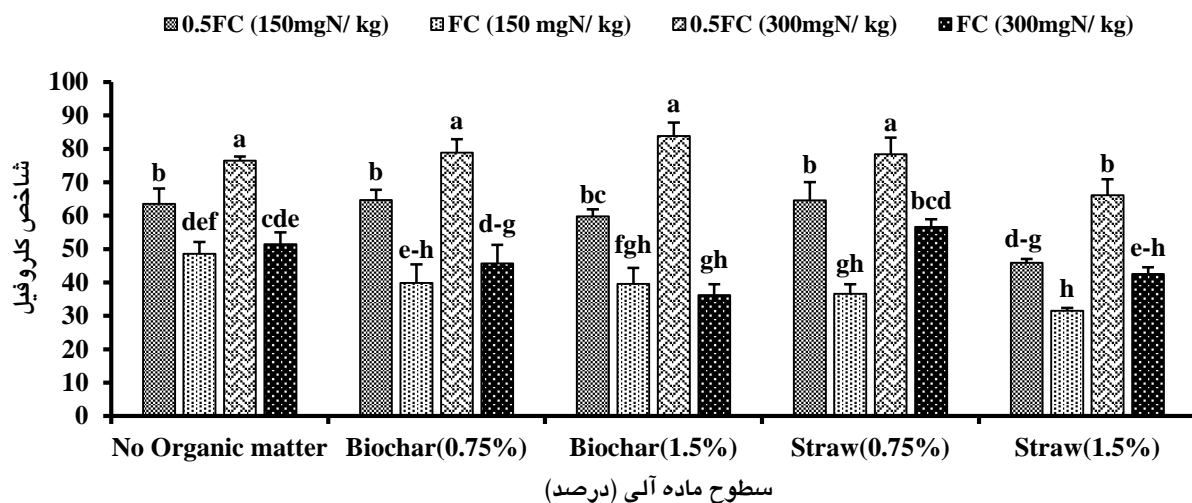
ns, \*\* و \* به ترتیب غیر معنادار، معنادار در سطح احتمال یک و پنج درصد است.

تیمار بدون ماده آلی در همان سطح نیتروژن و رطوبت بیشتر بود. کمترین شاخص کلروفیل نیز مربوط به تیمار ۱/۵ درصد کاه و کلش با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC بود که نسبت به تیمار بدون ماده آلی با ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر

مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × رطوبت، نشان داد که بیشترین میزان شاخص کلروفیل در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC اندازه‌گیری شد که ۱۰ درصد نسبت به

کاهش شاخص کلروفیل برگ به‌عنوان نشانه‌ای از تنش کم‌آبی نیز در محصولات مختلف از قبیل خار مریم و آفتابگردان گزارش شده است که دلیل آن هم اختلال سنتز کلروفیل یا تشدید تجزیه کلروفیل عنوان شده است (بری دمایر و شمید هالتر ۲۰۰۵). در یک بررسی گزارش شد که تنش کم‌آبی سبب افزایش غلظت نیتروژن اندام هوایی اسفناج شد. آنان بیان کردند نیتروژن در

کیلوگرم خاک در سطح رطوبت FC، ۱۶ درصد کاهش نشان داد (شکل ۱). افزایش شاخص کلروفیل برگ‌ها بر اثر تنش کم‌آبی را می‌توان به بیشتر بودن سرعت تشکیل کلروفیل نسبت به سرعت رشد بوته یا وقوع پدیده اثر تغلیظ (افزایش تعداد مولکول‌های کلروفیل در واحد سطح برگ) نسبت داد (مارشور ۲۰۱۱) که با نتایج محمودی و همکاران (۲۰۱۵) در گیاه یونجه مطابقت داشت. البته



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل برای ترکیبات تیماری ماده آلی × نیتروژن × رطوبت

رطوبت ۱۰۰ درصد FC شد. این پژوهشگران گزارش کردند که مصرف بیوپچار کود گاوی سبب افزایش شاخص کلروفیل بوته در شرایط تنش کم‌آبی شد؛ به‌طوری‌که بیشترین شاخص کلروفیل را در تیمار ۵ درصد بیوپچار مصرفی در سطح رطوبت ۵۵ درصد FC گزارش کردند. همچنین، این پژوهشگران بیان کردند که اعمال سطوح تنش کم‌آبی سبب کاهش وزن خشک بوته و در نتیجه افزایش غلظت نیتروژن و شاخص کلروفیل در شاخساره بوته شد. سلیمی (۲۰۱۹) کاهش شاخص کلروفیل برگ را در سطوح دو و چهار درصد بیوپچار و کاه گندم گزارش و بیان کرد که کاهش شاخص کلروفیل در سطوح حاوی کاه بیش‌تر از بیوپچار تهیه شده از آن بود. ایشان دلیل این امر را افزایش رشد بوته و اثر رقت، ناپویا شدن نیتروژن معدنی، کاهش غلظت و جذب نیتروژن و برخی عناصر دیگر گزارش کرد. در پژوهش حاضر نیز بین سطوح بیوپچار و کاه تفاوت معنادار از لحاظ اثر بر شاخص کلروفیل وجود نداشت و یکی از

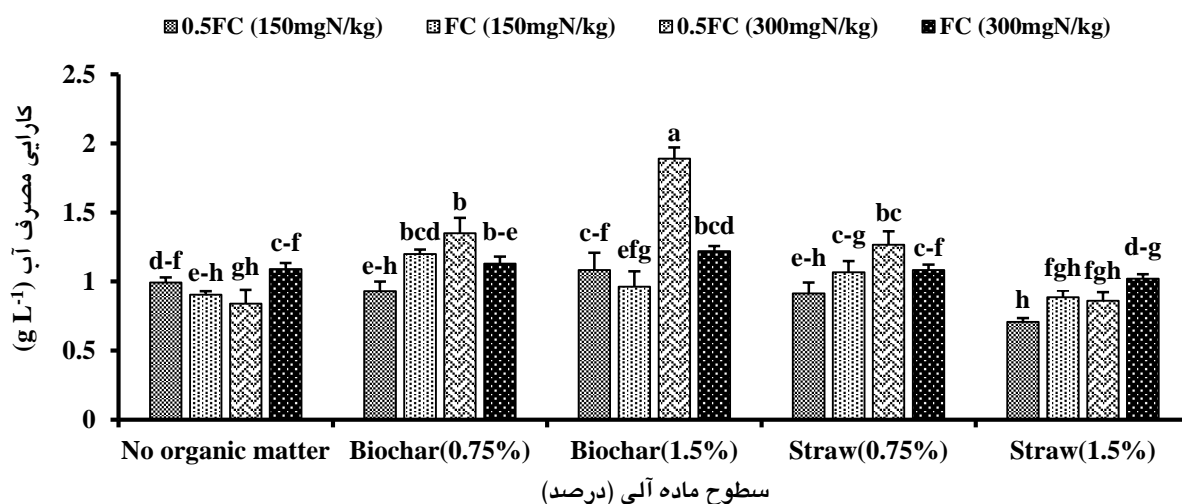
ساختار گیاه و کلروفیل نقش داشته و بین مقدار نیتروژن و کلروفیل همبستگی مثبت وجود دارد. با این‌حال کاربرد بیوپچار سبب افزایش مقدار کلروفیل به‌دلیل تأثیر مثبت آن در جذب عناصر ضروری از جمله منیزیم که جزء مهمی از رنگدانه‌های کلروفیل است، می‌شود (آبر و همکاران ۲۰۱۵). در پژوهشی سان و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی اثر بیوپچار کاه گندم در سطوح مختلف (صفر، ۱، ۳، ۵، ۱۵ و ۳۰ درصد) بر شاخص‌های فیزیولوژیکی بوته ذرت گزارش کردند که بیوپچار در سطوح یک و پنج درصد سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ شد، در حالی‌که سایر سطوح مصرفی (۳، ۱۵ و ۳۰ درصد) سبب کاهش میزان کلروفیل برگ شدند. آنان گزارش کردند که دلایل این امر می‌تواند افزایش رشد گیاه و اثر رقت و ناپویا شدن نیتروژن معدنی خاک باشد. گویلی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که سطوح تنش کم‌آبی (۷۰ و ۵۵ درصد FC) سبب افزایش ۱۱ و ۲۰ درصدی شاخص کلروفیل برگ گیاه سویا نسبت به سطح



## کارایی مصرف آب

کارایی مصرف آب بر اساس نسبت محصول تولید شده به مقدار آب مصرفی تعریف و محاسبه می‌شود. نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که به جز اثر اصلی سطوح رطوبتی سایر اثرات اصلی و متقابل در سطح احتمال یک درصد معنادار بودند (جدول ۳).

