مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال شانزدهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۳
ص ۸۶-۷۱
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2023.388743.1920

نقش زغال زیستی در بهبود زنده‌مانی، رشد و صفات فیزیولوژی نهال‌های دست‌کاشت دیمِ سرو نقره‌ای، در یک منطقهٔ نیم‌خشک کوهستانی

دنیا احمدی[۱]، مسعود طبری کوچکسرایی[۲*]، سید احسان ساداتی[۳]، یدالله داودی کارسالاری[۴]، بهروز محمدی[۴] و کاظم نورمحمدی[۵]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
[۲] استاد گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
[۳] دانشیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، ساری، ایران
[۴] کارشناس ارشد ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری مازندران، ساری، ایران
[۵] دانشجوی دکتری، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۵/۲۴)

چکیده

مقدمه: زغال زیستی (بیوچار) ماده‌ای غنی از کربن متخلخل است که به‌عنوان اصلاح‌کنندهٔ خاک و با توانایی حفظ مواد غذایی و آب و افزایش تحمل به خشکی گیاهان مورد توجه است. هدف پژوهش حاضر، بررسی کاربرد زغال زیستی (با منشأ چوب ممرز و دمای پیرولیز ۴۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد) بر زنده‌مانی، رشد و صفات فیزیولوژی نهال‌های سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green) در شرایط دیم و آبیاری در یک عرصهٔ جنگلی تخریب‌یافتهٔ کوهستانی (دوآب سوادکوه، شمال ایران) بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌مدت پنج ماه در ماه‌های خشک بهار و تابستان انجام گرفت. ترکیب تیمارها عبارت بود از: ۱. خاک شاهد- آبیاری؛ ۲. خاک شاهد- دیم؛ ۳. خاک تیمارشده با زغال زیستی-آبیاری؛ ۴. خاک تیمارشده با زغال زیستی-دیم. برای مشخص شدن اثر معنی‌داری تیمارها از آنالیز واریانس دوطرفه و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون تی جفتی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که صرف‌نظر از اثر تیمار خاک، نهال‌های آبیاری‌شده از زنده‌مانی بیشتری (۹۰ درصد) در مقایسه با نهال‌های دیم (۵۶ درصد) برخوردار بودند. درحالی که در شرایط دیم، زنده‌مانی در تیمار زغال زیستی، ۷۵ درصد و تقریباً دوبرابر خاک شاهد بود. در هر دو حالت دیم و آبیاری، نهال‌های رشدیافته در خاک تیمارشده با زغال زیستی، نسبت به خاک شاهد بزرگ‌تر بودند. بدون در نظر گرفتن اثر تیمار خاک، فتوسنتز و تعرق در شرایط دیم کاهش یافت. همانند تیمار آبیاری، تیمار زغال زیستی سبب افزایش صفات تبادلات گازی (۲۰ تا ۶۰ درصد) نهال‌ها نسبت به مقادیر این صفات در خاک شاهد شد. هدایت مزوفیلی، محتوای رطوبت نسبی برگ و رنگدانه‌های فتوسنتزی در تیمار آبیاری بیشتر از شرایط دیم بود.

نتیجه‌گیری: برای احیای عرصه‌های تخریب‌یافتهٔ جنگلی مناطق نیم‌خشک کوهستانی شمال کشور با نهال سرو نقره‌ای، می‌توان توصیه کرد که در سال‌های اولیه، نهال‌ها بدون اعمال زغال زیستی و فقط با آبیاری مدیریت شوند، اما در شرایط دیم بهتر است از زغال زیستی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: رنگدانه‌های فتوسنتزی، رویش طولی، زنده‌مانی، سرو سیمین، محتوای رطوبت نسبی برگ.

[*] نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۱۲۲۴۶۲۵۰
ایمیل: mtabari@modares.ac.ir

مقدمه

کمبود آب از چالش‌های مهم در دهه‌های اخیر است که بحرانی‌ترین فاجعه در زندگی انسان و محیط زیست خوانده می‌شود (Hafeez et al., 2017). به‌دنبال پدیدهٔ تغییر اقلیم، تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای محیطی است که ویژگی‌های خاک و در پی آن بسیاری از فرایندهای فیزیولوژی مرتبط با تولید، مانند فتوسنتز، تجمع مواد هیدراتی و رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Davis et al., 2019; Boucher et al., 2020; Ghanbary et al., 2018, 2021).

گیاهان در شرایط کم‌آبی می‌توانند از طریق حداکثر جذب آب از خاک یا حداقل اتلاف آب از اندام‌های خود، با خشکی مقابله کنند (Arndt et al., 2001). از اقدامات مؤثر برای بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب، افزایش کارایی آبیاری و کاهش تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد گیاه به‌منظور حفظ ذخیرهٔ رطوبتی خاک، اعمال مدیریت صحیح و به‌کارگیری روش‌های نوین است (Kouchakzadeh et al., 2000; Maghsodian et al., 2021). در این زمینه، استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک (ورمیکولایت، تورب و مواد پلیمری سوپرجاذب)، مواد معدنی جاذب رطوبت و نیز کاربرد و اختلاط برخی مواد افزودنی (لجن فاضلاب، بقایای گیاهی و کمپوست) در خاک می‌تواند قابلیت ذخیره‌سازی و نگهداری آب خاک را افزایش دهد (Polat et al., 2004؛ Nazari et al., 2010؛ Fallahi et al., 2015). همچنین، فراهم کردن محیط مناسب خاک از راه بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، تأمین مواد غذایی و افزایش مواد آلی (Rezaei Rashti et al., 2019)، سبب افزایش رشد و سلامت گیاه (Ohsowski et al., 2012; Rajapaksh et al., 2016) و (Davis et al., 2013; Gebhardt et al., 2017 کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (Laird et al., 2008; Owen et al., 2008) می‌شود. برای نشان دادن اهمیت آنها در کیفیت نهال‌های تولیدی پژوهش‌های زیادی در جهان انجام گرفته است (Chong et al., 2000; Marianthi et al., 2006; Owen et al., 2008; Manas et al., 2008). در ایران نیز می‌توان به گزارش‌هایی دربارهٔ برخی گونه‌های جنگلی مثل گلابی وحشی (Zarafshar et al., 2013)، استبرق (Bahmani et al., 2013)، کاج حلب و کاج بروسیا (Ahmadloo et al., 2011)، ارغوان (Nourozi Haroni et al., 2017) و اکالیپتوس (Rad et al., 2011) اشاره کرد.

زغال زیستی (بیوچار) یکی از اصلاح‌کننده‌های خاک برای رفع مشکل حاصلخیزی و حفظ رطوبت خاک، است. این ماده حاصل پیرولیز زیست‌تودهٔ گیاهی و ضایعات کشاورزی و غنی از کربن است که تحت حرارت در نبود اکسیژن یا با مقدار کم آن تهیه می‌شود و می‌تواند مقدار زیادی از گازهای گلخانه‌ای را برای طولانی‌مدت (قرن‌ها) درون خود ذخیره کند و یکی از عوامل مهم در تهویه و اصلاح خاک و ساختار میکروسکوپی به‌شمار می‌آید؛ به‌طوری‌که سطح تماس مواد آلی اولیه با تبدیل به زغال زیستی چندهزار برابر می‌شود (Beesley & Marmiroli, 2011). زغال زیستی به‌دلیل توانایی برای حفظ مواد غذایی و آب، بهبود حاصلخیزی خاک، ترسیب کربن، کاهش تغییرات اقلیمی و همچنین افزایش تحمل به خشکی گیاهان، توجه فراوانی را در تحقیقات و اجرا جلب کرده است (Major et al., 2010; Novak et al., 2009).

