

بررسی اثر سطوح مختلف بایوچار طبیعی بر برخی از ویژگی‌های خاک، درصد جوانه‌زنی و عملکرد گیاه مرتعی اروشیا (*Eurotia ceratoides*)

- ❖ راضیه دهقانی؛ دانش آموخته دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ محمد جعفری*؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ محمد علی زارع چاهوکی؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ سلمان زارع؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ علی طولیلی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ بابک متشعزاده؛ استاد دانشکده علوم خاک، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

استفاده از بایوچار به‌عنوان ماده اصلاح‌کننده خاک یکی از روش‌های نوین بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش عملکرد گیاهان می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور بررسی اثر افزودن بایوچار طبیعی بر روی ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاه مرتعی اروشیا، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۱ تیمار شامل سطوح مختلف بایوچار (صفر، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ درصد وزنی) و سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. پس از پایان فصل رشد برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (اسیدیته، هدایت الکتریکی، درصد ماده آلی، آهک، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، درصد تخلخل)، درصد جوانه‌زنی، ارتفاع و وزن خشک اندام‌های ساقه و ریشه گیاه اروشیا اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در تمام صفات مورد مطالعه خاک (به غیر از جرم مخصوص حقیقی)، و خصوصیات گیاه اروشیا تفاوت سطوح مختلف بایوچار ($a=0/01$) معنی‌دار بود. افزودن سطوح مختلف بایوچار باعث افزایش اسیدیته، هدایت الکتریکی، درصد تخلخل کل، درصد ماده آلی خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شد. افزودن بایوچار از سطح ۳ تا ۱۰ درصد وزنی، باعث افزایش اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک نسبت به شاهد و سطوح پایین‌تر شد. بیشترین جرم مخصوص ظاهری نیز در تیمار شاهد (۱/۵۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، و بیشترین آهک در تیمار شاهد (۲۵ درصد) مشاهده شد. افزودن بایوچار از سطح ۱ تا ۵ درصد وزنی اثر افزایشی بیشتری نسبت به سایر سطوح بایوچار بر میزان تخلخل خاک داشت. بیشترین درصد ماده آلی خاک نیز در تیمارهای ۸ و ۹ درصد وزنی (به ترتیب ۲/۰۷ و ۲/۰۵ درصد)، و کمترین آن در تیمار شاهد (۰/۸۴)، مشاهده شد. بنابراین سطوح ۳ تا ۱۰ درصد وزنی بایوچار در بهبود صفات اسیدیته، هدایت الکتریکی، درصد تخلخل و ماده آلی خاک نقش مثبت بیشتری داشتند. با افزودن سطوح مختلف بایوچار به خاک نیز بر وزن خشک اندام‌های ساقه و ریشه و ارتفاع گیاه نسبت به شاهد افزوده شد؛ به‌طوری‌که تیمارهای ۱ تا ۵ درصد وزنی بیشترین تأثیر را بر رشد و جوانه‌زنی گیاه اروشیا داشتند. بنابراین کاربرد سطوح مختلف بایوچار طبیعی مورد مطالعه در این پژوهش در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و بهبود خصوصیات رشدی و جوانه‌زنی گیاه مرتعی اروشیا تأثیر مثبتی داشت.

واژگان کلیدی: اروشیا، اسیدیته، بایوچار، ماده آلی، وزن مخصوص حقیقی، هدایت الکتریکی.

۱. مقدمه

مراتع یکی از مهمترین و با ارزشترین منابع طبیعی تجدیدپذیر و جزء نعمت‌های خدادادی هر کشور محسوب می‌شوند که به سبب اهمیتی که در حفظ خاک و آب، تولید اکسیژن، تأمین بخشی از غذای دام و غیره دارند [۱۵]، و با توجه به این که بیشترین سطح کشور (حدود ۵۲ درصد)، را مراتع تشکیل داده‌اند لذا باید بیش از آنچه تا به حال به آن توجه شده مورد حفاظت و مراقبت قرار گیرند [۱۰]. این منابع از نظر حفاظت محیط زیست و جلوگیری از فرسایش خاک در درجه اول اهمیت و از نظر تولید علوفه به منظور تأمین غذای دام در درجه دوم اهمیت قرار دارند. امروزه با توجه به تغییرات جمعیتی، یکی از نگرانی‌های قابل توجه در سطح دنیا، تغییر کاربری اراضی مرتعی به دیمزارها و در نتیجه آن پیامدهای زیست‌محیطی کره زمین است. تغییر کاربری مهمترین عاملی است که حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این میان عاملی که بیشترین تأثیرپذیری را از تغییر کاربری دارد، خاک می‌باشد.

خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای مرتع و عوامل تولید است که استفاده بی‌رویه از آن، بدون کوددهی و تقویت آن و دیگر اقدامات نامناسب، باعث فقیر شدن آن از لحاظ مواد غذایی (معدنی)، و مواد آلی می‌شود که در نهایت باعث نامرغوب شدن بافت آن و در نتیجه کاهش شدید حاصلخیزی و تولید گیاهان مرتعی می‌شود [۳۰]. مواد آلی ترکیبات کربنی می‌باشند که به‌وسیله گیاهان، ریز جانداران و جانوران در خاک تولید می‌شوند [۲۶]. ماده آلی با بهبود شرایط خاک‌دانه‌سازی، وضعیت تخلخل و نفوذپذیری خاک را بهبود می‌بخشد [۲۸]. با مصرف روزافزون کودهای شیمیایی، توسعه کشت متراکم، استفاده از ارقام پرمصرف، عدم برگشت بقایای گیاهی به خاک و سوزاندن آن‌ها، سالیانه از مقدار ماده آلی خاک به میزان قابل توجهی کاسته شده و در نتیجه باعث کاهش قدرت باروری و حاصلخیزی خاک و در نهایت کاهش تولیدات غذایی گردیده است [۲۵].

با توجه به این که کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک کره زمین واقع شده است و در بیش از ۶۰ درصد از اراضی زیر کشت میزان کربن آلی کمتر از یک درصد بوده و اغلب آهکی و دارای واکنش قلیایی است [۲۸]. در نتیجه بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها با مشکل تغذیه عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مواجه هستند، این در حالی است که با توجه به نقش مواد آلی در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مقدار بهینه کربن آلی در خاک برای دستیابی به تولید پایدار حداقل بین دو تا سه درصد برآورد می‌گردد [۲۸]. تحقیقات نشان داده که افزودن مواد آلی به خاک، بسته به خصوصیات انواع این مواد که آن‌ها را از هم بسیار متفاوت می‌کند، بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک از جمله فعالیت آنزیمی، وزن، اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی، جرم مخصوص ظاهری، ظرفیت نگهداری آب و افزایش مقدار قابل جذب عناصر اثر مثبت و متفاوتی می‌گذارد، که در بیشتر موارد با بهینه کردن این شرایط، امکان لازم برای تولید محصولات با عملکرد بالا از نظر کیفی و کمی را فراهم می‌آورد [۳ و ۱۶]. میزان ماده آلی خاک ارتباط مستقیمی با میزان عملکرد گیاه دارد، به‌طوری که با افزایش هر یک درصد کربن آلی خاک، میزان افزایش تولید در کشورهای درحال توسعه می‌تواند ۵۰-۳۰ میلیون تن در سال افزایش یابد [۲۹].