دلایل این نتیجه نسبت به پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) احتمالاً کاهش سطح مقدار ماده آلی مصرفی می‌باشد. با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که شاخص کلروفیل برگ با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی در تمام سطوح ماده آلی افزایش یافت که با توجه به نقش نیتروژن در ساختمان کلروفیل کاملاً مورد انتظار بود (مارشدر ۲۰۱۱).



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های کارایی مصرف آب برای ترکیبات تیماری ماده آلی × نیتروژن × رطوبت

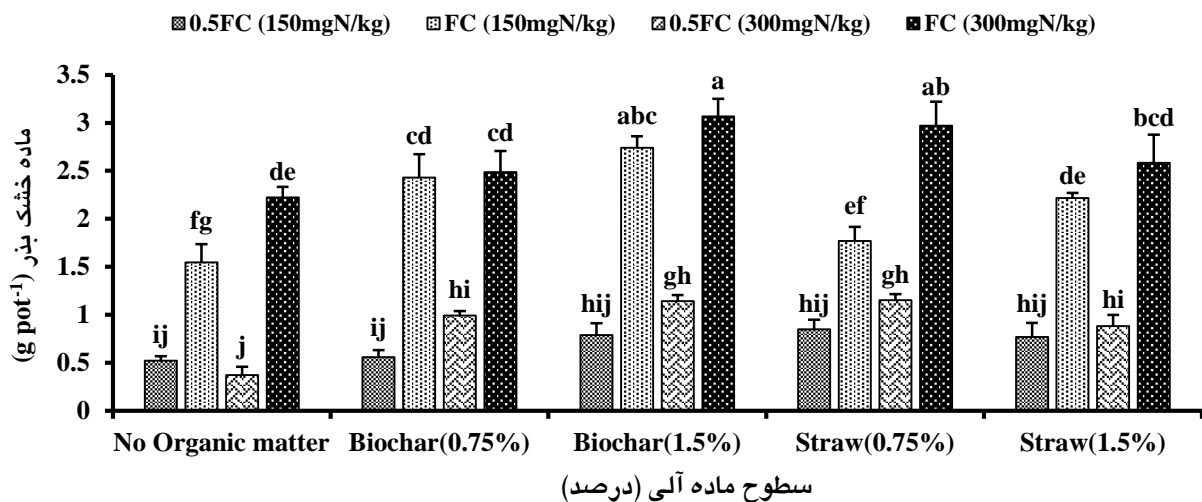
عملکرد می‌شود ولی روند کاهش مصرف آب ممکن است بیش از کاهش عملکرد باشد و این موضوع سبب افزایش کارایی مصرف آب شود (حسنی و همکاران ۲۰۰۹). با این حال، نجفی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که با کاهش مقدار رطوبت خاک، کارایی مصرف آب به وسیله گیاه یونجه کاهش یافت، زیرا مقدار کاهش ماده خشک بوته در شرایط تنش خشکی بیشتر از مقدار کاهش آب مصرفی بود. نتیجه مشابهی به وسیله مطلبی فرد و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شد. گویلی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که افزودن بیوچار تولید شده از کود گاوی در دو سطح ۱/۲۵ و ۲/۵ درصد در شرایط تنش کم‌آبی سبب افزایش کارایی مصرف آب در سویا شد، در حالی که افزایش مقدار بیوچار مصرفی به ۵ درصد به دلیل افزایش شوری خاک سبب کاهش کارایی مصرف آب گردید. سلیمی (۲۰۱۹) افزایش معنادار کارایی مصرف آب را با کاربرد دو و چهار درصد بیوچار در بوته کلزا را گزارش کرد. در شرایط این پژوهش گلدانی با افزایش میزان نیتروژن مصرفی

مقایسه میانگین‌های کارایی مصرف آب برای اثر متقابل سه جانبه ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی برای کارایی مصرف آب نشان داد که اثر هر یک از تیمارها بستگی به دو تیمار دیگر داشت. بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد حاصل شد. کمترین کارایی مصرف آب نیز در تیمار ۱/۵ درصد کاه با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC به دست آمد (شکل ۲). و فابخش و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی اثر تنش آبی بر کارایی مصرف آب در کلزا گزارش کردند که با افزایش شدت تنش، کارایی مصرف آب افزایش یافت؛ به طوری که آنان بیشترین کارایی مصرف آب را در تیمار ۵۵ درصد FC و کمترین مقدار را در تیمار ۱۰۰ درصد FC گزارش کردند. این پژوهشگران بیان کردند که اثر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب در کلزا به نوع رقم بوته بستگی داشت و نقش رقم در زراعت کلزا در شرایط تنش خشکی مهم به نظر می‌رسد. ایجاد تنش کم‌آبی باعث کاهش

### ماده خشک بذر

در شرایط این تحقیق اثر اصلی ماده آلی، نیتروژن و سطوح رطوبتی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل نیتروژن × سطوح رطوبتی و ماده آلی × نیتروژن × رطوبت در سطح احتمال پنج درصد بر ماده خشک بذر معنادار ولی سایر اثرات متقابل غیرمعنادار بودند (جدول ۳).

کارایی مصرف آب افزایش یافت که می‌توان دلیل این امر را افزایش رشد ریشه و بهبود جذب آب و عناصر غذایی به وسیله بوته بیان کرد. همچنین، سلیمی (۲۰۱۹) افزایش معنادار کارایی مصرف آب را با کاربرد بیوپچار گندم در بوته کلزا را گزارش کرد.



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های ماده خشک بذر برای ترکیبات تیماری ماده آلی × نیتروژن × رطوبت

آن را می‌توان بهبود جذب آب و عناصر توسط بیوپچار بیان کرد. خالصی و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی تأثیر بیوپچار و نیتروژن بر برخی صفات ذرت در شرایط تنش کم‌آبی، گزارش کردند هنگامی که بیوپچار و نیتروژن با هم استفاده می‌شوند افزایش معناداری در ماده خشک بذر نسبت به کاربرد تنهایی نیتروژن ایجاد می‌شود. آنان دلیل این برهمکنش مثبت را به افزایش کارایی کود نیتروژن توسط بیوپچار که نتیجه کاهش هدر روی نیتروژن به دلیل افزایش CEC خاک است نسبت دادند. همچنین، بیان کردند که تنش کم‌آبی از طریق تأثیر بر میزان باز بودن روزنه‌ها و فعالیت آنزیم‌ها بر تولید مواد فتوسنتزی تأثیرگذار بوده و موجب چروکیدگی و کاهش ماده دانه می‌گردد. پورمنصور و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی تأثیر بیوپچار و کم‌آبیاری بر ماده خشک بذر باقلا گزارش کردند که بیوپچار گندم در مقادیر کم (۲۵ تن در هکتار) سبب افزایش ماده خشک بذر می‌شود، در

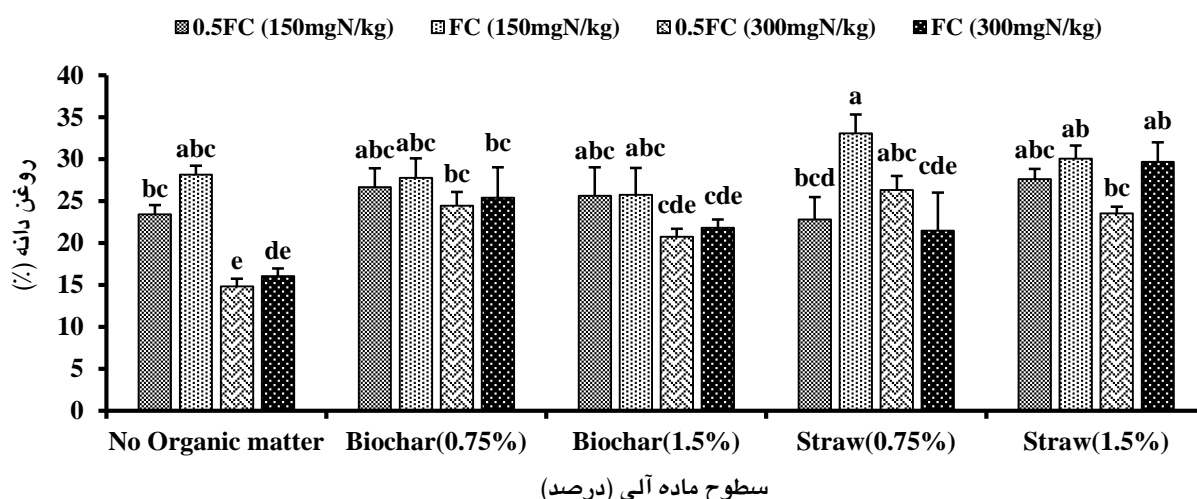
مقایسه میانگین‌های ماده خشک بذر برای اثر متقابل سه جانبه ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین ماده خشک بذر در تیمار ۱/۵ درصد بیوپچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC به دست آمد. هر چند که با تیمار ۱/۵ درصد بیوپچار با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC و ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC تفاوت معناداری نداشت. کمترین میزان ماده خشک بذر نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC مشاهده شد که نشان دهنده عدم کارایی کود نیتروژن در شرایط تنش آبی و عدم مصرف ماده آلی می‌باشد (شکل ۳). همانند نتایج سلیمی (۲۰۱۹) در این پژوهش گلدانی نیز مصرف بیوپچار سبب افزایش معنادار وزن خشک بذر شد که دلیل