در برنامهٔ جامع صیانت از جنگل‌های کوهستانی و نیمه‌خشک (تا خشک) شمال ایران، توسعه و احیا اولویت دارد. از سویی ایران با بحران کم‌آبی مواجه است که سبب می‌شود در مناطق خشک و نیمه‌خشک، غیر از به‌کارگیری روش‌هایی برای حفظ و ذخیرهٔ رطوبت خاک (با اهداف افزایش کارایی مصرف آب و کاهش تبخیر سطحی خاک) یا اصلاح‌کننده‌های خاک (Paneque et al., 2016)، از گونه‌های جنگلی بردبار به خشکی استفاده شود. یکی از گونه‌های بردبار

به خشکی، سرو نقره‌ای یا سرو سیمین (*Cupressus arizonica* Green) است (Sadeghi et al., 2016) که زیستگاه طبیعی آن کوه‌های جنوب شرقی آریزونا تا جنوب غربی نیومکزیکو و نیز جنوب کالیفرنیا و شمال مکزیک است. این گیاه درختی است روشنی‌پسند، دیرزیست و حساس به آتش که در دامنه‌های جنوبی مناطق مرتفع و خشک رشد مناسب‌تری دارد (Mossadegh, 1994). سرو نقره‌ای مقاوم به خشکی و یخبندان است و در آب‌وهوای معتدلِ گرم و معتدل سرد هم می‌روید. ازآنجا که این درخت به سرمای شدید (۲۵- تا ۳۰- درجهٔ سانتی‌گراد) مقاوم است، کاربرد وسیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان یافته است (Khakdaman et al., 2008). در داخل کشور به‌ویژه از چهار دههٔ گذشته، سرو نقره‌ای به‌عنوان گونهٔ اصلی درختی جنگلکاری‌ها، در مقیاس وسیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور کاشته شده است (Sabeti, 2008).

به‌طور کلی، پژوهش‌های اندکی دربارهٔ تأثیر زغال زیستی بر پاسخ گیاهان چوبی و درختان جنگلی صورت گرفته و بیشتر آنها دربارهٔ محصولات کشاورزی بوده است. این تحقیق در نظر دارد در یک منطقهٔ جنگلی تخریب‌یافتهٔ کوهستانی شمال کشور (دوآب سوادکوه) که به لحاظ خشکی و سرما دارای اقلیمی سخت و شکننده است، برای نخستین بار به بررسی اثر مادهٔ زغال زیستی بر رشد و زنده‌مانی نهال‌های جنگلکاری‌شدهٔ سرو نقره‌ای در شرایط دیم (و آبیاری) بپردازد.

مواد و روش‌ها

روش پژوهش

در این تحقیق، در یک عرصهٔ جنگلی تخریب‌یافتهٔ کوهستانی (شکل ۱) در درهٔ تالار (منطقهٔ دوآب سوادکوه، ارتفاع ۱۱۰۰ متر از سطح دریا، شمال ایران) که دارای اقلیمی سخت و شکننده (تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد) است، ۱۲۰ اصله نهال یک‌سالهٔ گلدانی سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green) در گودال‌هایی به ابعاد ۴۰×۴۰×۴۰ سانتی‌متر به فواصل ۲×۲ متر کاشته شد. در فروردین، در اطراف ریشهٔ نیمی از چاله‌های کاشت، ۶۰۰ گرم (۲/۴ درصد وزنی) کود زغال زیستی تزریق شد (شکل ۲ چپ) و نیمی دیگر فقط از خاک اصلی (محل) پر شد (شکل ۲، راست). از اوایل خرداد تا اوایل شهریور، نیمی از نهال‌ها پس از کاشت در هر ۱۵ روز به اندازهٔ ۱۰ لیتر آبیاری شده (در کل شش بار) و نیمی دیگر به‌صورت دیم (بدون آبیاری) مدیریت شدند. طرح آزمایش به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار ده‌تایی بود که به‌مدت ۱۵۰ روز اجرا شد.

شایان ذکر است که به‌منظور تولید زغال زیستی از چیپس چوب ممرز استفاده شد که در شرایط محدود اکسیژن به دمای ۴۵۰ درجهٔ سلسیوس و به‌مدت ۴۵ دقیقه در کورهٔ پیرولیز قرار گرفته بود. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک طبیعی استفاده‌شده برای پر کردن گلدان‌ها و نیز زغال زیستی استفاده‌شده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک طبیعی محل و زغال زیستی استفاده‌شده در چاله‌های کاشت

Table 1. Chemical and physical characteristics of the natural soil and biochar used in the planting pits

بستر	رس Clay (٪)	سیلت Silt (٪)	ماسه Sand (٪)	نیتروژن N (٪)	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol/kg) CEC	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	pH	درصد مادهٔ آلی Organic matter (%)
خاک طبیعی Natural soil	37	41	22	0.01	4.6	101	7.6	1.2	7.9	3.02
بیوچار Biochar	-	-	-	0.52	88.5	1100	69.62	0.6	7	78.88

شکل ۱- نمایی از آماده‌سازی عرصه برای جنگلکاری با سرو نقره‌ای
Figure 1. A view of the preparation of the field for plantation with *C. arizonica*

شکل ۲- راست: نهال کاشته‌شده روی خاک طبیعی؛ چپ: بیوچار اعمال‌شده پای نهال (قبل از چنگک زدن و مخلوط کردن با خاک طبیعی).
Figure 2. On the right: seedling planted on natural soil, on the left: biochar applied to the foot of the seedling (before raking and mixing with natural soil)

اندازه‌گیری‌ها

اندازه‌گیری اولیهٔ ارتفاع نهال، بلافاصله پس از کاشت و اندازه‌گیری ثانویه به‌همراه شمارش نهال‌های زنده در انتهای دوره انجام گرفت. پارامترهای فیزیولوژیک نهال‌ها از جمله نرخ فتوسنتز خالص (A)، نرخ تعرق (E) و هدایت روزنه‌ای (Gs) با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی قابل حمل (LiCor LI-6400 (Inc., Lincoln, USA تعیین شد. برای این منظور، از هر ترکیب تیمار سه نهال و از هر نهال، چهار برگ کاملاً توسعه‌یافته و سالم از قسمت بالایی

نهال انتخاب شد. اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۱۲-۹ صبح در یک روز آفتابی با شدت نور ۱۴۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه در پایان آزمایش انجام گرفت (Zarafshar et al., 2013). اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ مطابق رابطهٔ (Wahid & Rasul, 2005)، و رنگیزه‌های گیاهی (محتوای کلروفیل‌ها و کارتنوئید) مطابق روش Arnon (1949) انجام گرفت (رابطه ۱).