از دیرباز استفاده از بقایای کشاورزی، دامی و شهری از راهکارهای افزایش ماده آلی خاک بود [۶ و ۲۹]. کاربرد مستقیم این مواد در زمین‌های کشاورزی می‌تواند تولید مواد سمی و پاتوژن‌ها را به‌همراه داشته باشد، لذا بایستی این مواد به محصولات پایدار و بی‌ضرر تبدیل شوند [۳۳]. اخیراً استفاده از بایوچار به‌عنوان منبع تأمین‌کننده مواد آلی برای رشد گیاه و اصلاح‌کننده‌ای برای بهبود خصوصیات خاک مطرح شده است [۳۵]. فرآورده‌ی جانبی غنی از کربن وقتی که زیست‌توده (بقایای محصولات کشاورزی، چوب، پسماند و غیره)، در طی فرآیند پیرولیز (سوزاندن در یک محیط با اکسیژن کم یا بدون اکسیژن)، تولید می‌شود را بایوچار می‌نامند [۲ و

استان کرمان است که با سرعت کم و به تدریج بدون حضور اکسیژن تشکیل شده است. این ماده در واقع نوعی بایوچار طبیعی می‌باشد. بررسی‌ها و نتایج اولیه آزمایش‌ها نشان داد که این ماده از پتانسیل‌های بالایی جهت افزایش ماده آلی خاک و بهبود برخی ویژگی‌های خاک برخوردار است که در این تحقیق به بررسی امکان‌سنجی آن‌ها پرداخته شد. به‌منظور شناخت ماده مورد بررسی جهت استفاده به‌عنوان بایوچار طبیعی، خصوصیات از قبیل ماده آلی، اسیدیته، هدایت الکتریکی، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. جهت بررسی تأثیر ماده مورد بررسی بر ویژگی‌های خاک، قبل از آزمایش به‌طور تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک استفاده شده، نمونه‌برداری صورت گرفت. در پایان فصل رشد، نیز از خاک گلدان‌ها، نمونه‌برداری شد تا بدین طریق اثرگذاری ماده بر خاک مشخص گردد. به‌طور کلی شاخص‌های بافت خاک به روش هیدرومتری بایکاس، هدایت الکتریکی، اسیدیته در عصاره اشباع، ماده آلی به روش والکی و بلک، آهک با روش کلسیمتری، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی با استفاده از سیلندر و پیکنومتر اندازه‌گیری شد.

به‌منظور بررسی تأثیر ماده مورد بررسی بر ویژگی‌های خاک، قبل از آزمایش به‌طور تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک استفاده شده، نمونه‌برداری صورت گرفت. در پایان فصل رشد نیز از خاک گلدان‌ها، نمونه‌برداری شد تا بدین طریق اثرگذاری ماده بر خاک مشخص گردد. بدین منظور خاک گلدان‌ها پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری به‌طور یکنواخت مخلوط و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد. بدین منظور بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری بایکاس، درصد کربن آلی خاک از روش پیشنهادی والکلی بلک آهک با روش کلسیمتری، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی با استفاده از سیلندر و پیکنومتر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری اسیدیته خاک

۲۹]. استفاده از بایوچار به‌عنوان یک افزودنی خاک به‌طور هم‌زمان به کاهش تغییرات آب‌وهوایی توسط انسان، بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصولات کشاورزی منجر می‌شود [۱۳، ۲۳ و ۲۹]. برخلاف این که مطالعات زیادی بر روی اثرات مثبت بایوچار بر روی محصولات زراعی و درختان انجام شده است؛ ولی تأثیر آن بر گیاهان مرتعی و دارویی در مناطق خشک و نیمه خشک هنوز مورد بررسی قرار نگرفته است. در این راستا با توجه به اهمیت گیاه مرتعی اروشیا (*Eurotia ceratoides*) که از گیاهان مهم مرتعی ایران است که اکثراً به‌صورت گونه همراه و بندرت به‌عنوان گونه غالب تیپ، در مراتع استپی و نیمه استپی سرد گسترش یافته است و به‌علت داشتن فرم بوته‌ای، قدرت سازگاری بالا به تنش‌های محیطی، درصد پروتئین مناسب و تکثیر آسان یکی از گیاهان بومی مراتع بیابانی است که اهمیت ویژه در مراتع خشک و نیمه خشک دارد. حفاظت خاک، مقاومت به سرما، یخبندان، خشکی و خشکسالی، خوشخوراکی بالا، تولید علوفه بالا و نیز مقاومت به چرا از خصوصیات بارز این گونه است. این خصوصیات سبب شده تا در طرح‌های احیاء و اصلاح مراتع این گیاه مورد استفاده قرار گیرد. خوشخوراکی و درصد بالای پروتئین اروشیا در افزایش حجمی پشم و افزایش وزنی گوشت گوسفندان بسیار مؤثر و مناسب است و از آن در زمستان به‌عنوان سوخت نیز استفاده می‌شود. وجود گزارش‌هایی مبنی بر احتمال خطر انقراض این جنس بومی در کشور اهمیت مطالعه این گیاه را بیش از پیش آشکار می‌نماید. لذا پژوهش حاضر جهت بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف بایوچار طبیعی بر ویژگی‌های خاک و افزایش عملکرد گیاه اروشیا در گلخانه گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد.

۲. روش‌شناسی

جنس ماده مورد بررسی در این پژوهش، رسوب فسیل جنگل‌ها و گیاهان دوران ژوراسیک در منطقه کوه بنان

اروشیا با نام علمی *Eurotia ceratoides*، از خانواده *Chenopodiaceae* گیاهی است پایا، بوته‌ای یا علفی پر شاخه به ارتفاع ۲۰ تا ۱۲۰ سانتیمتر و به ندرت تا ۲ متر به قطر تاج ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر، گاهی بیشتر، یک پایه، بندرت دو پایه، پوشیده از کرک‌های ستاره‌ای سبز متمایل به زرد، گاهی خاکستری، ساقه‌ها افراشته یا خیزان، برگ‌ها به طول ۱۴ تا ۳۴ سانتی‌متر و عرض ۳ تا ۱۸ میلی‌متر، خطی نیزه‌ای بدون دم‌برگ یا با دم‌برگ، پوشیده از کرک در هر دو سطح، گل آذین سنبله، گل‌های نر در بالا و گل‌های ماده در پایین، گل‌پوش‌ها غشایی، پوشیده از کرک‌های کوتاه و بلند به طول تا ۵ میلی‌متر است که پراکندگی نسبتاً زیادی در دشت‌ها و کوهستان‌ها در شمال غرب، شمال شرق و مرکز، در ناحیه رویشی ایران و تورانی دارد (شکل ۱). گیاه اروشیا از گیاهان مهم و با ارزش مرتعی ایران است که به‌علت داشتن قدرت سازگاری بالا به تنش‌های محیطی و همچنین به‌علت داشتن قدرت رویشی و خوشخوراکی بالا، در تأمین علوفه دام نقش بسزایی دارد [۲۷]. این خصوصیات سبب شده تا در طرح‌های احیاء و اصلاح مراتع از این گیاه مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱- گیاه مرتعی اروشیا

برای کشت بذرها در نظر گرفته شد. جهت استقرار و جوانه‌زنی بذرها بلافاصله پس از کشت آبیاری انجام شد. میزان آب مورد نیاز و همچنین دور آبیاری با محاسبه رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، وزن مخصوص ظاهری خاک و عمق ریشه‌دوانی محاسبه شد (معادله‌های ۱ و ۲):