تنش کم آبی منجر به کاهش درصد روغن می‌گردد. افزایش نیتروژن سبب طولانی‌تر شدن نمو خورجین شده در نتیجه دانه از رسیدن به بلوغ کامل باز مانده و غلظت روغن کاهش می‌یابد. بر طبق نتایج حاصله اثر اصلی ماده آلی و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی رطوبت و اثر متقابل ماده آلی  $\times$  نیتروژن  $\times$  رطوبت در سطح احتمال پنج درصد بر درصد روغن دانه معنادار شدند ولی اثر متقابل دو جانبه غیرمعنادار بودند (جدول ۳).

حالی که با افزایش مقدار آن (۸۰ تن در هکتار) به دلیل افزایش شوری خاک سبب کاهش رشد بوته و در نتیجه کاهش ماده خشک بذر می‌شود. شبان و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند که افزودن ۴۰ تا ۸۰ تن در هکتار بیوجار در خاک سبب افزایش ماده خشک گندم شد.

### غلظت روغن دانه

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی کلزا درصد روغن دانه است. روغن با ارزش‌ترین جزء دانه است که دارای مصارف صنعتی و خوراکی است. آبیاری مطلوب می‌تواند باعث افزایش روغن دانه در گیاه شود، درحالی که



شکل ۴- مقایسه میانگین‌های غلظت روغن دانه برای ترکیبات تیماری ماده آلی  $\times$  نیتروژن  $\times$  رطوبت

کاهش یافت، زیرا با افزایش مقدار نیتروژن در محیط کشت بوته، پیش زمینه‌های پروتئینی نیتروژن دار بیشتر سنتز شده و مواد در دسترس برای سنتز اسیدهای چرب کاهش یافته و در نتیجه غلظت روغن دانه کم می‌شود. فرجی و صادقی (۲۰۱۳) بیان کردند که تنش کم آبی باعث افزایش مقدار پروتئین و کاهش درصد روغن دانه کلزا گردید. همچنین با بررسی نتایج اثر متقابل نیتروژن و تنش کم آبی مشاهده کردند که درصد روغن دانه کاهش یافت، اما این کاهش معنادار نبود.

### ماده خشک شاخساره

یکی از مهم‌ترین صفات زراعی وزن ماده خشک شاخساره است. مقایسه میانگین‌های ماده خشک

با توجه به مقایسه میانگین‌های روغن دانه برای اثر متقابل ماده آلی  $\times$  نیتروژن  $\times$  سطوح رطوبتی در شکل ۴ مشاهده می‌شود که بیشترین درصد روغن در تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC و کمترین درصد روغن نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC به‌دست آمد (شکل ۴). در این پژوهش نیز همانند پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) بین کاه گندم و بیوجار حاصله به رغم تفاوت کمیت مصرفی از لحاظ اثر بر درصد روغن دانه تفاوت معنادار مشاهده نشد. نوراله خان و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی، عملکرد دانه افزایش ولی درصد روغن دانه

بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC اندازه‌گیری شد. این موضوع نشان می‌دهد در شرایط تنش آبی و عدم مصرف ماده آلی، کود نیتروژن از کارایی لازم برخوردار نبوده است (جدول ۴). در جدول ۴ مشاهده می‌شود که با اعمال تنش کم آبی وزن ماده خشک شاخساره در تیمار بدون ماده آلی نسبت به سایر سطوح ماده آلی کمتر

شاخساره برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین وزن ماده خشک شاخساره در تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC به دست آمد، ولی با برخی تیمارهای دیگر همچون تیمار ۱/۵ درصد کاه، بیوچار ۰/۷۵ درصد و بیوچار ۱/۵ درصد در همان سطح نیتروژن و رطوبت اختلاف آماری معنادار نداشت. کمترین مقدار ماده خشک نیز در تیمار

جدول ۴- مقایسه میانگین ترکیب تیماری برخی صفات زراعی تحت تاثیر فاکتورهای مورد مطالعه

| عامل                           | سطوح                                 | ماده خشک شاخساره (g pot <sup>-1</sup> ) | ماده خشک ریشه (g pot <sup>-1</sup> ) | ارتفاع گیاه (cm)   | قطر ساقه (mm)      | سطح برگ (cm <sup>2</sup> pot <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|--------------------|--------------------|--|
|                                | .                                    | ۴/۳۸۸ <sup>c</sup>                      | ۰/۴۴۷۵ <sup>b</sup>                  | ۳۶/۶۹ <sup>b</sup> | ۳/۰۴ <sup>b</sup>  | ۱۳/۰۷ <sup>c</sup>                           |
| ماده آلی (درصد)                | B (۰/۷۵)                             | ۶/۰۰۷ <sup>ab</sup>                     | ۰/۶۳۳۳ <sup>ab</sup>                 | ۳۹/۵۰ <sup>b</sup> | ۳/۵۱ <sup>a</sup>  | ۱۶/۳۱ <sup>b</sup>                           |
|                                | B (۱/۵)                              | ۶/۲۶۹ <sup>ab</sup>                     | ۰/۶۸۷۵ <sup>ab</sup>                 | ۳۸/۹۷ <sup>b</sup> | ۳/۵۲ <sup>a</sup>  | ۱۶/۵۴ <sup>b</sup>                           |
|                                | St (۰/۷۵)                            | ۶/۴۲۷ <sup>a</sup>                      | ۰/۷۱۹۳ <sup>a</sup>                  | ۴۴/۷۲ <sup>a</sup> | ۳/۴۷ <sup>a</sup>  | ۱۹/۴۴ <sup>a</sup>                           |
|                                | St (۱/۵)                             | ۵/۵۴۹ <sup>b</sup>                      | ۰/۶۱۵۸ <sup>b</sup>                  | ۴۴/۹۳ <sup>a</sup> | ۳/۳۳ <sup>ab</sup> | ۱۶/۱۵ <sup>b</sup>                           |
| نیتروژن (mg kg <sup>-1</sup> ) | ۱۵۰                                  | ۵/۳۷۷ <sup>b</sup>                      | ۰/۵۵۲ <sup>b</sup>                   | ۳۷/۲۸ <sup>b</sup> | ۳/۱۳ <sup>b</sup>  | ۱۴/۹۱ <sup>b</sup>                           |
|                                | ۳۰۰                                  | ۶/۰۸۰ <sup>a</sup>                      | ۰/۶۸۸ <sup>a</sup>                   | ۴۴/۲۷ <sup>a</sup> | ۳/۶۲ <sup>a</sup>  | ۱۷/۷۳ <sup>a</sup>                           |
| رطوبت (درصد)                   | FC <sub>0.5</sub> -FC <sub>0.6</sub> | ۳/۹۹۴ <sup>b</sup>                      | ۰/۵۵۲ <sup>b</sup>                   | ۳۱/۴۲ <sup>b</sup> | ۳/۲۳ <sup>b</sup>  | ۱۴/۹۴ <sup>b</sup>                           |
|                                | FC <sub>0.85</sub> -FC               | ۷/۴۶۳ <sup>a</sup>                      | ۰/۶۸۹ <sup>a</sup>                   | ۵۰/۱۴ <sup>a</sup> | ۳/۵۲ <sup>a</sup>  | ۱۷/۷۰ <sup>a</sup>                           |

در هر ستون اعداد با حروف یکسان از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معناداری ندارند

افزایش دسترسی عناصر غذایی در خاک باشد. همچنین، کاهش وزن ماده خشک شاخساره با افزایش بیوچار مصرفی را به افزایش شوری خاک در سطوح بالای بیوچار نسبت دادند. افزایش مصرف نیتروژن سبب افزایش جذب آن توسط بوته و در نتیجه سبب بهبود رشد می‌شود (ضابط و همکاران ۲۰۱۴). کاهش رشد شاخساره بوته یونجه بر اثر کاهش مقدار آب خاک و وقوع تنش خشکی در بوته یونجه به وسیله نجفی و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش شده است. ضابط و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که تنش کم آبی سبب کاهش وزن خشک شاخساره ارزن می‌شود، در حالی که افزایش نیتروژن خاک تا حدودی این کاهش را جبران و با افزایش میزان نیتروژن خاک وزن خشک شاخساره افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش نشان داد که با اعمال تنش کم آبی رشد بوته و در نتیجه ماده خشک شاخساره