رابطهٔ ۱ $RWC=[(FW-DW)/(SW-DW)] \times 100$

RWC محتوای نسبی آب برگ، DW وزن خشک، FW وزن تر و SW وزن آماس است.

روش تحلیل

پس از اندازه‌گیری و ثبت مقادیر متغیرها، بانک اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار Excel 2013 برای تجزیه‌وتحلیل و رسم نمودارها تشکیل شد. نرمال بودن و همگنی داده‌ها به‌ترتیب با آزمون‌های کولموگروف- اسمیرنوف و لون تعیین شد. از تحلیل واریانس دوطرفه و آزمون تی جفتی برای بررسی اثر تیمارها (آبیاری، زغال زیستی) و مقایسهٔ میانگین صفات استفاده شد. به این منظور نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۳ به‌کار گرفته شد.

نتایج

زنده‌مانی و رویش ارتفاعی

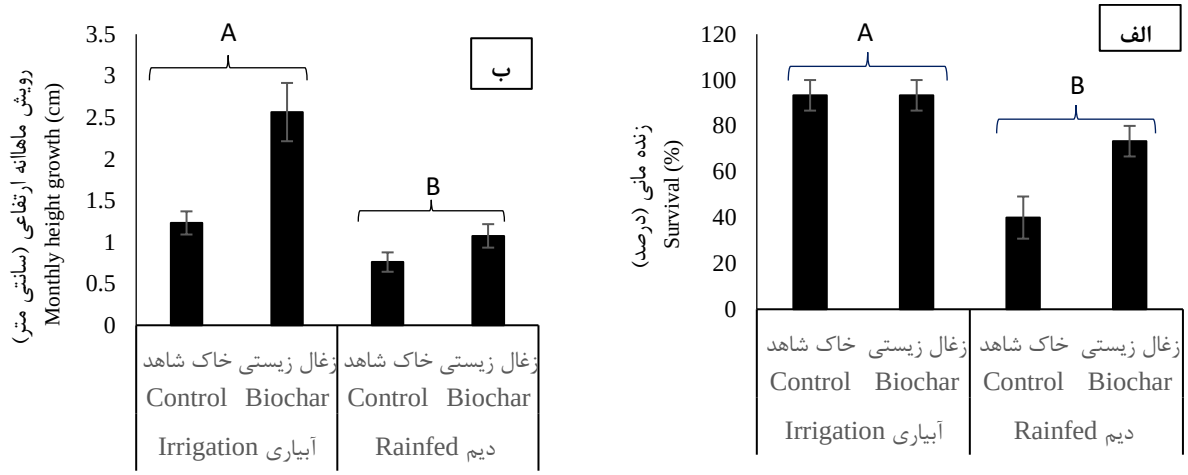
شاخص زنده‌مانی و رویش ارتفاعی سرو نقره‌ای تحت تأثیر فاکتورهای مستقل زغال زیستی و رژیم آبیاری قرار گرفت ($p<0.05$)، اما اثر متقابل آنها بر این شاخص‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). صرف‌نظر از اثر تیمار خاک، نهال‌های آبیاری‌شده از زنده‌مانی بیشتری (۹۰ درصد) در قیاس با نهال‌های دیم (۵۶ درصد) برخوردار بود. درحالی که در شرایط دیم، زنده‌مانی در تیمار زغال زیستی ۷۵ درصد و تقریباً دوبرابر آن در خاک شاهد بود. همچنین مقدار آن در خاک شاهد در شرایط آبیاری حدود ۹۰ درصد و در شرایط دیم حدود ۴۰ درصد، و در زغال زیستی در شرایط آبیاری حدود ۹۰ درصد و در شرایط دیم حدود ۷۰ درصد بود (شکل ۳ الف). با افزودن زغال زیستی به خاک، رشد ارتفاعی در هر دو شرایط آبیاری و دیم افزایش یافت (شکل ۳، جدول ۳). بیشترین رشد ارتفاعی نهال‌ها ۲/۵۶ سانتی‌متر در ماه (حدود دوبرابر تیمار خاک شاهد- آبیاری) در سطح ترکیبی زغال زیستی- آبیاری و کمترین آن متعلق به تیمار خاک شاهد- دیم (۰/۴۶ سانتی‌متر در ماه) بود (شکل ۳ ب).

جدول ۲- نتایج تجزیهٔ واریانس دوطرفهٔ زنده‌مانی و رویش ارتفاعی نهال‌های سرو نقره‌ای

Table 2. The results of two-way ANOVA of survival and height growth of *C. arizonica* seedlings

تیمار Treatment	زنده‌مانی Survival		رویش ارتفاعی Height growth	
	d.f.	F	d.f.	F
خاک Soil	1	2.08^{ns}	1	10.15**
آبیاری Irrigation	1	10.08*	1	14.35**
خاک × آبیاری Soil × Irrigation	1	2.10 ^{ns}	1	3.87 ^{ns}

* معنی‌دار significant؛ **، ns غیر معنی دار non-significant



شکل ۳- زنده‌مانی و رویش ماهانهٔ ارتفاعی (میانگین ± انحراف معیار) نهال‌های سرو نقره‌ای تحت تأثیر تیمارهای خاک و آبیاری

حروف بزرگ نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار آبیاری و دیم بدون در نظر گرفتن تیمار خاک است

Figure 3. Survival and monthly height growth (mean ± sd) of *C. arizonica* seedlings under the soil and Irrigation treatments, Capital letters indicate significance between irrigation and rainfed treatments, regardless of soil treatment

جدول ۳- نتایج آزمون تی مستقل متغیرهای اندازه‌گیری‌شده بین خاک شاهد و زغال زیستی (صرف‌نظر از تیمار آبیاری) در نهال‌های سرو نقره‌ای

Table 3. Independent t-test results of measured variables between control soil and biochar (regardless of irrigation treatment) in *C. arizonica* seedlings

P sig.	t	خاک تیمارشده با زغال زیستی Soil treated with biochar	خاک شاهد Natural soil	متغیر variable
0.01	2.85	1.94± 0.3a	1.1± 0.11 b	رویش ماهانهٔ ارتفاعی (سانتی‌متر) Height growth (cm)
0.01	2.75	4.5± 0.13a	4± 0.11 b	فتوسنتز (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) Photosynthesis(μmol. $m^{-2}s^{-1}$)
0.00	3.19	0.04± 0.01a	0.03± 0.002 b	هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه) Stomatal conduction (mol. $m^{-2}s^{-1}$)
0.00	3.6	0.85± 0.05a	0.59± 0.06 b	تعرق (مول بر متر مربع بر ثانیه) Transpiration (mmol $m^{-2}s^{-1}$)
0.00	2.78	0.012± 0.001a	0.01± 0.001 b	هدایت مزوفیلی (مول بر متر مربع بر ثانیه) Mesophilic conductance (mol $m^{-2}s^{-1}$)
0.00	3.59	0.45± 0.08a	0.29± 0.07 b	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم) Chlorophyll a (mg g^{-1})
0.02	2.64	0.2± 0.05a	0.13± 0.03 b	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم) Chlorophyll b (mg g^{-1})
0.00	3.29	0.65± 0.05a	0.41± 0.04 b	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم) Total chlorophyll (mg g^{-1})
0.03	2.46	0.22± 0.03a	0.14± 0.02 b	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم) Carotenoid (mg g^{-1})