نیز از عصاره گل اشباع استفاده گردید و پس از تهیه عصاره گل اشباع، برای اندازه‌گیری اسیدیته از دستگاه pH متر مدل EYELA 2000 پس از تنظیم با بافرهای ۷، ۴ و ۹ استفاده شد. برای اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی عصاره‌های گل اشباع به‌دست آمده از نمونه خاک، از هدایت‌سنج مدل JENWAY-4320 استفاده شد و نتایج بدست آمده بر حسب دسی‌زیمنس بر متر گزارش گردید. به‌منظور ارزیابی نقش حاصلخیزکنندگی ماده مورد بررسی بر عملکرد و درصد جوانه‌زنی گیاه اروشیا، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در گلخانه گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های مختلف ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ درصد وزنی از ماده اصلاح‌کننده و تیمار شاهد (بدون استفاده از ماده)، بود. جهت آماده نمودن خاک گلدان‌ها با توجه به رویشگاه‌های طبیعی و خواص‌های اکولوژیکی گونه مورد بررسی به مقدار لازم خاک از مراتع دشت آهوان سمنان که رویشگاه طبیعی گیاه اروشیا بوده به گلخانه منتقل شد.

جهت کاشت ابتدا نمونه‌های خاک با نسبت‌های ذکر شده با بایوپچار به‌خوبی مخلوط شد، سپس به تعداد ۱۰ بذر گیاه که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان شمالی تهیه شده بود در گلدان‌های سه‌کیلویی و عمق مناسب کاشته شد. در این آزمایش با توجه به تعداد تیمارها و تکرارهای آزمایشی، ۳۳ گلدان

بعد از جمع‌آوری داده‌ها و ثبت در نرم‌افزار اکسل تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته در تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS صورت گرفت. قبل از تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع خطای آزمایشی در هر یک از تیمارها و یکنواخت بودن آن در داخل هر یک از بلوک‌های آزمایشی اطمینان حاصل شد و سپس عملیات تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین داده‌ها نیز بر اساس آزمون دانکن با سطح احتمال یک و پنج درصد صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. ویژگی‌های خاک و بایوچار مورد مطالعه در

آزمایش

نتایج تجزیه برخی خصوصیات مهم فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج، خاک مورد نظر دارای بافت مناسب از کلاس لومی ماسه‌ای، اسیدیته خنثی (۷/۱) و هدایت الکتریکی ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. خاک مذکور از لحاظ درصد ماده آلی (۰/۸۴ درصد)، نیز فقیر بود. با توجه به این‌که بافت خاک مورد نظر سبک بوده لذا به دلیل کاهش درصد عناصر ازت، روی، پتاس و فسفر به دلیل آبشویی، هدایت الکتریکی خاک بیشتر است.

$$d = (FC - PWP) \times Bd \times MAD \times Drz \quad \text{معادله ۱}$$

$$V = d \times A \quad \text{معادله ۲}$$

که در آن d عمق آبیاری (سانتی‌متر)، FC رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی، PWP رطوبت در نقطه پژمردگی، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک، MAD فاکتور مدیریتی (با توجه به نوع گیاه مشخص می‌شود)، Drz عمق ریشه دوانی، V حجم آبیاری و A مساحت می‌باشد.

در طول دوره رشد (نهمه‌ماه)، به منظور بررسی تاثیر ماده مورد بررسی بر خاک، در طول انجام آزمایش از هیچ‌گونه سم و آفت‌کش شیمیایی استفاده نشد و رطوبت در حد ظرفیت مزرعه برای گلدان‌ها اعمال گردید. پس از پایان فصل رشد درصد جوانه‌زنی و عملکرد گیاه اندازه‌گیری شد. بدین منظور اندام هوایی و ریشه گیاه از سطح خاک گلدان قطع گردید و پس از اندازه‌گیری وزن تر، ارتفاع بوته و شستشو با آب مقطر، به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. درصد جوانه‌زنی بذرها نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{معادله ۳}$$

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد بذرهاى جوانه‌زده}}{\text{تعداد بذرهاى كل}} \times 100$$

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS m^{-1})	وزن مخصوص حقیقی (gr cm^{-3})	جرم مخصوص ظاهری (gr cm^{-3})	تخلخل (%)	آهک (%)	ماده آلی (%)	رس (%)	سیلت (%)	ماسه (%)
۷/۱۶	۱/۱۷	۲/۵۰	۱/۴۳	۳۶/۴۸	۲۵/۰۰	۰/۸۴	۱۸/۶۷	۲۳/۳۳	۶۹/۰۰
سولفات (meq l^{-1})	کلر (meq l^{-1})	کلسیم + منیزیم (meq l^{-1})	کلسیم (meq l^{-1})	منیزیم (meq l^{-1})	سدیم (ppm)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	نیتروژن (%)	گج (%)
۲۰/۹۳	۱۲/۸۷	۱۰/۱۳	۴/۹۳	۵/۶۰	۴۶۶/۶۷	۱۴/۳۹	۹/۳۷	۰/۱۲	۰/۰۱

پتاسیم بیشتر و مقدار سدیم بیشتری داشت. لذا بایوچار مورد مطالعه انتظار می‌رود با بهبود وضعیت ماده آلی، عناصر و به تبع آن هدایت الکتریکی خاک، شرایط بهینه‌ای را برای رشد گیاه اروشیا فراهم نماید.

نتایج تجزیه بایوچار طبیعی مورد مطالعه در این آزمایش نیز در جدول ۲ ارائه شده است. بر این اساس بایوچار طبیعی خاصیت قلیایی (۷/۹۴)، داشته و نسبت به خاک مورد مطالعه (جدول ۱)، ماده آلی (۰/۸۷ درصد)، نیتروژن (۲/۱۱ درصد)، و مقدار عناصر کلسیم، منیزیم و

جدول ۲. ویژگی‌های بایوچار طبیعی مورد مطالعه به‌عنوان تیمار آزمایش

اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	ماده آلی (%)	کلسیم (meq l ⁻¹)	منیزیم (meq l ⁻¹)	سدیم (ppm)	پتاسیم (ppm)	هیدروژن (%)	نیتروژن (%)	کربن (%)
۷/۹۴	۱/۴۶	۰/۸۷	۱۰/۶۷	۱۸/۱۱	۱۲۶/۰۰	۳۶۰/۸۲	۰/۰۲	۲/۱۱	۱/۰۱

خاک در سطح احتمال یک درصد و بر جرم مخصوص ظاهری، درصد تخلخل و درصد آهک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین تنها در صفت جرم مخصوص حقیقی بین تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

۳.۲. اثر تیمارهای مختلف بایوچار بر برخی از

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف بایوچار مورد مطالعه بر اسیدیته، هدایت الکتریکی و درصد ماده آلی

جدول ۳. جدول تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف بایوچار بر برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		اسیدیته	هدایت الکتریکی	وزن مخصوص حقیقی	جرم مخصوص ظاهری	تخلخل
تیمار	۱۰	۰/۰۲۳**	۰/۲۷۳**	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۲*	۸/۹۸۰*
خطا	۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۴۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۵/۲۱۱
ضریب تغییرات	-	۲/۰۶	۶/۴۹	۲/۷۵	۲/۶۰	۵/۸۴

ns, ** و * به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح آماری یک و پنج درصد.