است. ملا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که افزودن ۱۵ تن بیوچار به خاک سبب افزایش ماده خشک شاخساره بوته تاج خروس شد. شبان و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی سطوح مختلف بیوچار در شرایط گلخانه‌ای گزارش کردند که افزودن ۴۰ تن در هکتار سبب افزایش کارایی مصرف آب و وزن ماده خشک شاخساره گندم شد. همچنین، آنان گزارش کردند که افزایش سطح بیوچار مصرفی (۸۰ تن در هکتار) به دلیل افزایش شوری سبب کاهش وزن خشک بوته شد. گویلی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که مصرف ۱/۲۵ درصد بیوچار کود گاوی در شرایط تنش کم آبی سبب افزایش معنادار وزن خشک بوته سویا شد، در حالی که با مصرف ۲/۵ درصد بیوچار وزن ماده خشک بوته کاهش یافت. این پژوهشگران بیان کردند که افزایش ماده خشک شاخساره بوته بر اثر کاربرد بیوچار می‌تواند به دلیل

۶۰ درصد FC مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که تیمارهای بیوچار و کاه و کلش با افزایش میزان نیتروژن مصرفی سبب افزایش در ماده خشک ریشه بوته نسبت به تیمار بدون ماده آلی شده‌اند. همچنین در شرایط تنش کم‌آبی وزن خشک ریشه کاهش یافت ولی مصرف ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد بیوچار و ۰/۷۵ درصد کاه سبب افزایش وزن ماده خشک ریشه در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به تیمار بدون ماده آلی شد. ابراهیم و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثر بیوچار و کودهای شیمیایی (NPK) در شرایط تنش کم‌آبی بر عملکرد گندم گزارش کردند که بیوچار سبب افزایش ماده خشک ریشه شد. در پژوهشی شعبان و همکاران (۲۰۱۳) اثر تنش کم‌آبی و کود نیتروژن بر خصوصیات ریشه خود را بررسی و گزارش کردند که تنش کم‌آبی سبب کاهش ماده تر و خشک ریشه شد، در مقابل سطوح نیتروژن مصرفی با افزایش رشد و توسعه ریشه سبب افزایش ماده خشک ریشه شد. از نتایج قابل توجه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود این است که هر دو تیمار کاه و بیوچار مصرفی در هر دو سطح مصرفی (۰/۷۵ و ۱/۵ درصد) با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در سطح رطوبت FC سبب افزایش قابل توجه ماده خشک ریشه نسبت به تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن مصرفی شده‌اند. بر خلاف نتایج سلیمی (۲۰۱۹) در این پژوهش با توجه به سطوح مصرفی، تیمار کاه تقریباً همانند تیمار بیوچار عمل کرده و هر چهار سطح ماده آلی سبب افزایش وزن خشک ریشه نسبت به تیمار عدم مصرف ماده آلی شده‌اند.

#### ارتفاع بوته

مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × رطوبت نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC برابر با ۶۲/۸ سانتی‌متر بود و کمترین ارتفاع بوته نیز مربوط به تیمار ۰/۷۵ درصد بیوچار با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC

کاهش یافت (جدول ۴). اثر تنش آبی بر توسعه سلولی آشکارتر از تقسیم سلولی است زیرا بزرگتر شدن سلول به دنبال فشار تورژسانس ناشی از جذب آب است. لذا هر گونه کاهش در مقدار آب موجب توقف رشد و کاهش وزن بوته می‌شود (جوادی و جعفری ۲۰۱۶). سلیمی (۲۰۱۹) گزارش کرد که بیشترین ماده خشک شاخساره کلزا در سطح چهار درصد بیوچار و کمترین آن نیز در تیمار چهار درصد کاه به دست آمد. با مقایسه نتایج پژوهش حاضر که سطوح کاه و بیوچار ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد بودند با نتایج سلیمی (۲۰۱۹) که سطوح کاه و بیوچار ۲ و ۴ درصد بودند اثر مقدار مصرف بیوچار و کاه بر این صفت مهم مشخص می‌شود. سلیمی (۲۰۱۹) برای تاثیر منفی کاه دلایلی همچون تولید اسیدهای آلی با جرم مولکولی بالا (اسیدهای فولیک) بر اثر تجزیه را عنوان کرد. این اسیدها در غلظت کم برای رشد طولی ریشه مفید اما در غلظت‌های زیاد از رشد ریشه جلوگیری می‌کنند. همچنین، ایجاد شرایط بی‌هوایی یا بی‌هوایی موضعی در خاک به هنگام تجزیه کاه و تولید اسیدهای فنولیک، آلیفاتیک و اسیدهای چرب، اختلال در تنفس ریشه و اختلال در تشکیل تارهای کشنده از عواقب مصرف زیاد کاه عنوان شده است (مارشور ۲۰۱۱). برخلاف پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) با کاهش سطح مصرف کاه از دو و چهار درصد به ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد در این پژوهش، مشاهده شد که اثرات مثبت تجزیه کاه در حضور نیتروژن کافی همانند افزایش فعالیت میکروبی و احتمالاً فعالیت آنزیم‌های خاک بر اثرات منفی غلبه کرده و کاه تأثیر مثبتی بر ماده خشک شاخساره داشته است.

#### ماده خشک ریشه

مقایسه میانگین‌های ماده خشک ریشه برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین ماده خشک ریشه در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC به دست آمد. همچنین، کمترین ماده خشک ریشه نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا

نیترژن در هکتار و بیشترین درصد اسانس بوته مربوط به سطح دارای تنش کم آبی و مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم نیترژن بر کیلوگرم خاک بود. در مطالعه‌ای دیگر گویلی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که بیوچار کود گاوی (۱/۲۵ درصد) در شرایط تنش کم آبی سبب افزایش ارتفاع بوته سویا شد، درحالی‌که با افزایش میزان مصرف بیوچار (۵ درصد) ارتفاع بوته نسبت به شاهد کاهش یافت. این پژوهشگران دلیل کاهش ارتفاع بوته در سطح ۵ درصد بیوچار را افزایش شوری خاک بیان کردند.

#### قطر ساقه در محل طوقه

یکی از صفات مهم کلزا که در پایداری آن و جلوگیری از خوابیدگی بوته مهم است، قطر ساقه است. مقایسه میانگین‌های قطر ساقه برای اثر متقابل ماده آلی × نیترژن × رطوبت نشان داد که بیشترین قطر ساقه برابر با ۳/۹۹ میلی‌متر در تیمار ۰/۷۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیترژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC حاصل شد. کمترین قطر ساقه برابر با ۲/۵۵ میلی‌متر در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیترژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به جدول ۴ بدون در نظر گرفتن سطوح رطوبتی مشاهده می‌شود که بیشترین قطر ساقه در تیمار ۰/۷۵ درصد بیوچار به همراه ۳۰۰ میلی‌گرم نیترژن بر کیلوگرم خاک حاصل شده است و کاهش در مقدار نیترژن مصرفی منجر به کاهش قطر ساقه گردیده است. همچنین، مشاهده می‌شود که تنش کم آبی سبب کاهش در قطر ساقه بوته شده است، درحالی‌که بیوچار مصرفی منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب قابل استفاده در خاک شده و در نتیجه سبب افزایش قطر ساقه شده است. سان و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه تأثیر بیوچار حاصل از کاه ذرت در یک خاک اسیدی بر رشد و عملکرد ذرت گزارش کردند که کاربرد پنج درصد بیوچار سبب افزایش ۳۸ درصدی قطر ساقه بوته نسبت به تیمار بدون ماده آلی شد. خالصی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که در شرایط تنش کم آبی قطر ساقه بوته ذرت کاهش یافت، درحالی‌که کاربرد بیوچار حاصل از چوب درخت توت سبب افزایش قطر ساقه ذرت شد. آنان