تبادلات گازی

فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای فقط تحت تأثیر زغال زیستی و تعرق تحت تأثیر هر دو فاکتور معنی‌دار شد (جدول ۴). در شرایط آبیاری و دیم، فتوسنتز در تیمار زغال زیستی به‌ترتیب ۸ و ۱۱ درصد نسبت به خاک شاهد افزایش داشت (شکل ۴ الف). اندازهٔ هدایت روزنه‌ای در تیمارهای دیم و آبیاری، در نهال‌های تحت تیمار زغال زیستی نسبت به آنها در خاک شاهد، به‌ترتیب ۳۶ و ۲۸ درصد بیشتر بود (شکل ۴ ب). میزان تعرق نیز در شرایط آبیاری و دیم در نهال‌های

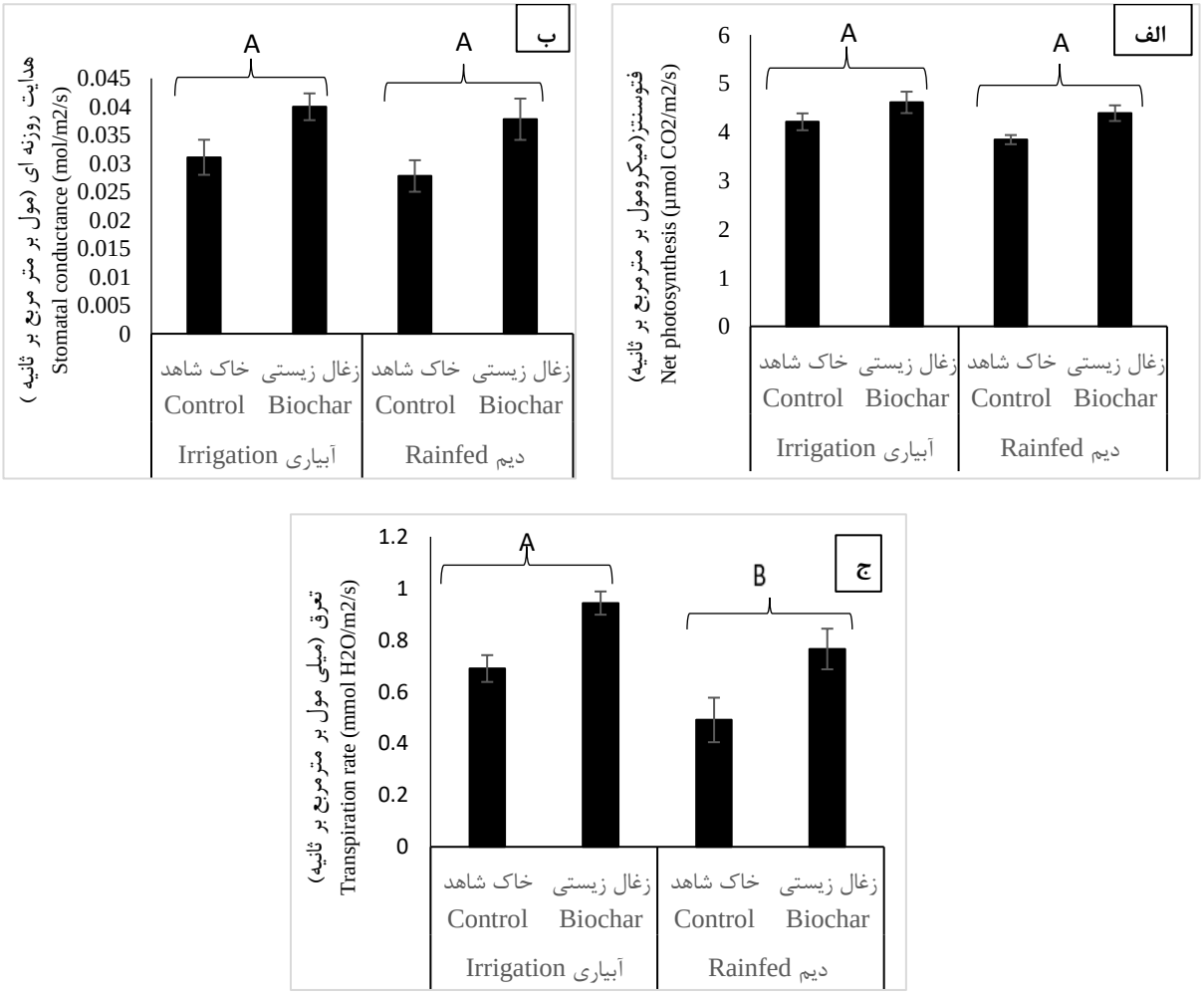
رشدیافته تحت تأثیر زغال زیستی بیشتر از خاک شاهد و به‌ترتیب حدود ۳۰ و ۳۸ درصد افزایش داشت (شکل ۴ ج). صرف‌نظر از تیمار آبیاری، اندازهٔ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق در تیمار زغال زیستی بیش‌تر از خاک طبیعی محل (شاهد) بود (جدول ۳).

جدول ۴- تأثیر تیمارهای بررسی‌شده بر تبادل گازی نهال‌های سرو نقره‌ای، با استفاده از تجزیهٔ واریانس دوطرفه

Table 4. The effect of the studied treatments on gas exchanges of *C. arizonica* seedlings, using two-way ANOVA

تعرق برگ Transpiration		هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance		فتوسنتز Photosynthesis		تیمار Treatment
F	d.f.	F	d.f.	F	d.f.	
15.23**	1	9.88**	1	7.84 **	1	خاک Soil
7.75**	1	0.86 ns	1	3.05 ns	1	آبیاری Irrigation
0.02 ns	1	0.03 ns	1	0.18 ns	1	تیمار خاک × آبیاری Soil × Irrigation

* معنی‌دار significant؛ **، ns غیر معنی دار non-significant



شکل ۴- تبادل گازی (میانگین ± انحراف معیار) نهال‌های سرو نقره‌ای تحت تأثیر تیمارهای خاک و آبیاری. حروف بزرگ نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار آبیاری و دیم بدون در نظر گرفتن تیمار خاک است

Figure 4. Gas exchanges (mean ± sd) of *C. arizonica* seedlings under soil and irrigation treatments. Capital letters indicate significance between irrigation and rainfed treatments, regardless of soil treatment