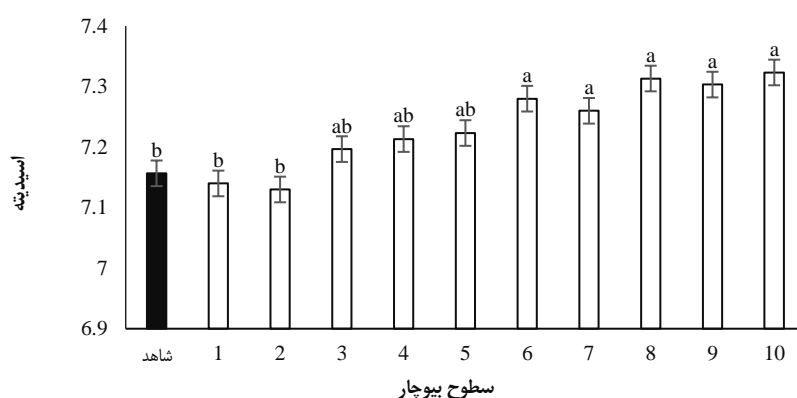
توجهی از این عنصر موجود بود، و آهکی بودن خاک و در نتیجه ظرفیت بافری زیاد آن نسبت داد. برخی از محققان نیز در مطالعات خود به این نتیجه دست یافتند که با افزودن بایوچار به خاک، اسیدیته آن افزایش می‌یابد [۱۱ و ۱۹]. در توجیه این پدیده می‌توان عنوان کرد که اسیدیته بایوچار بر اسیدیته خاک تأثیر مستقیم دارد. اسیدیته بایوچار نیز به شرایط دمایی و نوع ماده‌ای که برای تهیه بایوچار انتخاب می‌شود، بستگی دارد. خلاف نتایج حاصل از این تحقیق، محققان نشان دادند که افزایش بایوچار بر خاک بسته به نوع مواد تأثیرات مختلفی بر اسیدیته خاک دارد [۱۴]. محققین گزارش کردند که

۳.۲.۱. اسیدیته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف بایوچار مورد مطالعه بر اسیدیته خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که افزودن بایوچار تا سطح ۲ درصد بر اسیدیته خاک تأثیر چندانی نداشته ولی با افزودن سطوح بالاتر از ۳ درصد، اسیدیته خاک افزایش یافت (شکل ۲). از دلایل این امر می‌توان به افزایش قابلیت جذب عناصر توسط گیاه، افزوده شدن مستقیم پتاسیم توسط بایوچار (که در خاکستر بایوچار مقدار قابل

خاک‌های اسیدی سبب افزایش اسیدیته خاک شده است [۳۳]. در مطالعه‌ای با مقایسه بایوچارهای تولید شده از هفت ماده آلی مختلف شامل کلش برنج، چوب نارون، چوب بامبو، کلش گندم، کلش ذرت، پوسته برنج و نارگیل نشان دادند که اسیدیته خاک بین ۷/۸ و ۱۱/۱ متغیر بود. آن‌ها گزارش کردند که اسیدیته بایوچارهای با منشأ چوب کمتر از علفی بوده و به ترتیب بین ۷/۸ - ۱۰/۱ و ۹/۲ - ۱۱/۱ متغیر بود [۷ و ۳۲].

یکی از عوامل کاهش اسیدیته خاک در حضور بایوچار را می‌توان پایین بودن اسیدیته بایوچار نسبت به خاک دانست که این خود تابعی از ماده تشکیل دهنده بایوچار، دمای تولید و اصلاح این مواد می‌باشد. حضور گروه‌های عاملی با بار مثبت بر روی سطح بایوچار اصلاح شده نیز می‌تواند باعث کاهش اسیدیته خاک گردد، زیرا اسیدیته از خصوصیات بار سطحی تأثیر می‌پذیرد [۲۰]. در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که کاربرد انواع بایوچارها در

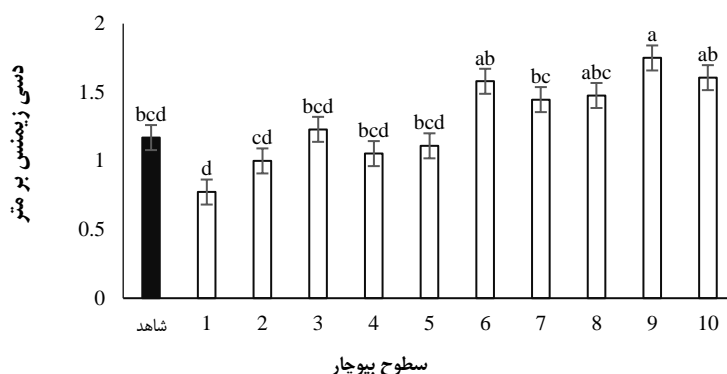


شکل ۲. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بایوچار بر اسیدیته خاک میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد می‌باشند.

احتمالاً به دلیل حضور نمک‌های محلول در این مواد و بالابودن هدایت الکتریکی این ماده نسبت به هدایت الکتریکی خاک می‌باشد [۷]. محققین گزارش کردند که افزودن بایوچار به خاک باعث افزایش هدایت الکتریکی آن گردید [۲۱]. لازم به ذکر نیز می‌باشد با توجه به پایین بودن هدایت الکتریکی خاک در سطوح پایین‌تر بایوچار که نشان دهنده غیرشور بودن خاک مورد نظر و کاهش نمک‌های محلول خاک است، لذا به دلیل جذب آب کافی و کاهش کاتیون‌ها و آنیون‌های بازدارنده رشد، درصد جوانه‌زنی، میزان رشد و وزن خشک اندام‌های گیاه بیشتر بوده ولی با افزایش هدایت الکتریکی خاک (سطوح بالاتر بایوچار)، درصد جوانه‌زنی و وزن خشک اندام‌های گیاه اروشیا کاهش یافت.

۳.۲.۲. هدایت الکتریکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف بایوچار مورد مطالعه بر هدایت الکتریکی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین هدایت الکتریکی خاک در تیمار ۹ درصد (۱/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر)، و کمترین هدایت الکتریکی خاک نیز در سطح ۱ درصد (۰/۷۷ دسی‌زیمنس بر متر)، مشاهده شد (شکل ۳). نتایج همچنین نشان داد که سطوح پایین‌تر بایوچار تأثیر مثبتی بر افزایش هدایت الکتریکی خاک نسبت به شاهد نداشته ولی با افزایش بایوچار از سطح ۶ درصد هدایت الکتریکی خاک به طور قابل توجهی نسبت به شاهد (۱/۱۷ دسی‌زیمنس بر متر)، افزایش یافت. افزایش هدایت الکتریکی خاک در اثر کاربرد بایوچار

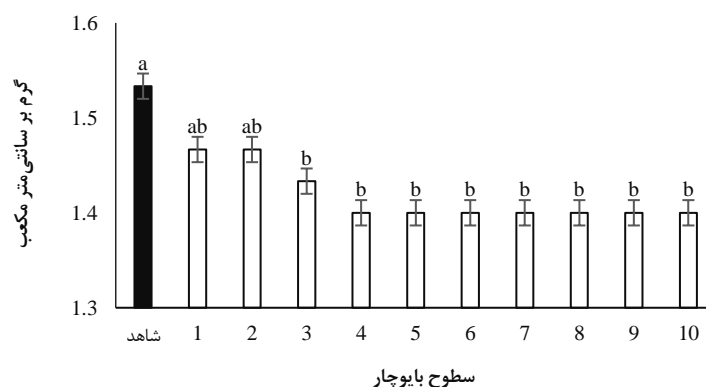


شکل ۳. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بیوچار بر هدایت الکتریکی خاک میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد می‌باشند.