به‌دست آمد (جدول ۴). سلیمی (۲۰۱۹) افزایش معنادار ارتفاع بوته را در سطوح دو و چهار درصد بیوچار حاصل از کاه گندم نسبت به سطوح کاه گزارش کرد. در پژوهش گلخانه‌ای حاضر با توجه به کاهش درصد ماده آلی مصرفی نسبت به پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) ارتفاع بوته در تیمارهای کاه بیشتر بود و به‌جز تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیترژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC بین سایر سطوح بیوچار و کاه تفاوت معنادار وجود نداشت. اعمال تنش کم آبی با کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود و به‌طور کلی در بسیاری از بوته‌ها تنش کم آبی سبب تأخیر در طویل شدن ساقه می‌شود که این امر سبب کاهش فاصله میان گره‌ها و در نتیجه کاهش ارتفاع بوته می‌شود که با نتایج مارکاریان و همکاران (۲۰۱۶) در یونجه مطابقت داشت. در مطالعه‌ای سان و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد بیوچار کاه ذرت در سطح یک و پنج درصد سبب افزایش ارتفاع بوته ذرت شد. صالحی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که مصرف کاه گندم به میزان ۱/۵ تا ۳ تن در هکتار باعث افزایش تثبیت زیستی نیترژن و افزایش ارتفاع بوته لوبیا شد، درحالی‌که افزایش مقدار مصرفی کاه به ۴/۵ تن در هکتار به دلیل افزایش نسبت C/N سبب کاهش تثبیت زیستی نیترژن شد. آگینا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که مصرف بیوچار کاه گندم در خاک آهکی طی دو فصل زراعی سبب افزایش ارتفاع بوته گوجه فرنگی شد، اما اثر متقابل بیوچار و رطوبت غیرمعنادار بود. همچنین، گزارش کردند که در طی فصل دوم ارتفاع و رشد بوته کمتر از فصل اول بود. نتایج نشان داده است که سطح رطوبت بهینه در خاک سبب پویایی نیترژن در خاک شده و سبب جذب بهتر آن توسط بوته می‌شود (برکات و همکاران ۲۰۱۶). جهانشاهی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی اثر نیترژن و کم آبی بر ارتفاع بوته بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) گزارش کردند که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به سطح بدون تنش و مصرف ۵۰ کیلوگرم

افزایش قطر ساقه با کاربرد بیوچار را به دلیل ساختار متخلخل بیوچار و جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی و در نتیجه کاهش اثرات تنش کم آبی اعلام کردند. درگاهی و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی اثر کود نیتروژن و تنش خشکی در بوته ذرت گزارش کردند که تنش کم آبی سبب کاهش قطر ساقه بوته ذرت شد، درحالی که اثر نیتروژن بر قطر ساقه غیرمعنادار شد. این پژوهشگران بیان کردند که در شرایط تنش کم آبی جذب مواد و عناصر غذایی کاهش یافته و در نتیجه سبب کاهش رشد بوته می شود و با محدود شدن رشد بوته در شرایط کمبود آب، ارتفاع، قطر ساقه، وزن دانه و تعداد شاخه های فرعی بوته کاهش می یابد. همانند پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) که افزایش قطر ساقه کلزا را با کاربرد سطوح دو و چهار درصد بیوچار گزارش کرد، در این پژوهش نیز بیوچار سبب افزایش قطر ساقه در محل طوقه بوته شد.

#### سطح برگ

سطح برگ می تواند بر میزان ماده خشک تولید شده در طول فصل رشد تأثیر زیادی داشته باشد. مقایسه میانگین های سطح برگ برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × رطوبت نشان داد که بیشترین سطح برگ در تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC مشاهده شد. کمترین سطح برگ نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۱۵۰ میلی گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC مشاهده شد (جدول ۴). در جدول ۴ مشاهده می شود که با اعمال تنش کم آبی سطح برگ بوته کاهش یافت، درحالی که مصرف بیوچار در هر دو سطح (۰/۷۵ و ۱/۵ درصد) و کاه در سطح ۰/۷۵ درصد سبب افزایش سطح برگ نسبت به تیمار بدون ماده آلی شد. نکته قابل توجه در جدول ۴ این است که تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC سبب افزایش ۲۰ درصدی سطح برگ

بوته نسبت به تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC شد. این موضوع نشان دهنده نقش مثبت بیوچار در جذب و نگهداری آب قابل استفاده بوته است. احمد (۲۰۱۸) گزارش کرد که مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن تحت شرایط آبیاری کامل سبب افزایش سطح برگ بوته کلزا شد. همچنین، ایشان بیان کرد که افزایش مصرف نیتروژن علاوه بر اینکه می تواند سبب افزایش اندازه سلول شده و سطح برگ بوته را افزایش دهد، باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی نیز می گردد. در مطالعه ای دیگر تاکاراگاو و همکاران (۲۰۱۷) اثر بیوچار مصرفی بر شاخص های فیزیولوژیک آفتابگردان را بررسی و گزارش کردند که بیوچار در طول مرحله رشد بوته تأثیر مثبتی داشته و سبب افزایش سطح برگ بوته شد. کاهش سطح برگ ها از اولین علائم تنش کم آبی است. بر اثر تنش کم آبی ممکن است که باز شدن برگ ها و توسعه سطح برگ کاهش و یا حتی متوقف شود. گویلی (۱۳۹۵) گزارش کرد که کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوچار (تولید شده از کود گاوی) سبب کاهش اثرات تنش کم آبی (کاهش سطح برگ، کاهش وزن تر و خشک) و افزایش شاخص های رشد بوته در مقایسه با تیمار شاهد شد. در حالی که سطح پنج درصد بیوچار به دلیل افزایش شوری خاک سبب کاهش سطح برگ بوته سویا شد. با توجه به نتایج به دست آمده در مقایسه با سلیمی (۲۰۱۹) که بیان کرد مصرف سطوح دو و چهار درصد بیوچار حاصل از کاه در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس سبب افزایش سطح برگ شده است در هر دو سطح کاه سبب کاهش سطح برگ شده است در پژوهش گلخانه ای ما بین سطوح بیوچار و کاه تفاوت معنادار وجود نداشت. مصرف ماده آلی سبب افزایش سطح برگ نسبت به تیمار بدون ماده آلی شد. که این موضوع نشان دهنده اهمیت مقدار یا دوز مصرف ماده آلی اعم از کاه یا بیوچار است.

جدول ۵- مقایسه میانگین ترکیب تیماری فاکتورهای مورد مطالعه بر تعداد غلاف، وزن هزار دانه، هدایت روزنه ای، پتانسیل آب برگ و مقدار روغن.

| عامل                           | سطوح                                 | تعداد خورجین        | وزن هزار دانه (g pot <sup>-1</sup> ) | هدایت روزنه ای (cm <sup>2</sup> /s) | پتانسیل آب برگ (-bar) | مقدار روغن (g pot <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
|                                | .                                    | ۴۴/۵۰ <sup>c</sup>  | ۲/۸۷۰ <sup>b</sup>                   | ۰/۶۱۵ <sup>a</sup>                  | ۱۳/۷۶ <sup>b</sup>    | ۲/۴۲ <sup>b</sup>                 |
| ماده آلی (درصد)                | B (۰/۷۵)                             | ۵۰/۵۸ <sup>b</sup>  | ۲/۹۹۳ <sup>b</sup>                   | ۰/۵۸۸ <sup>ab</sup>                 | ۱۴/۰۱ <sup>bc</sup>   | ۴/۱۸۹ <sup>a</sup>                |
|                                | B (۱/۵)                              | ۷۳/۴۲ <sup>a</sup>  | ۳/۲۵۰ <sup>a</sup>                   | ۰/۶۳۳ <sup>a</sup>                  | ۱۲/۸۹ <sup>a</sup>    | ۴/۵۳۷ <sup>a</sup>                |
|                                | St (۰/۷۵)                            | ۶۹/۵۸ <sup>a</sup>  | ۳/۰۹۶ <sup>ab</sup>                  | ۰/۵۳۷ <sup>b</sup>                  | ۱۴/۱۷ <sup>bc</sup>   | ۴/۲۸۸ <sup>a</sup>                |
|                                | St (۱/۵)                             | ۵۸/۱۷ <sup>b</sup>  | ۳/۱۲۲ <sup>ab</sup>                  | ۰/۶۲۸ <sup>a</sup>                  | ۱۴/۷۵ <sup>c</sup>    | ۴/۶۷ <sup>a</sup>                 |
| نیتروژن (mg kg <sup>-1</sup> ) | ۱۵۰                                  | ۵۱/۵۰ <sup>b</sup>  | ۲/۸۵۸ <sup>b</sup>                   | ۰/۵۰۵ <sup>b</sup>                  | ۱۴/۲۹۴ <sup>b</sup>   | ۳/۹۴۶ <sup>a</sup>                |
|                                | ۳۰۰                                  | ۷۰/۲۰ <sup>a</sup>  | ۳/۲۴۷ <sup>a</sup>                   | ۰/۶۹۷ <sup>a</sup>                  | ۱۳/۵۳۹ <sup>a</sup>   | ۴/۰۹۷ <sup>a</sup>                |
| رطوبت (درصد)                   | FC <sub>0.5</sub> -FC <sub>0.6</sub> | ۴۰/۰۶۷ <sup>b</sup> | ۲/۶۸۴ <sup>b</sup>                   | ۰/۴۹۷ <sup>b</sup>                  | ۱۵/۳۶۱ <sup>b</sup>   | ۱/۹۲۴۳ <sup>b</sup>               |
|                                | FC <sub>0.85</sub> -FC               | ۸۰/۶۳۳ <sup>a</sup> | ۳/۴۴۸ <sup>a</sup>                   | ۰/۷۰۴ <sup>a</sup>                  | ۱۲/۴۷۲ <sup>a</sup>   | ۶/۱۱۸ <sup>a</sup>                |

در هر ستون اعداد با حروف یکسان از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معناداری ندارند.