روابط آبی

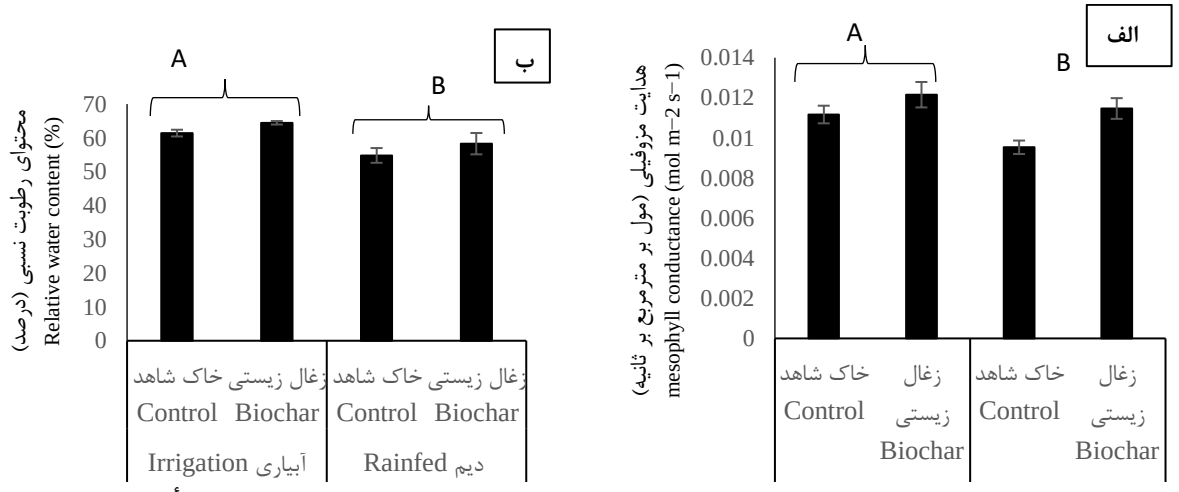
اثر تیمارهای خاک و آبیاری به‌صورت مجزا بر هدایت مزوفیلی نهال‌ها معنی‌دار بود (جدول ۵). در خاک اصلاح‌شده با زغال زیستی نسبت به خاک شاهد، هدایت مزوفیلی در شرایط آبیاری و دیم به‌ترتیب حدود ۸ و ۱۸ درصد افزایش داشت (شکل ۵ الف). محتوای رطوبت نسبی برگ فقط تحت تأثیر آبیاری معنی‌دار شد (جدول ۵)، چنانکه در شرایط آبیاری و دیم مقدار آن در خاک اصلاح‌شده نسبت به خاک شاهد، به‌ترتیب حدود ۱۰ و ۷ درصد افزایش داشت (شکل ۵ ب). صرف‌نظر از تیمار آبیاری، هدایت مزوفیلی در تیمار زغال زیستی بیش‌تر از خاک طبیعی محل (شاهد) بود (جدول ۳).

جدول ۵- تجزیهٔ واریانس دوطرفهٔ تأثیر تیمارهای بررسی‌شده بر هدایت مزوفیلی و محتوای رطوبت نسبی نهال‌های سرو نقره‌ای

Table 5. The effect of the studied treatments on mesophyll conductance and relative water content of *C. arizonica* seedlings, using two-way ANOVA

تیمار Treatment	هدایت مزوفیلی Mesophyll conductance		محتوای رطوبت نسبی Relative water content	
	d.f.	F	d.f.	F
خاک Soil	1	8.75**	1	2.67 ns
آبیاری Irrigation	1	5.52*	1	10.24 *
تیمار خاک × آبیاری Soil × Irrigation	1	0.91 ns	1	0.01 ns

* معنی‌دار significant؛ **، ns غیر معنی دار non-significant



شکل ۵- هدایت مزوفیلی و محتوای رطوبت نسبی (میانگین ± انحراف معیار) نهال‌های سرو نقره‌ای تحت تأثیر تیمارهای خاک و آبیاری. حروف بزرگ نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار آبیاری و دیم بدون در نظر گرفتن تیمار خاک است

Figure 5. Mesophyll conductance and relative water content (mean ± sd) of *C. arizonica* seedlings under soil and irrigation treatments. Capital letters indicate significance between irrigation and rainfed treatments, regardless of soil treatment

رنگیزه‌های فتوسنتزی

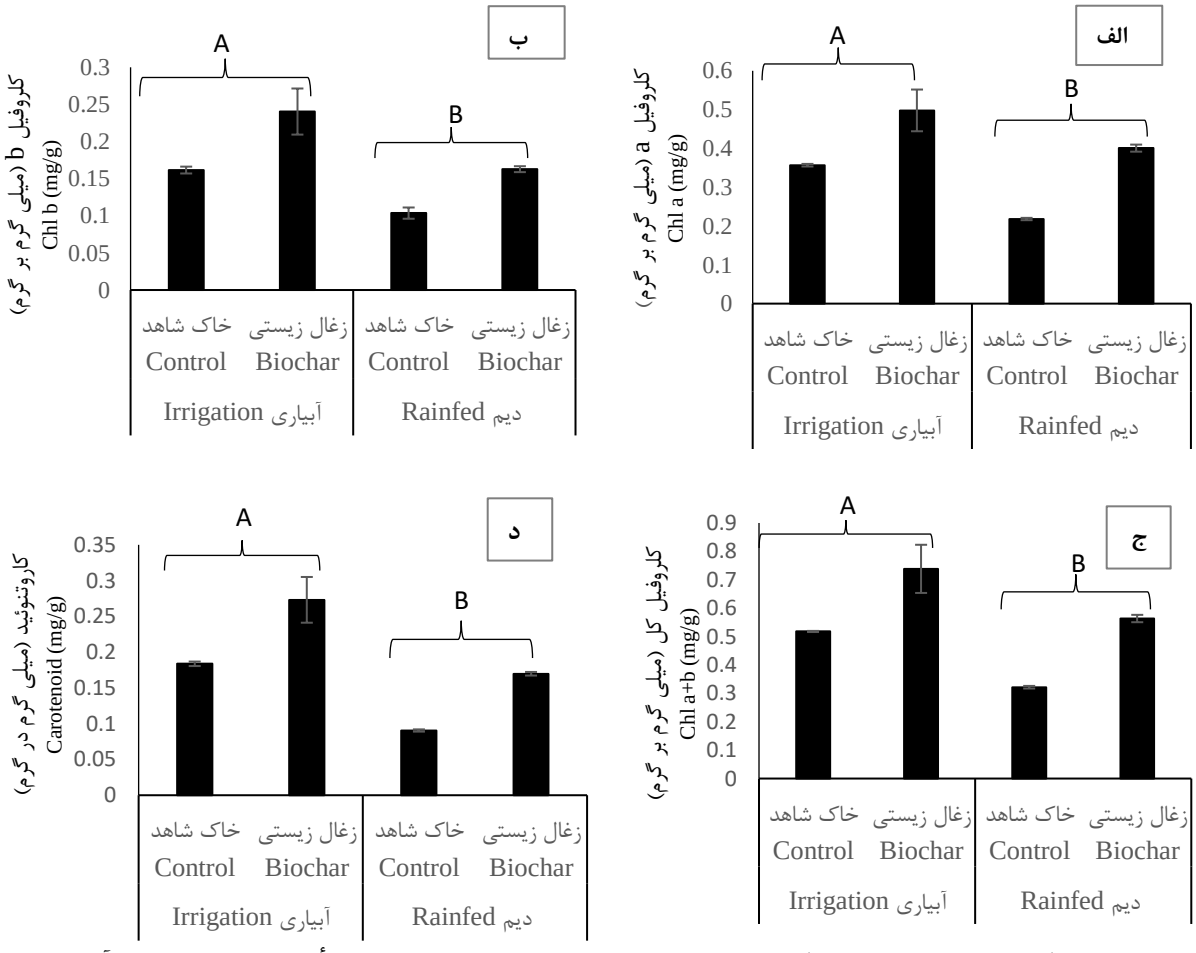
محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئید تحت تأثیر جداگانهٔ زغال زیستی و رژیم آبیاری قرار گرفتند (جدول ۶) و به‌طور کلی در شرایط آبیاری اندازهٔ بزرگ‌تری نسبت به شرایط دیم داشتند. محتوای کلروفیل a در شرایط آبیاری و دیم در نهال‌های رشدیافته تحت تأثیر زغال زیستی بیشتر از خاک شاهد و به‌ترتیب حدود ۳۰ و ۳۸ درصد بود (شکل ۶ الف). این مقدار برای کلروفیل b به‌ترتیب ۳۷ و ۳۳ درصد (شکل ۶ ب)، برای کلروفیل کل ۳۳ و ۴۶