ناشی از تأثیر افزایش ماده آلی خاک در اثر کاربرد بیوچار است. ماده آلی باعث بهبود ساختمان خاک، شکل‌گیری خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها می‌گردد و از این طریق جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. محققین گزارش کردند که عامل اصلی کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر مصرف بیوچار، شکل‌گیری خاکدانه‌ها و افزایش منافذ خاک است [۱]. در گزارشی محققین اظهار داشتند که افزایش منافذ خاک در اثر مواد آلی موجود در بیوچار، باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک گردید و گزارش کردند که جرم مخصوص حقیقی عمدتاً تابعی از نوع ذرات و کانی‌های تشکیل دهنده خاک است و وجود مواد آلی بالا در خاک موجب کاهش این پارامتر می‌گردد [۸]، که با نتایج تحقیق حاضر مغایرت داشت.

۳.۲.۳. جرم مخصوص ظاهری خاک

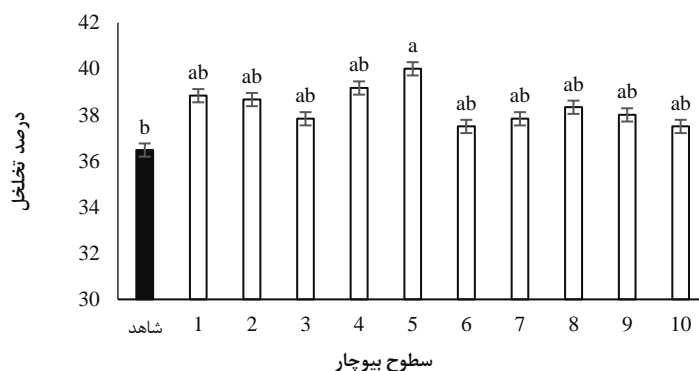
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف بیوچار مورد مطالعه بر جرم مخصوص ظاهری خاک در سطح احتمال پنج درصد نسبت به شاهد معنی‌دار بوده، ولی اثر آن بر جرم مخصوص حقیقی معنی‌دار نبود (جدول ۳). افزودن بیوچار مورد مطالعه به خاک در تمام سطوح مورد استفاده، موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شد (شکل ۴). بیشترین جرم مخصوص ظاهری در تیمار شاهد (۱/۵۳) گرم بر سانتی‌متر مکعب، و کمترین آن در سطوح بالای کاربرد بیوچار مشاهده شد. کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در حضور بیوچار به دو دلیل می‌تواند رخ دهد، یکی مخلوط شدن خاک با ماده‌ای با جرم مخصوص کم‌تر و دیگری



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بیوچار بر جرم مخصوص ظاهری خاک میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد می‌باشند.

۳.۲.۴. درصد تخلخل خاک

نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف بایوچار مورد مطالعه بر میزان تخلخل خاک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش بایوچار در تمام سطوح، موجب افزایش معنی‌دار تخلخل کل خاک نسبت به شاهد شد. بیشترین درصد تخلخل خاک در تیمار ۵ درصد (۴۰/۰ درصد)، و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۳۶/۴ درصد)، مشاهده شد (شکل ۵). لازم به ذکر است که افزودن بایوچار از سطح ۱ تا ۵ درصد اثر افزایشی



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بایوچار بر درصد تخلخل خاک

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد می‌باشند.

بهبود کیفیت خاک توسط بایوچار، تحقیق‌های زیادی روی این مواد غنی از کربن با مواد اولیه گوناگون و شرایط تولید مختلف صورت گرفته است. نتایج تحقیق سایر محققین نیز نشان داد که افزودن بایوچار به خاک باعث افزایش کربن آلی خاک گردیده است [۶ و ۳۴].

۳.۲.۶. درصد آهک خاک

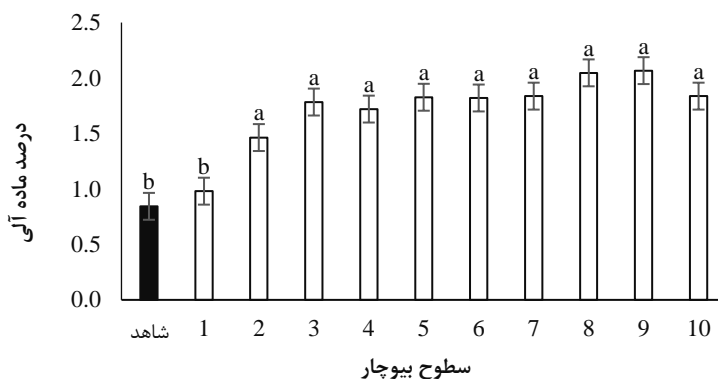
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف بایوچار مورد مطالعه بر درصد آهک خاک در سطح احتمال پنج درصد نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که افزودن بایوچار مورد مطالعه به خاک در تمام سطوح مورد استفاده، موجب کاهش درصد آهک خاک شد (شکل ۷). بیشترین درصد آهک خاک در تیمار شاهد (۲۵ درصد)، و

۳.۲.۵. درصد ماده آلی خاک

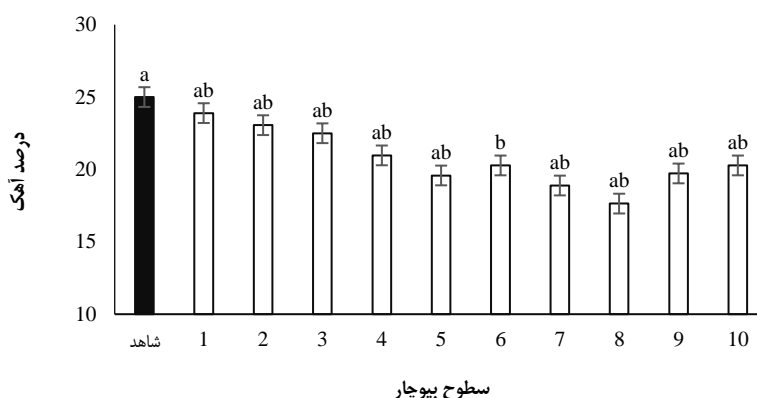
نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف بایوچار مورد مطالعه بر درصد ماده آلی خاک در سطح احتمال یک درصد نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۳). افزودن بایوچار مورد مطالعه به خاک در تمام سطوح مورد استفاده، موجب افزایش درصد ماده آلی خاک نسبت به شاهد خاک شد (شکل ۶). بیشترین درصد ماده آلی خاک در تیمار ۸ و ۹ درصد (به ترتیب ۲/۰۷ و ۲/۰۵ درصد)، و کمترین آن در تیمارهای شاهد (۰/۸۴) مشاهده شد. نتایج محققین نشان داده است که بایوچار یک نوع کربن کاملاً پایدار است و رسوب کربن اولین اثر افزودن بایوچار به خاک می‌باشد [۱۹]. در اثر افزودن بایوچار به خاک، بخشی از کربن آلی موجود در آن به ذخایر کربن در خاک پیوسته و باعث افزایش ماده آلی خاک می‌گردد. به دلیل ترسیب کربن و

خاک و عناصر غذایی خاک و کاهش عناصر کلسیم، سدیم و کلر خاک نسبت داد.