### تعداد خورجین در گلدان

در بوته کلزا تعداد خورجین یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد است که تابعی از طول دوره گل‌دهی، تعداد شاخه‌های فرعی و شرایط اقلیمی در هنگام گل‌دهی است. هر گونه تنش در طول دوره رشد بوته سبب کاهش تعداد گل، تعداد غلاف، تعداد برگ، اختلال در گرده افشانی و تعداد دانه در بوته می‌شود (غنائی ۲۰۱۳). مقایسه میانگین‌های تعداد خورجین برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در تیمار ۱/۵ درصد بیوپچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC به دست آمد و تیمار ۱/۵ درصد بیوپچار با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC سبب افزایش تعداد خورجین نسبت به تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC خاک شد. کمترین تعداد نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC حاصل شد (جدول ۵). با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که تنش کم‌آبی سبب کاهش معنادار تعداد غلاف شده است و این کاهش نیز در تیمار بدون ماده آلی بیشتر از سایر تیمارها بود. مصرف نیتروژن اثر خود را بیشتر از راه افزایش تعداد غلاف در بوته نشان می‌دهد و تغییرات

تعداد دانه در غلاف قابل توجه نیست (نور قلی‌پور و همکاران ۲۰۱۴). راب و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر معنادار افزودن بیوپچار بر افزایش تعداد غلاف در لوبیای بالدار (*Vigna radiate*) را گزارش کردند. آنان دلیل افزایش تعداد غلاف در بوته را در تیمارهایی که میزان متوسطی بیوپچار (۱۰ تن در هکتار) مصرف شده بود، افزایش نسبت C/N و اثر آن بر رشد زایشی بوته گزارش کردند. همچنین، بیان کردند که در تیمارهای دیگر با افزایش میزان بیوپچار مصرفی (۲۰ تن در هکتار) افزایش نسبت C/N موجب ناپویا شدن نیتروژن شد. در مطالعه‌ای گوپلی و همکاران (۲۰۱۹) اثر بیوپچار کود گاوی در شرایط تنش کم‌آبی بر رشد و عملکرد بوته سویا بررسی و گزارش شد که تنش کم‌آبی سبب کاهش تعداد غلاف سویا شد، اما مصرف بیوپچار منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته سویا شد. همچنین، این پژوهشگران بیان کردند که مصرف ۱/۲۵ درصد بیوپچار سبب افزایش تعداد غلاف شد در حالی که افزایش سطح بیوپچار مصرفی به ۵ درصد سبب کاهش در تعداد غلاف شد و دلیل این امر را افزایش شوری خاک حاصل از کاربرد مقادیر زیاد بیوپچار در خاک عنوان کردند. سلیمی (۲۰۱۹) بیان کرد که کاربرد دو و چهار درصد بیوپچار گندم سبب افزایش تعداد غلاف در بوته کلزا شد. در این پژوهش گلدانی نیز همانند نتایج سلیمی (۲۰۱۹) بیوپچار گندم



سبب افزایش تعداد غلاف کلزا شد و با افزایش سطح کاه مصرفی تعداد غلاف کاهش یافت.

### وزن هزار دانه

وزن هزار دانه بیان کننده اهمیت نمو دانه است و نقش مهمی را در میان اجزای عملکرد برای نشان توان عملکرد یک رقم نشان می‌دهد (نورقلی پور و همکاران ۲۰۱۴). مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه برای اثر متقابل سه جانبه ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC به دست آمد، ولی با سایر تیمارهای ماده آلی و بدون ماده آلی ولی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در سطح رطوبت FC تفاوت معناداری نداشت. کمترین وزن هزار دانه نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در تنش رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC اندازه‌گیری شد (جدول ۵). با توجه به جدول ۵ می‌توان گفت که استفاده از ماده آلی (۰/۷۵ و ۱/۵ درصد بیوچار و ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد کاه) و مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبت FC می‌تواند سبب تولید وزن هزار دانه به همان اندازه تیمار بدون ماده آلی همراه با ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک شود، در نتیجه می‌توان در حضور ماده آلی در مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه صرفه‌جویی کرد. در مقایسه با پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) که کاهش معنادار وزن هزار دانه کلزا را با کاربرد کاه گندم البته در سطح دو و چهار درصد نسبت به بیوچار حاصل از آن گزارش کرد در پژوهش حاضر بین تیمارها تفاوت معنادار وجود نداشت که دلیل آن کاهش کمیت ماده آلی اعم از کاه و بیوچار به ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد می‌باشد. پارسیوند و همکاران (۲۰۱۱) کاهش معنادار وزن هزار دانه در شرایط تنش کم‌آبی، به دلیل زودرس شدن بوته به منظور فرار بوته از خشکی را گزارش و بیان کردند که زودرسی همراه با کاهش دوره پر شدن دانه باعث کاهش زمان مورد نیاز بوته برای رشد و یا انتقال عناصر غذایی به دانه‌ها شده

در نتیجه سبب کاهش وزن دانه و چروکیدگی آن می‌شود. همچنین، آنان بیان کردند که تنش کم‌آبی پس از مرحله گل‌دهی سبب کاهش معنادار وزن هزار دانه در گندم شد.

### هدایت روزنه‌ای

روزنه‌ها مجاری مبادله گازی بین گیاه و اتمسفر هستند و وظیفه کلیدی آنها تنظیم جذب دی اکسید کربن از اتمسفر و انتشار آب و گازهای دیگر به خارج از بوته برای ابقاء فشار تورمی و جلوگیری از دست رفتن آب بوته است. مقایسه میانگین‌های هدایت روزنه‌ای برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC حاصل شده است که نسبت به تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC افزایش ۱۳ درصدی داشته است، اما با سایر تیمارها با همان مقدار نیتروژن مصرفی در سطح رطوبت FC تفاوت معنادار نداشت (جدول ۵). همچنین، کمترین هدایت روزنه‌ای نیز به تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC مربوط می‌شود. میزان گشودگی روزنه‌ها در طی تنش خشکی کاهش یافته و در نتیجه سنتز ماده خشک در اندام هوایی به دلیل کمبود دی اکسید کربن وارده از طریق روزنه تحت تأثیر قرار می‌گیرد و به دنبال آن، وزن ماده خشک بوتهان کاهش می‌یابد. اختر و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که کم‌آبیری در مقایسه با آبیاری کامل سبب کاهش هدایت روزنه‌ای در بوته گوجه‌فرنگی شد، در حالی که مصرف بیوچار کاه برنج با افزایش ظرفیت نگهداری آب قابل استفاده منجر به افزایش هدایت روزنه‌ای گردید. گویلی و همکاران (۲۰۱۹) افزایش هدایت روزنه‌ای با مصرف بیوچار کود گاوی در شرایط تنش کم‌آبی در بوته سویا را گزارش کردند. با اعمال تنش کم‌آبی به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، تبدلات گازی و هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد، در حالی که بیوچار با نگهداری و افزایش

رطوبت خاک سبب کاهش اثرات تنش کم آبی بر بوته می-شود.

### پتانسیل آب برگ

مقایسه میانگین‌های پتانسیل آب برگ برای اثر متقابل سه جانبه ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین پتانسیل آب برگ در تیمار ۱/۵ درصد بیوپچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC برابر با ۱۲/۳۹- بار به دست آمد که البته با تیمار ۱/۵ درصد بیوپچار با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC تفاوت معناداری نداشت. کمترین مقدار پتانسیل آب برگ نیز در تیمار ۱/۵ درصد کاه با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC برابر با ۱۶/۲۲- بار اندازه‌گیری شد (جدول ۵). البته افزایش پتانسیل آب برگ با مصرف نیتروژن را می‌توان به افزایش رشد بوته بر اثر افزودن نیتروژن نسبت داد. (فیل و همکاران ۲۰۰۵). احمد و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی اثر بیوپچار تولید شده از کاه گندم بر عملکرد و جذب آب توسط بوته ذرت در شرایط تنش کم-آبی گزارش کردند که کاربرد بیوپچار با افزایش رطوبت خاک سبب بهبود پتانسیل آب برگ بوته در شرایط تنش کم آبی و بهبود رشد و عملکرد ذرت شد.