درصد (شکل ۶ ج) و برای کارتنوئید ۳۶ و ۵۳ درصد بود (شکل ۶-د). صرف‌نظر از تیمار آبیاری، اندازهٔ رنگدانه‌های فتوسنتزی (محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئید) در تیمار زغال زیستی بیشتر از خاک طبیعی محل (شاهد) بود (جدول ۳).

جدول ۶- تجزیهٔ واریانس دوطرفهٔ تأثیر تیمارهای بررسی‌شده بر رنگیزه‌های فتوسنتزی نهال‌های سرو نقره‌ای.

Table 6. The effect of the studied treatments on the photosynthetic pigments of *C. arizonica* seedlings, using two-way ANOVA

کاروتنوئید Carotenoid		کلروفیل کل Total Chl		کلروفیل b Chl b		کلروفیل a Chl a		تیمار Treatment
F	d.f.	F	d.f.	F	d.f.	F	d.f.	
27.37**	1	28.93**	1	17.99**	1	35.07**	1	خاک Soil
37.15**	1	18.66**	1	17.37**	1	18.58**	1	آبیاری Irrigation
0.10 ns	1	0.06 ns	1	0.36 ns	1	0.57 ns	1	تیمار خاک × آبیاری Soil × Irrigation



شکل ۶- رنگیزه‌های فتوسنتزی (میانگین ± انحراف معیار) نهال‌های سرو نقره‌ای تحت تأثیر تیمارهای خاک و آبیاری

حروف بزرگ نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار آبیاری و دیم بدون در نظر گرفتن تیمار خاک است

Figure 6. Photosynthetic pigments (mean ± sd) of *C. arizonica* seedlings under soil and irrigation treatments
Capital letters indicate significance between irrigation and rainfed treatments, regardless of soil treatment

بحث

در این تحقیق نهال‌های سرو نقره‌ای به‌مدت ۱۵۰ روز تحت تیمارهای زغال زیستی و نوع آبیاری قرار گرفتند که در نتیجه، زنده‌مانی آنها در حضور زغال زیستی و در شرایط آبیاری و دیم به‌ترتیب بین ۹۳ و ۷۳ درصد در نوسان بود. به‌طورکلی، زنده‌مانی و رشد از عوامل تعیین‌کننده در ارزیابی حد تطابق نهال‌های جنگلی با این شرایط است (Haider et al., 2015). از این‌رو می‌توان گفت زیاد بودن زنده‌مانی سرو نقره‌ای، حاکی از سازگاری زیاد این گونه با شرایط سخت و شکنندهٔ محیطی است.

افزودن زغال زیستی به خاک سبب افزایش مقاومت گیاه به شرایط کم‌آبی می‌شود که علت آن را می‌توان بهبود کارایی مصرف آب دانست، زیرا با افزایش مواد آلی خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک افزایش می‌یابد. به‌عبارتی می‌توان گفت ساختار مولکولی گستردهٔ کربن‌های آروماتیک زغال زیستی سبب پایداری زیاد آن در خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک شده (Sohi et al., 2010) و همچنین، گروه‌های فعال هیدروفیل موجود در سطوح ورقه‌ای گرافین و نیز منافذ زغال زیستی موجب جذب آب می‌شوند (Uzoma et al., 2011). از سوی دیگر، برخی محققان، تخلخل زیاد زغال زیستی و افزایش تخلخل کلی خاک و نیز خاصیت جذب آب آن را دلیل دیگر افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک در حضور زغال زیستی اعلام کرده‌اند (Zoghi et al., 2019). در تحقیقی در تاکستان‌های ایتالیا، با افزودن زغال زیستی به خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک از ۲/۳ درصد به ۴۵ درصد افزایش یافت (Baronti et al., 2014). محققان دیگر هم نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند (Danish et al., 2014;).

تنش خشکی و حاصلخیز نبودن خاک بر رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارند. در تحقیق حاضر، رویش ارتفاعی نهال‌های سرو نقره‌ای با افزودن زغال زیستی در شرایط دیم و آبیاری افزایش یافت. همچنین بیشترین شاخص رویش ارتفاعی نهال‌ها در سطح ترکیبی زغال زیستی- آبیاری (۲/۵۶ سانتی‌متر در ماه) ثبت شد. همسو با نتایج این تحقیق، Wang et al. (2019) اثرهای زغال زیستی را بر بهبود رشد ارتفاعی نهال‌های Rehder (Pamp.) *Malus hupehensis* گزارش کردند. این اثرها ممکن است به‌دلیل افزایش غلظت کربن انحلال‌پذیر پس از افزودن زغال زیستی باشد یا اینکه زغال زیستی سبب جذب ترکیبات فنلی در خاک شود که در نتیجه، اثرهای بازدارندگی آنها بر رشد ریشه کاهش می‌یابد که رشد اندام هوایی نهال‌ها را در پی داشته است. البته یکی از دلایل افزایش رشد گیاه پس از افزودن زغال زیستی افزایش تنفس ریشه است؛ زیرا تنفس ریشه فرایندی مهم در متابولیسم ریشه است که برای جذب مواد مغذی، بازسازی ریشه و رشد و نمو گیاه مهم است (Razaq et al., 2017).

در اندک مواردی نیز مشاهده شده است که افزودن مادهٔ اصلاحی زغال زیستی در شرایط تنش خشکی تأثیر چندانی بر رشد و زنده‌مانی نهال‌ها نداشته است. برای مثال در بررسی اثر زغال زیستی بر بهبود مقاومت به تنش خشکی نهال *Pinus banksiana* Lamb.، افزودن مادهٔ اصلاحی زغال زیستی تأثیر معنی‌داری بر زنده‌مانی و رشد نهال‌های این گونه در شرایط تنش خشکی نداشت، بلکه تنها سبب افزایش کربن در خاک شد. از این‌رو برای درک جامع‌تر این موضوع، در پروژه‌های جنگلکاری، بررسی اثر زغال زیستی در شرایط دیم برای دوره‌های رویشی طولانی‌تر پیشنهاد شده است (Slesak et al., 2022).