کمترین آن در تیمار ۸ درصد (۱۷/۶۴ درصد)، مشاهده شد. از دلایل این امر می‌توان با افزایش نگهداشت آب در



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بیوچار بر درصد ماده آلی خاک میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد می‌باشند.



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بیوچار بر درصد آهک میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد می‌باشند.

تا ۵ و ۸ درصد اختلاف معنی‌داری نبود. کمترین درصد جوانه‌زنی گیاه اروشیا نیز در سطوح بالاتر کاربرد بیوچار (در تیمار ۱۰ بیوچار حدود ۱۳ درصد و در تیمار ۹ بیوچار حدود ۲۰ درصد)، مشاهده شد. در خصوص تأثیر بیوچار بر درصد جوانه‌زنی گیاهان گزارش‌های مختلفی ارائه شده است، به‌طوری‌که محققین گزارش کردند که بیوچار بر جوانه‌زنی گیاهان تأثیری نداشته [۱۸]، در حالی که برخی دیگر از محققین، اظهار داشتند که بیوچار حتی به میزان کم، جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد و هیچ تأثیر منفی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ندارد [۱۲، ۲۴ و ۳۱].

۳.۳. اثر سطوح مختلف بیوچار بر خصوصیات

جوانه‌زنی و صفات مورفولوژیک گیاه اروشیا

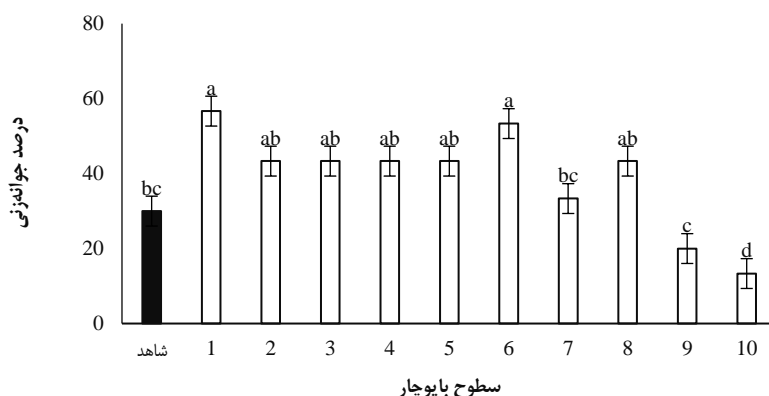
۳.۳.۱. درصد جوانه‌زنی

نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف بیوچار بر درصد جوانه‌زنی گیاه اروشیا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با افزایش بیوچار به خاک تا سطح ۸ درصد، بر درصد جوانه‌زنی گیاه اروشیا افزوده شد (شکل ۸). تیمارهای ۱ و ۶ درصد به ترتیب با ۵۶/۷ و ۵۳/۳ درصد از بیشترین درصد جوانه‌زنی برخوردار بوده و بین تیمارهای ۲

جدول ۴. جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بایوچار بر خصوصیات جوانه‌زنی و صفات مورفولوژیک گیاه اروشیا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	درصد جوانه‌زنی نهایی
تیمار	۱۰	۰/۰۰۶۰**	۰/۰۰۶۱**	۵۵۶/۳۶**
خطا	۲۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۶	۱۱۸/۱۸
ضریب تغییرات	-	۱۸/۱۸	۲۱/۲۷	۱۹/۸۹
ارتفاع بوته				۱۰۷/۵۰*

ns، ** و * به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح آماری یک و پنج درصد.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بایوچار بر درصد جوانه‌زنی گیاه اروشیا

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد می‌باشند.

بالای بایوچار می‌توان به افزایش میزان رطوبت و عناصر غذایی در لایه‌های سطحی خاک در اثر کاربرد بایوچار اشاره کرد که به دلیل تأمین آب مورد نیاز گیاه از لایه‌های فوقانی، گیاه نیازی به توسعه ریشه نخواهد داشت [۱۷]. محققان دیگری نیز به تأثیر بهتر مقدار متعادلی از بایوچار در مقایسه با مقادیر پایین و بالای آن اشاره کردند. البته تنظیم میزان اسیدیت و هدایت الکتریکی خاک در حد متعادل و در نتیجه رشد بهتر گیاه در تیمارهای مقدار متوسط بایوچار از دلایل بهتر بودن این تیمارها نسبت به مصارف بالای بایوچار عنوان شده است [۹ و ۱۸].

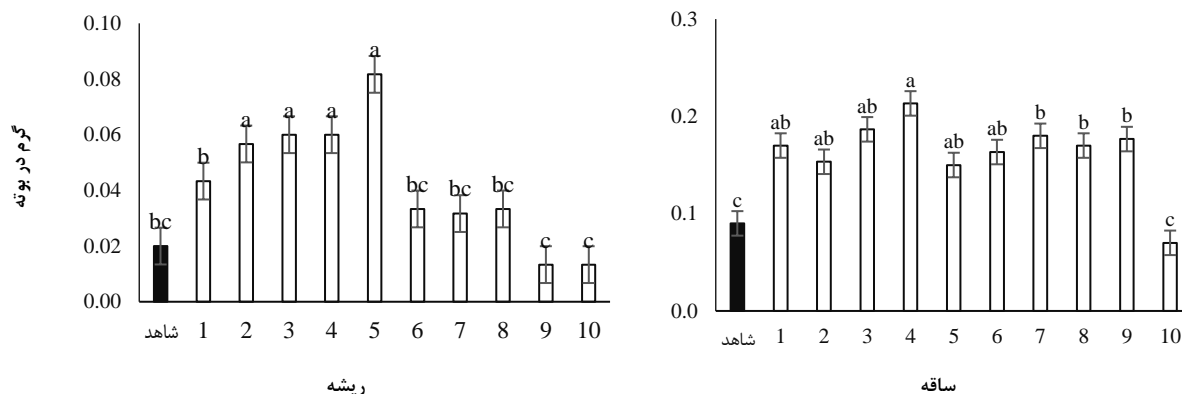
لازم به ذکر است که افزودن بایوچار به خاک به علت افزایش ماده آلی (شکل ۶)، و عناصر مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن، به خاک که تأثیر مستقیمی بر رشد رویشی گیاه دارند باعث افزایش وزن خشک ساقه گیاه اروشیا شد. در سطح ۴ درصد وزنی بایوچار گیاه اروشیا به علت استفاده

۳.۳.۲. وزن خشک اندام‌های ساقه و ریشه

نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف بایوچار بر وزن خشک اندام‌های ساقه و ریشه گیاه اروشیا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش بایوچار تا سطح ۹ درصد، بر وزن خشک ساقه گیاه اروشیا افزوده شد (شکل ۹). نتایج همچنین نشان داد که با افزایش بایوچار به خاک تا سطح ۵ درصد، بر وزن خشک ریشه گیاه اروشیا افزوده شد و در سطوح بالاتر از ۵ درصد وزنی بایوچار، وزن خشک ریشه کاهش یافت (شکل ۸). به طور کلی بیشترین مقدار زیست توده ساقه و ریشه در تیمار ۴ درصد وزنی مشاهده شد. کمترین مقدار وزن خشک ساقه در تیمارهای شاهد و ۱۰ درصد وزنی بایوچار و وزن خشک ریشه در تیمارهای ۹ و ۱۰ درصد وزنی مشاهده شد. از دلایل عدم توسعه و رشد ریشه در غلظت‌های

روی و مس می‌باشد و فراهمی عناصر غذایی بر اثر افزودن بایوچار به خاک می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تغییر اسیدیته خاک و یا افزودن مستقیم عنصر از بایوچار به خاک افزایش یافته و باعث افزایش رشد رویشی و زایشی گیاهان شود [۱].