سطح بیوپچار با ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک سبب افزایش معنادار مقدار روغن نسبت به تیمار شاهد شده است. نکته قابل توجه در جدول ۵ این است که هر دو سطح بیوپچار با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن سبب افزایش مقدار روغن دانه شده‌اند و با تیمار ۱/۵ درصد کاه که دارای بیشترین مقدار روغن بود، تفاوت معناداری نداشتند. نیتروژن از طریق افزایش رشد بوته، افزایش وزن دانه، درصد روغن و تعداد بذر بوته سبب افزایش مقدار روغن دانه می‌شود. فرجی و صادقی (۲۰۱۳) بیان کردند که تنش آبی سبب کاهش مقدار روغن دانه کلزا شد. همچنین، این پژوهشگران بیان کردند که برهمکنش نیتروژن و تنش کم آبی سبب افزایش مقدار روغن در دانه شد اما این افزایش از لحاظ آماری معنادار نشد. کاتچر (۲۰۰۵) گزارش کرد که مصرف آب در زمان گل‌دهی و پر شدن غلاف‌ها مقدار روغن دانه را در اکثر دانه‌های روغنی افزایش می‌دهد و مقدار روغن دانه زمانی که رطوبت خاک در مرحله رسیدن غلاف‌ها در حد ظرفیت مزرعه باشد افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد تنش کم آبی، تنش گرمایی را تشدید و مقدار روغن را کاهش می‌دهد. همچنین، این محقق بیان کرد که مصرف سطوح نیتروژن مقدار روغن دانه را از طریق افزایش عملکرد دانه افزایش می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد بیوپچار حاصل از کاه گندم تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس باعث بهبود اکثر صفات رویشی بوته کلزا شد. برخلاف سلیمی (۲۰۱۹) که در سطوح دو و چهار درصد کاه گندم نتایج منفی در صفات زراعی بوته کلزا بدست آورده بود، در این پژوهش در سطوح ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد، مصرف کاه گندم نه تنها تأثیر منفی نداشت بلکه همانند بیوپچار تأثیر مثبت در صفات زراعی داشت. اعمال تنش کم آبی به استثنای کارایی مصرف آب و شاخص کلروفیل برگ سبب کاهش سایر صفات زراعی بوته کلزا شد. مصرف ماده آلی اعم از کاه و بیوپچار در هر دو سطح (۰/۷۵ و ۱/۵ درصد) سبب افزایش معنادار مقدار روغن دانه نسبت به شاهد شد. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده از

### مقدار روغن دانه

مقدار روغن از حاصلضرب غلظت روغن دانه در وزن خشک دانه محاسبه گردید. مقایسه میانگین‌های مقدار روغن دانه برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین مقدار روغن دانه در تیمار ۱/۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC به دست آمد که البته با برخی از تیمارها تفاوت معنادار نداشت. کمترین مقدار روغن دانه نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC حاصل شد (جدول ۵). در جدول ۵ مشاهده می‌شود که اعمال تنش کم آبی سبب کاهش مقدار روغن دانه شده است، در حالی که مصرف ۰/۷۵ درصد کاه و هر دو

## سیاسگزاری

این پژوهش، به‌رغم تأثیر مشابه بیوچار و کاه گندم، به دلیل اقامت طولانی مدت کربن بیوچار در خاک و نیمه‌عمر طولانی و ترسیب کربن مصرف بیوچار قابل‌توصیه است.

بدین وسیله از حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از کلیه داوران ناشناس این مقاله به دلیل ارایه نکته نظرات ارزشمند تشکر می‌گردد.

## منابع مورد استفاده

- Abeer H, Abd\_Allah EF, Alqarawi AA and Egamberdieva D. 2015. Induction of salt stress tolerance in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] by arbuscular mycorrhizal fungi. *Legume Research: An International Journal*, 38: 579-588. <https://doi.org/10.18805/lr.v38i5.5933>
- Agbna GH, Dongli S, Zhipeng L, Elshaikh NA, Guangcheng S and Timm LC. 2017. Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Scientia Horticulturae*, 222: 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.004>
- Ahmed F, Arthur E, Plauborg F, Razzaghi F, Kørup K and M.N. Andersen. 2018. Biochar amendment of fluvio-glacial temperate sandy subsoil: Effects on maize water uptake, growth and physiology. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204:123-136. <https://doi.org/10.1111/jac.12252>
- Akhtar SS, Li G, Andersen MN and Liu F. 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*, 138: 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.02.016>
- Barakat M, Cheviron B and Angulo-Jaramillo R. 2016. Influence of the irrigation technique and strategies on the nitrogen cycle and budget: A review. *Agricultural Water Management*, 178:225-238. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.09.027>
- Azimzadeh Y. 2023. The role of biochar in soil nitrogen cycle. *Journal of Land Management*, 11: 265-285. <https://doi.org/10.22092/lmj.2023.360183.319>
- Black CA and Evans DD. 1965. Particle size analysis. Pp. 770. In: White JL, Ensminger LE and Clark FE (eds). *Methods of Soil Analysis: Part 1, Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. American Society of Agronomy, Inc: Madison. <https://lcn.loc.gov/65015800>
- Bredemeier C and Schmidhalter U. 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing to determine biomass and nitrogen uptake of winter wheat under controlled environment and field conditions. *Precision Agriculture*, 5: 273-280. [https://doi.org/10.3920/978-90-8686-549-9\\_034](https://doi.org/10.3920/978-90-8686-549-9_034)
- Dargahi S, Zand A, Baghestani MA and Shirani Rad AH. 2013. Investigating the effect of different levels of nitrogen fertilizer and drought stress on corn weed competition. *National Conference on Passive Defense Agriculture*. (In Persian). <https://civilica.com/doc/323618>
- Dong X, Ma LQ and Li Y. 2011. Characteristics and mechanisms of hexavalent chromium removal by biochar from sugar beet tailing. *Journal of Hazardous Materials*, 190: 909-915. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.04.008>
- Faraji A and Sadeghi S. 2013. Investigating the effect of nitrogen and irrigation on yield and yield components of two canola cultivars in Gonbad. *Abstract of articles of the 8th Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran*. Gilan University Press, 422. (In Persian). [Magiran.com/p310413](http://Magiran.com/p310413)
- Feil B, Moser SB, Jampatong S and Stamp P. 2005. Mineral composition of the grain of tropical maize varieties as affected by pre-anthesis drought and rate of nitrogen fertilization. *Crop Science*. 45: 516-523. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0516>

- Gavili E, Moosavi AA and Haghghi AAK. 2019. Does biochar mitigate the adverse effects of drought on the agronomic traits and yield components of soybean?. *Industrial Crops and Products*, 128:445-454. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.047>
- Ghanai S. 2013. The mutual effect of drought and phosphorus on rapeseed in Gonbad region. National Conference on Climate Change and Engineering Sustainable Development of Agriculture and Natural Resources, Tolo Farzin Science and Industry Company. Tehran, Iran. (In Persian). <https://civilica.com/doc/282354>
- Ghorbani M, Konvalina P, Neugschwandtner RW, Kopecký M, Amirahmadi E, Bucur D and Walkiewicz A. 2022. Interaction of biochar with chemical, green and biological nitrogen fertilizers on nitrogen use efficiency indices. *Agronomy*. 12: 211-220. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092106>
- Gee GW and Bauder JW. 1986. Particle size analysis, hydrometer methods. Pp. 383-411. In: Sparks DL (eds). *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, Inc: Madison. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>
- Hassani G, Noorjoo A and Henareh M. 2009. Effects of Rootstock and Different Irrigation Levels on Yield and Fruit Quality of Apple cv. Golden Delicious. *Seed and Plant Production Journal*, 25: 51-62 . (In Persian). [Magiran.com/p712959](http://Magiran.com/p712959)
- Ibrahim OM and Elewa TA. 2015. Evaluating the role of Bio-char application under two levels of water requirements on wheat production under sandy soil conditions. *Global Journal of Advanced Research*, 2: 411-418.
- Jahanshahi RA, Jafari AR, Jafari Haghghi B and Rahimi A. 2016. Effect of drought stress and nitrogen fertilizer on morphological traits and essential oil content of german chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). The Second National Congress for the Development and Promotion of Agricultural Engineering and Soil Science of Iran. (In Persian). <https://civilica.com/doc/520724>
- Javadi T and Jafari M. 2016. Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of Sour Cherry cv. "Mykrez" saplings. *Research in Pomology*, 70-88. (In Persian).
- Jones JB. 2001. *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*: CRC press, Boca Raton, FL.
- Khalasi K, Amirian MR, Asghari H and Rahimi R. 2014. The effect of biochar and nitrogen on some quantitative traits of corn under low irrigation conditions. International conference on sustainable development, strategies and challenges With a focus on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism. (In Persian). <https://civilica.com/doc/355176>
- Kramer PJ. 1983. *Water Relations of Plants*. Academic Press, Inc, Florida, USA.
- Kutcher HR, Malhi SS and Gill KS. 2005. Topography and management of nitrogen and fungicide affects diseases and productivity of canola. *Agronomy Journal*, 97: 533-541. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0533>
- Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC and Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota—A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43: 1812-1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Lindsay WL and Norvell W. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Mahmoudi S, Najafi N and Reyhanitabar A. 2015. Effects of soil moisture and sewage sludge compost on leaf chlorophyll index and some growth traits of alfalfa in greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 5: 207-220. (In Persian). <https://doi.org/20.1001.1.20089082.1393.5.4.16.4>
- Malakouti MJ and Homae M. 2004. *Soil fertility of Arid and semi - Arid Regions difficulties and solutions*. Second edition with full revision, Tarbiat Modares University Press, Tehran, Iran. (In Persian).