در این پژوهش، افزودن زغال زیستی توانست تأثیرات چشمگیری بر تبادل گازی از جمله فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق برگ نهال‌های سرو داشته باشد. به‌طور کلی، زغال زیستی با افزایش رطوبت خاک اطراف ریشه و کاهش سیگنال‌های بروز خشکی در محیط ریشه، سبب افزایش رطوبت نسبی و تعرق برگ می‌شود و با افزایش ظرفیت نگهداری آب، کربن

آلی و مواد معدنی، کیفیت خاک و رشد نهال را بهبود می‌بخشد (Zoghi et al., 2019)؛ همچنین موجب افزایش محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، کارایی مصرف آب، محتوای نسبی آب و افزایش تراکم روزنه‌ای می‌شود (Haider et al., 2015; Baronti et al., 2014; Akhtar et al., 2014). کاهش فتوسنتز نشان‌دهندهٔ اثر بارز کمبود آب است که به‌دلیل اختلال در سازوکار فتوسنتزی، کاهش رشد و پیری زودرس برگ و کاهش تولید مواد غذایی حادث می‌شود (Wahid & Rasoul., 2005). نخستین گزینهٔ گیاه در برابر کمبود آب در دسترس، بستن روزنه است (Cornic & Massacci, 1996). بستن روزنه، موجب مختل شدن فرایند جذب دی‌اکسید کربن و صدمه دیدن چرخهٔ کالوین و در پی آن کاهش فتوسنتز می‌شود (Farooq et al., 2009). کاهش فتوسنتز از طریق شکستن کلروپلاست و کاهش کلروفیل در شرایط خشکی و کم‌آبی نیز رخ می‌دهد (Zoghi et al., 2019).

در این پژوهش، شرایط دیم سبب کاهش نرخ فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق برگ نهال‌های سرو نقره‌ای شد، درحالی که آبیاری (همانند زغال زیستی) توانست این صفات را بهبود بخشد. به‌طور مشابه، در برخی تحقیقات، همانند Lyu et al. (2016)، Paneque et al. (2016) و Zoghi et al. (2019)، تزریق زغال زیستی به خاک سبب افزایش اندازهٔ ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه در شرایط تنش خشکی شد.

هدایت مزوفیلی و به‌عبارتی، مجموعهٔ سازوکارهای درون‌سلولی که به فرآوری CO_2 می‌انجامد در شرایط دیم کاهش یافت، اما افزودن اصلاح‌کنندهٔ خاک آن را افزایش داد. این موضوع نشان داد که زغال زیستی در شرایط دیم به رفع محدودیت‌های فتوسنتزی کمک می‌کند. همانند یافته‌های این پژوهش، Yang et al. (2022) نیز با تحقیق در *Solanum tuberosum* L. نشان دادند که در شرایط خشکی، اعمال زغال زیستی موجب بهبود صفات فتوسنتزی گیاه می‌شود.

محتوای رنگدانه‌ها (کلروفیل‌ها و کاروتنوئید) یکی دیگر از شاخص‌های مهم برای نشان دادن وضعیت گیاه است که در سنجش توانایی و فعالیت فتوسنتزی می‌توان از آن استفاده کرد (Fassnacht et al., 2015). نتایج این پژوهش نشان داد که محتوای کلروفیل کل (همسو با محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئید) تحت تأثیر تیمار زغال زیستی و رژیم آبیاری قرار گرفت. افزودن زغال زیستی در شرایط دیم موجب اضافه شدن ۳۸، ۳۳، ۴۶ و ۵۳ درصد به‌ترتیب در اندازه‌های کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید شد. به‌طور مشابه، افزایش تولید بیشتر محتوای کلروفیل a، b، a+b و کارتنوئید در اثر افزودن زغال زیستی (۱۰ تا ۳۰ درصد) به ریزوسفرِ نهال‌های تحت تنش کم‌آبی *Quercus castaneifolia* C.A.Mey. توسط Zoghi et al. (2019) نیز گزارش شده است. در این راستا، برخی پژوهشگران نیز به نتایج نظیر (در شرایط خشکی) دست یافتند و استنتاج کردند که افزایش رشد گیاه در حضور زغال زیستی به بهبود تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی منجر شد (Lehman et al., 2006; Lehman et al., 2011; Danish et al. (2014).

کاهش محتوای رنگدانه‌ها در شرایط تنش ممکن است به‌دلیل اکسایش نوری و تخریب و اختلال در سنتز کلروفیل و متعاقب آن کاهش توانایی فتوسنتز باشد که افت عملکرد گیاه را در پی خواهد داشت (Rahimi et al., 2021). با توجه به اینکه کاربرد زغال زیستی سبب افزایش دسترسی به آب و مواد مغذی تحت تنش و نبود استرس می‌شود (Shao et al., 2005)، خاک تیمارشده با آن می‌تواند اثرهای منفی تنش آب را کاهش دهد و اندازهٔ محتوای رنگدانه‌ها را بهبود بخشد و شرایط مناسب‌تری برای گیاه ایجاد کند (Changxun et al., 2016).

نتیجه‌گیری

تنش کم‌آبی سبب کاهش اندازهٔ مشخصه‌هایی همچون رویش طولی، تعرق، هدایت مزوفیلی، محتوای

رطوبت نسبی و رنگدانه‌ها در نهال سرو نقره‌ای شد، درحالی که افزودن مادهٔ اصلاح‌کنندهٔ خاک (زغال زیستی)، به افزایش اندازهٔ آنها انجامید. یعنی اصلاح خاک توسط زغال زیستی، محیط فیزیکی مطلوبی برای گسترش ریشه‌ها و تأمین آب و مواد مغذی نهال‌ها فراهم آورد. تفاوت مهم به‌ویژه در اندازه‌های زنده‌مانی و رشد در حضور زغال زیستی و نبود آن (شاهد) را می‌توان به کارآمد بودن مادهٔ اصلاحی اضافه‌شده به خاک و تعدیل هرچه بهتر شرایط تنش خشکی در خاک ربط داد. براساس یافته‌های حاضر می‌توان گفت که برای احیای عرصه‌های تخریب‌یافتهٔ جنگلی مناطق نیمه‌خشک کوهستانی شمال کشور با گونهٔ سرو نقره‌ای، در سال‌های اولیهٔ کاشت، این نهال‌ها توسط آبیاری مدیریت شوند و در صورت شرایط دیم بهتر است از زغال زیستی استفاده شود.

سپاسگزاری

از حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس و همکاری‌های ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری منطقهٔ ساری سپاسگزاری می‌شود. همچنین، از آقای مهندس منوچهر نائیجی کارشناس آزمایشگاه اکولوژی و فیزیولوژی درختان جنگلی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس قدردانی می‌شود.