بهتر از عناصر غذایی و بهینه بودن اسیدیته، تخلخل و هدایت الکتریکی خاک نسبت به سایر تیمارهای مورد مطالعه، درصد جوانه‌زنی و رشد بهتری داشته؛ لذا وزن خشک ساقه آن بیشتر بود. محققین گزارش کردند که بایوچار منبعی مستقیم برای عناصر پتاسیم، کلسیم، فسفر،

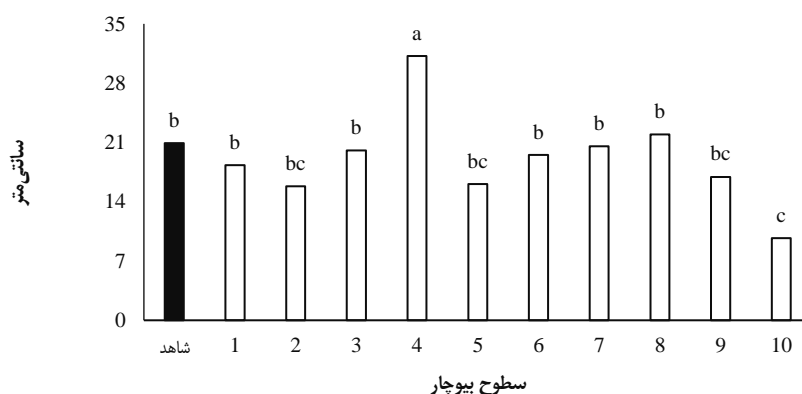


شکل ۹- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بایوچار بر وزن خشک اندام‌های ساقه و ریشه گیاه اروشیا میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد می‌باشند.

ارتفاع بوته در تیمار ۴ درصد وزنی (۳۱/۲ سانتی‌متر)، و کمترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۰ درصد وزنی (۹/۷ سانتی‌متر)، مشاهده شد. بین تیمارهای شاهد و سایر سطوح کاربرد بایوچار نیز تقریباً از لحاظ ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱۰).

۳.۳.۳. ارتفاع بوته

اثر سطوح مختلف بایوچار بر ارتفاع بوته گیاه اروشیا در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بایوچار بر ارتفاع بوته گیاه اروشیا میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد می‌باشند.

(به ترتیب ۲/۰۷ و ۲/۰۵ درصد)، و کمترین آن در تیمار شاهد (۰/۸۴)، مشاهده شد. بنابراین به طور کلی سطوح ۳ تا ۱۰ درصد وزنی بایوچار در بهبود صفات اسیدیت، هدایت الکتریکی، درصد تخلخل و ماده آلی خاک نقش مثبت بیشتری نسبت به سایر سطوح کاربرد بایوچار داشتند.

با افزودن سطوح مختلف بایوچار به خاک نیز به علت تنظیم میزان اسیدیت و هدایت الکتریکی و افزایش ماده آلی خاک، بر وزن خشک اندام‌های ساقه و ریشه گیاه اروشیا نسبت به شاهد افزوده شد؛ به طوری که تیمارهای ۱ تا ۵ درصد وزنی بیشترین تأثیر را بر رشد و جوانه‌زنی گیاه اروشیا داشتند. بنابراین کاربرد سطوح مختلف بایوچار طبیعی مورد مطالعه در این پژوهش در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و بهبود عملکرد گیاه مرتعی اروشیا تأثیر مثبتی داشت و استفاده از آن در جهت حفاظت از خاک، مراتع و افزایش تولیدات دامی کشور می‌تواند مدنظر باشد.

محققین گزارش کردند که کاربرد سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم بایوچار تولید شده از پوسته برنج، سبب افزایش نهایی زیست توده گیاهی، زیست توده ریشه، ارتفاع گیاه و تعداد برگ‌ها در کاهو و کلم در مقایسه با شاهد (بدون استفاده از بایوچار)، شد [۲۴].

۴. نتیجه گیری نهایی

نتایج نشان داد که اثر سطوح بایوچار طبیعی بر اسیدیت، هدایت الکتریکی و درصد ماده آلی خاک جرم مخصوص ظاهری، درصد تخلخل، درصد آهک، درصد‌های رس، سیلت و ماسه معنی‌دار بود. به طور کلی افزودن سطوح مختلف بایوچار باعث افزایش اسیدیت، هدایت الکتریکی، درصد تخلخل کل، درصد ماده آلی خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شد. افزودن بایوچار از سطح ۱ تا ۵ درصد اثر افزایشی بیشتری نسبت به سایر سطوح کاربرد بایوچار بر میزان تخلخل خاک داشت. بیشترین درصد ماده آلی خاک نیز در تیمار ۸ و ۹ درصد

References

- [1] Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M. and Wessolek, G. (2013). Impact of biochar and hydro char addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202: 183-191.
- [2] Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S. and Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water (a review). *Chemosphere*, 99: 19-33.
- [3] Barahimi, N., Afyuni, M., Karami, M. and Rezaee Nejad, Y. (2009). Cumulative and residual effects of organic amendments on nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in soil and wheat. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(46): 803-812. (In Persian).
- [4] Bass, A. M., Bird, M. I., Kay, G. and Muirhead, B. (2016). Soil properties, greenhouse gas emissions and crop yield under compost, biochar and co-composted biochar in two tropical agronomic systems. *Science of the Total Environment*, 550: 459-470.
- [5] Beesley, L. and Marmiroli, M. (2011). The immobilization and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. *Environmental Pollution*, 159: 474-480.
- [6] Chen, Y., Shinogi, Y. and Taira, M. (2010). Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality. *Soil Research*, 48: 526-530.
- [7] Chintala, R., Molinedo, J., Schumacher, T. E., Papiemik, S. K., Malo, D. D., Clay, D. E., Kumar, S. and Gulbrandson, D. W. (2013). Nitrate Sorption Desorption in Biochar from Fast Pyrolysis. *Journal of Microporous and Mesoporous Materials*, 179(78): 250-257.