- Markarian Sh, Najafi N, Aliasgharzad N and Oustan S. 2016. Interactive effects of *Ensifer meliloti* (*Sinorhizobium meliloti*) and phosphorus on some growth characteristics of alfalfa under soil water deficit conditions. *Journal of Soil Biology*, 3: 163-178. <https://doi.org/10.22092/sbj.2016.105967>
- Marschner H. 2011. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2<sup>th</sup> Edition, Academic Press. London.
- Motalebifard R, Najafi N and Oustan S. 2013. Effects of zinc sulphate and monocalcium phosphate fertilizers on extractable Zn and Fe under different soil moisture conditions. *Iran Agricultural Research*, 32: 71-88. <https://doi.org/10.22099/iar.2014.2006>
- Molla MS, Akhter M, Maniruzzaman M, Lipi NJ, Rabiul A and Tisam A. 2017. Response of biochar to plant nutrients and yield of *Amaranthus tricolor*. *International Journal of Innovative Research*, 2: 13-17.
- Najafi N, Mahmoudi Sh, Neyhabouri M and Reyhanitabar A. 2020. Effects of soil moisture and sewage sludge on water use efficiency and concentrations of some elements in alfalfa. *Iranian Journal of Soil Research*, 34: 61-80. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijsr.2020.122141>
- Nelson DW and Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp: 539-579. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. SSSA, Madison, WI. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>
- Noorullah Khan AJ, Ahmad Khan I and Khan N. 2002. Response of canola to nitrogen and sulphur nutrition. *Asian Journal of Plant Sciences*.1: 516-518.
- Noorgholipour F, Rezaei H, Mirzashahi K, Hakitnia H, Ramzanpour MR, Arzanesh MJ, Asadi Rahmani H, Mirzapour MH, Afzali H, Tehrani MM and Ghaibi MN. 2014. The recipe for the integrated management of soil fertility and rapeseed nutrition. *Soil and Water Research Institute of Iran*. 10-30. (In Persian).
- Olsen S and Sommers L. 1982. Phosphorus. Pp. 403-430. In: Miller RH and Keeney DR (eds). *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. SSSA, Madison, WI.
- Onay, M., C. Sonmez, H. A. Oktem, and M. Yucel. 2016. Evaluation of various extraction techniques for efficient lipid recovery from thermo-resistant microalgae, *hindakia*, *scenedesmus* and *micractinium* species—Comparison of lipid extraction methods from microalgae. *American Journal of Analytical Chemistry*, 7 (02):141.150. <https://doi.org/10.4236/ajac.2016.72012>
- Pourmansour S and Razaghi F. 2016. The effect of different levels of biochar and low irrigation on the efficiency of water use in beans. 2<sup>nd</sup> Iranian National Congress of Irrigation and Drainage. Isfahan, Iran. (in Persian). <https://sid.ir/paper/874046/fa>
- Parzivand A, Ghooshchi F, Momayezi M and Tohidimoghadam MH. 2011. Effects of zinc spraying and nitrogen fertilizer on yield and some seed qualitative traits of wheat under drought stress conditions. *Journal of Crop Production Research*. 3: 56-69. <https://sid.ir/paper/182247/en>
- Rab A, Khan MR, Haq SU, Zahid S, Asim M, Afridi MZ, Arif M and Munsif F. 2016. Impact of biochar on mungbean yield and yield components. *Pure and Applied Biology*, 5: 632-640. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2016.50082>
- Reyhanitabar A, Frahadi E, Ramezanzadeh H and Oustan S. 2020. Effect of pyrolysis temperature and feedstock sources on physicochemical characteristics of biochar. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22: 547-561. <http://dx.doi.org/20.1001.1.16807073.2020.22.2.21.9>
- Rhoades J. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417-435. In: Sparks DL (eds). *Methods of soil analysis, Part 3. Chemical methods*. SSSA, Madison, WI. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14>
- Salehi f, Bahrani MJ, Kazemieni SA, Pak Nit H and Karimian N. 2013. Influence of soil incorporating wheat residue rates on seed yield components and biological nitrogen fixation in two red bean cultivars in greenhouse. *Journal of Applied Crop Research*, 26: 34. (In Persian).
- Shaaban M, Lak M, Abdoli M and Khodayi F. 2013. Investigating the effect of drought stress and nitrogen fertilizer on main root length, total length of roots, root to stem ratio and number of nodes of chickpea

- cultivars. The first national conference on agriculture in hard environmental conditions, seedling and seed cropping magazine, 7: 451-470. (In Persian). <https://civilica.com/doc/352293>
- Shaban MR and Razzaghi F. 2017. The effect of different levels of biochar, low irrigation and salinity on water use efficiency and wheat yield in greenhouse conditions, Shahid Bahonar University of Kerman. (in Persian). <https://civilica.com/doc/693417>
- Shahbazi K and Besharati H. 2013. Overview of agricultural soil fertility status of Iran. Land Management Journal, 1: 1-15. (In Persian).
- Salimi S. 2019. Dual application effects of biochar and phosphorus on rapeseed (*Brassica napus* L.) growth and nutrition in greenhouse conditions. Master of Science. Thesis University of Tabriz
- Singh B, Camps-Arbestain M and Lehmann J. 2017. Biochar: A guide to analytical methods. Csiro Publishing.
- Song W and 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>
- Sun C, Chen X, Cao M, Li M and Zhang Y. 2017. Growth and metabolic responses of maize roots to straw biochar application at different rates. Plant and Soil, 416: 487-502. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3229-6>
- Taghizadeh-Toosi A, Clough TJ, Sherlock RR and Condon LM. 2012. A wood based low-temperature biochar captures NH<sub>3</sub>-N generated from ruminant urine-N, retaining its bioavailability. Plant and Soil, 353: 73-84. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1010-9>
- Takaragawa H, Yabua S, Watanabe K and Kawamitsu Y. 2017. Effects of Application of Bagasse-and Sunflower Residue-derived Biochar to Soil on Growth and Yield of Oilseed Sunflower. Tropical Agriculture and Development, 61: 32-39. <https://doi.org/10.11248/jsta.61.32>
- Thomas GW. 1996. Soil pH and soil acidity. Pp. 475-490. In: Sparks DL (eds). Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. SSSA, Madison WI.
- Vafabakhsh J, Nassiri Mahallati M, Koocheki A and Azizi M. 2009. Effects of water deficit on water use efficiency and yield of Canola cultivars (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 7: 295-302. <https://doi.org/10.1001.1.20081472.1388.7.1.28.6>
- Wang T, Camps-Arbestain M, Hedley M and Bishop P. 2012. Predicting phosphorus bioavailability from high-ash biochars. Plant and Soil, 357: 173-187. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1131-9>
- Yousefi M, Daneshian J, Shirani Rad AH, Valadabadi SAR and Sayfzadeh S. 2018. Yield and nitrogen use efficiency of rapeseed (*Brassica napus* L.) influenced by nitrogen rates and irrigation regimes. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 28: 29-41. (In Persian).
- Zabit M, Bahamin S, Qureshi S, Sadeghi H and Mousavi AR. 2014. The effect of low irrigation and nitrogen fertilizer on the quantitative yield of fodder millet shoots in Birjand. Environmental Stresses in crop sciences. 7: 187-194. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2015.175>