- [8] Devereux, R. C., Sturrock, C. J. and Mooney, S. J. (2013). The Effects of Biochar on Soil Physical Properties and Winter Wheat Growth. *Journal of Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 103(1): 13-18.
- [9] Dispenza, V., Pasquale, C. D., Fascella, G., Mammano, M. M. and Alonzo, G. (2016). Use of biochar as peat substitute for growing substrates of *Euphorbia × Nigella* L. *Journal of Essential Oil Research*, 12: 36-38.
- [10] Domene, X., Mattana, S., Hanley, K., Enders, A., Lehmann, J. 2014. Medium-term effects of corn biochar addition on soil biota activities and functions in a temperate soil cropped to corn. *Soil Biology and Biochemistry*, 72: 152-162.
- [11] Feng, L., Zhang, L. and Fen, L. (2014). Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil amended with sewage sludge compost. *International Bio deterioration and Biodegradation*, 95: 200-207.
- [12] Gaskin, J. W., Steiner C., Harris K., Das K. C. and Bibens B. (2008). Effect of Low-temperature Pyrolysis Conditions on Biochar for Agricultural Use, *Journal of Transactions of the ASABE*, 51 (6): 2061–2069.
- [13] Glaser, B., Parr, M., Braun, C. and Kopolo, G. (2009). Biochar is carbon negative. *Nature Geoscience*, 2: 2-10.
- [14] Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V. and Deng, H. (2015). Physicochemical Properties and Microbial Responses in Biochar-amended Soils: Mechanisms and Future Directions. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment*, 206: 46-59.
- [15] Holecheck, J. L., Pipper, R. D. and Herbel, C.H. (2004). *Range Management (Principles and Practices)*, Englewood New Jersey, USA, 9 p.
- [16] Jeffery, S., Bezemer, T. M., Cornelissen, G., Kuypers, T. W., Lehmann, J., Mommer, L., Sohi, S. P., Vande Voorde, T. F. J., Wardle, D. A. and Van Groenigen, J. W. (2015). The way forward in biochar research: targeting trade-offs between the potential wins. *Global Change Biology and Bioenergy*, 7: 1-13.
- [17] Jemal, K. and Abebe, A. (2016). Determination of bio-char rate for improved production of Lemmon grass. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 4(2): 149-157.
- [18] Jones, D. L., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T. H. and Murphy, D. V. (2012). Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three-year field trial. *Soil Biology and Biochemistry*, 45:113-124.
- [19] Kameyama, K., Miyamoto, T., Shiono, T. and Shinogi, Y. (2012). Influence of Sugarcane Bagasse-derived biochar application on nitrate leaching in calcaric dark red soil. *Journal of Environmental Quality*, 41(4): 1131-1137.
- [20] Kent, G. A., Douglass, F. and Kasten Dumerose, R. (2009). Root desiccation and drought stress responses of bare root *Quercus rubra* seedlings treated with a hydrophilic polymer root dip. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 104(315): 229-240.
- [21] Kumar, S., Masto, R., Sarkar, P., George, J. and Selvi, V. A. (2013). Biochar preparation from parthenium hysterophorus and its potential use in soil application. *Journal of Ecological Engineering*, 55 (3): 67-72.
- [22] Lei, o. and Zhang, R. (2013). Effects of biochar derived from different feed stocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. *Journal of Soils Sediments*, 13(9): 1561-1572.
- [23] Ogawa, M., Okimori, Y. and Takahashi, F. (2006). Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11: 421-436.
- [24] Oh, T. K., Shingo Y., Chikushi J., Lee Y. H. and Bong, S. C. (2012). Effect of Aqueous Extract of Biochar on Germination and Seedling Growth of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 57 (1), 55–60.
- [25] Oldfield, E. E, Wood, S. A, Palm, C. A. and Bradford, M. A. (2015). How much soil organic matter is needed for sustainable agriculture? *Frontiers in Ecology and Evolution*, 13: 527–527.
- [26] Oldfield, E. E, Wood, S. A, Palm, C. A and Bradford, M. A. (2017). Direct effects of soil organic matter on productivity mirror those observed with organic amendments. *Plant and soil*, 423: 363-373.
- [27] Rezaipoorbaghdar, A., Hakimi, M. H., Sadeghinia, M., Azimzadeh, H. R. 2011. Effect of some soil properties on distribution of *Eurotia ceratoides*. *Journal of Rangeland Science*, 2(1): 417-424.
- [28] Robertson, G. P., Gross, K. L. and Hamilton, S. K. (2014). Farming for ecosystem services: an ecological approach to production agriculture. *Bioscience*, 64: 404–415.

- [29] Tan, X. F., Liu, Y. G., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y. and Yang, Z. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*, 125: 70-85.
- [30] Tefera, B. and Sterk, G. (2010). Land management, erosion problems and soil and water conservation in Fincha watershed, Western Ethiopia. *Journal by Land Use Policy*, 27: 1027-1037.
- [31] Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J. and Cowie A. (2010). Effects of Biochar from Slow Pyrolysis of Peppermill Waste on Agronomic Performance and Soil Fertility, *Journal of Plant and Soil*, 327 (2): 235-246.
- [32] Wang, Y., Hu, Y., Zhao, X., Wang, S. and Xing, G. (2013). Comparisons of biochar properties from wood material and crop residues at different temperatures and residence time. *Energy and Fuels*.
- [33] Yuan, J. H. and Xu, R. K. (2011). The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic ultisol. *Soil Use and Management*, 27: 110-115.
- [34] Zhang, L. and Sun., X. (2014). Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. *Bio Resource Technology*, 171: 274-284.
- [35] Zohdi, M. 2020. Range management in Iran. *Iran's Natural Resources*, 4(6): 19-23.

Impact of different levels of natural biochar on some soil properties, germination percentage, and yield of Pamirian winterfat (*Eurotia ceratoides*) rangeland plant

- ❖ **Raziyeh Dehghani**; PhD Graduate in rangeland management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
- ❖ **Mohammad Jafari***; Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
- ❖ **Mohammad Ali Zare Chahouki**; Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
- ❖ **Salman Zare**; Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
- ❖ **Ali Tavili**; Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
- ❖ **Bavak Motesharezade**; Professor, Faculty of Soil Science, University of Tehran, Karaj, Iran.

Abstract

The use of biochar as a soil amendment is one of the new methods to improve soil properties and increase plant yield. In this study, in order to evaluate the effect of adding natural biochar on soil properties and yield of Pamirian winterfat (*Eurotia ceratoides*) plant, an experiment in a completely randomized design were performed with 11 treatments by different levels of biochar (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, and 10% by weight) and three replications in greenhouse conditions. After the end of the growing season, some physical and chemical properties of the soil (pH, EC, organic matter (%), lime, bulk density, particle density, and porosity percentage), germination percentage, and yield of *E. ceratoides* were measured. In all the studied traits of the soil (except for the particle density), and the characteristics of the *E. ceratoides* plant, the statistical difference between the various levels of biochar was significant ($\alpha = 0.01$). Adding different levels of biochar increased pH, EC, soil porosity percentage, soil organic matter, whereas decreased bulk density, lime percentage, clay percentage, sand, and silt. The addition of biochar from 3 to 10 weight percentage can increase the pH and EC of the soil compared to the control and other treatments with lower levels of biochar. The highest soil bulk density and lime were observed in the control treatment (1.53 g/cm³ and 25%, respectively). The addition of biochar from 1 to 5% by weight had a greater incremental effect than other levels of biochar treatments on soil porosity. The highest percentage of soil organic matter was observed in 8 and 9% weight treatments (2.07% and 2.05%, respectively), and the lowest was obtained in control treatment (0.84 %). Therefore, levels of 3 to 10% by weight of biochar had a more positive effect in improving pH, EC, porosity percentage and soil organic matter. By adding different levels of biochar to the soil, the wet and dry weights of the roots of the *E. ceratoides* plant were increased compared to the control treatment, as treatments of 1 to 5% by weight had the greatest positive effect on the growth and germination of this plant. Therefore, the application of different levels of natural biochar studied

in this research had a positive effect on improving the physical and chemical properties of the soil and enhancing the growth and germination characteristics of the *E. ceratoides* plant.

Keywords: Pamirian winterfat, pH, Organic matter, Soil particle density, Electrical conductivity.