References

Ahmadloo, F., Tabari, M., & Behtari, B. (2011). Effect of Water Stress on Some Physiological Characteristics of *Pinus brutia* and *P. halepensis* Seeds. *Iranian Journal of Biology*, *24*(5), 728- 736. https://sid.ir/paper/21296/en. (In Persian)

Akhtar, S.S., Li, G., Andersen, M.N., & 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

Arndt, S.K., Clifford, S.C., & Wanek, W. (2001). Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. *Tree Physiology, 21*(11), 705-715. https://doi.org/10.1093/treephys/21.11.705

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in beta vulgaris. *Plant Physiology*, *24*, 1-15.

Bahmani, M. (2013). The effects of inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and pseudomonas rhizobacteria on vegetative traits of *Calatropis procera* seedlings under drought and salinity stress. Master's thesis of Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources, 191 p. (In Persian)

Baronti, S., Vaccari, F.P., Miglietta, F., Calzolari, C., Lugato, E., Orlandini, S., Pini, R., Zulian, C., & Genesio, L., (2014). Impact of biochar application on plant water relations in *Vitis vinifera* (L.). *European Journal of Agronomy, 53*, 38–44. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.003

Beesley, L., & Marmiroli, M. (2011). The immobilization and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. *Environmental Pollutet. 159*, 474-480. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.016

Boucher, D., Gauthier, S., Thiffault, N., Marchand, W., Girardin, M., & Urli, M. (2020). How climate change might affect tree regeneration following fire at northern latitudes: a review. *New Forests, 51*(4), 543-571.

Changxun, G., Zhiyong, P., & Shu'ang, P. (2016). Effect of biochar on the growth of *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. seedlings in Gannan acidic red soil. *Soil Science and Plant Nutrition, 62*(2), 194-200.

Chong, C., & Lumis, G.R. (2000). Mixtures of paper mill sludge, wood chips, bark, and peat in substrates for pot-in-pot shade tree production. *Canadian Journal of Plant Science, 80*, 669-675. https://doi.org/10.4141/P99-083

Cornic, G., & Massacci, A. (1996). Leaf photosynthesis under drought stress. *Photosynthesis and the Environment*, 347-366. DOI: 10.1007/0-306-48135-9_14

Danish, S., Ameer, A., Qureshi, T.I., Younis, U., Manzoor, H., Shakeel, A., & Ehsanullah, M. (2014). Influence of biochar on growth and photosynthetic attributes of *Triticum aestivum* L. under half and full irrigation. *International Journal of Biosciences*, *5*(7), 101-108.

Davis, J.G., & Whiting, D. (2013). Gardening Services, Colorado State University, US Department of Agriculture and Colorado Countries Cooperating. *Fact sheet number*, *7*, 235.

Davis, K.T., Dobrowski, S.Z., Higuera, P.E., Holden, Z.A., Veblen, T.T., Rother, M.T., & Maneta, M.P. (2019). Wildfires and climate change push low-elevation forests across a critical climate threshold for tree regeneration. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 116*(13), 6193-6198. https://doi.org/10.1073/pnas.1815107116

Fallahi, H.R., Taherpour, R., Kalantari, R., Aghhavani Shajar, M., & Soltanzadeh, M.Gh. (2015). Effect of super absorbent polymer and irrigation deficit on water use efficiency, growth and yield of cotton. *Notulae Scientia Biologicae, 7*(3), 338-344. https://doi.org/10.15835/nsb739626

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron Sustain Dev*, *29*, 185–212. DOI: 10.1007/978-90-481-2666-8_12

Fassnacht, F.E., Stenzel, S., & Gitelson, A.A. (2015). Non-destructive estimation of foliar carotenoid content of tree species using merged vegetation indices. Journal of Plant Physiology, *176*, 210-217.

Gebhardt, M., Fehmi, J.S, Rasmussen, C., & Gallery, R.E. (2017). Soil amendments alter plant biomass and soil microbial activity in a semi-desert grassland. *Plant Soil*, *419*(1-2), 53– 70.

Ghanbary, E., Fathizadeh, O., Pazhouhan, I., Zarafshar, M., Tabari, M., Jafarnia, S., & Bader, M.K.F. (2021). Drought and pathogen effects on survival, leaf physiology, oxidative damage, and defense in two middle eastern oak species. *Forests, 12*(2), 247. https://doi.org/10.3390/f12020247

Ghanbary, E., Tabari Kouchaksaraei, M., Guidi, L., Mirabolfathy, M., Etemad, V., Modarres Sanavi, S.A.M., & Struve, D. (2018). Change in biochemical parameters of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) s seedlings inoculated by pathogens of charcoal disease under water deficit conditions. *Trees, 32*, 1595–1608.

Hafeez, Y., Iqbal, S., Jabeen, K., Shahzad, S., Jahan, S., & Rasul, F. (2017). Effect of biochar application on seed germination and seedling growth of *Glycine max* (L.) Merr. Under drought stress. *Pakistan Journal of Botany, 49*(51), 7-13.

Haider, G., Koyro, H.W., Azam, F., Steffens, D., Müller, C., & Kammann, C. (2015). Biochar but not humic acid product amendment affected maize yields via improving plant-soil moisture relations. *Plant Soil, 395*, 141–157. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2294-3

Khakdaman, H., Pourmeidani, A., & Salari, S. (2008). Investigation of causal agents in decline and mortality of Arizona cypress (*Cupressus arizonica*) in Qom. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 6*(1), 1-9. (In Persian)

Kouchakzadeh, M., Sabagh Farshi, A.A., & Ganji Khorramdel, N. (2000). Effects of superabsorbent polymers on some soil physical characteristics. *Iranian Journal of Soli and Waters Sciences*, *14*(2), 176-186. SID. https://sid.ir/paper/15912/en. (In Persian)

Laird, D.A. (2008). The charcoal vision: a win–win–win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy, 100*(1), 178-181. https://doi.org/10.2134/agronj2007.0161

Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for Environmental Management, Earthscan, UK and USA. ISBN:978-1-84407-658-1.

Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., &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

Lyu, S., Du, G., Liu, Zh., Zhao, L., & Lyu, D. (2016). Effects of biochar on photosystem function and activities of protective enzymes in *Pyrus ussuriensis* Maxim. under drought stress. *Acta Physiol Plant, 38*, 220. https://doi.org/10.1007/s11738-016-2236-1

Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant Soil, 333*, 117–128. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0327-0

Manas, P., Castro, E., & De las Heras, J. (2008). Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media, *New Forests, 37*, 295-311. https://doi.org/10.1007/s11056-008-9125-4

Maghsodian, O., Mollashahi, M., Moshki, A.R., Ravanbakhsh, H., & Kianian, M.K. (2021). The effect of different soil remediation methods on growth and primary establishment of *Pistacia atlantica* Desf., *Quercus infectoria* Oliv., *Melia azedarach* L. and *Cupressus sempervirens* L. saplings in Semnan. *Iranian Journal of Forest, 13*(1), 59-72. https://doi.org/10.22034/ijf.2021.269743.1764. (In Persian)

Marianthi, T. (2006). Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) core and rice hulls as components of container media for growing *Pinus halepensis* M. seedlings, *Bioresource Technology, 97*, 1631-1639. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.07.027

Mossadegh, A. (1994). Plantation and Forest Nurseries. 2nd edition. Tehran University Press, pp: 275-276. (In Persian)

Nazari, H., Zardashti, M.R., Darvishzadeh, R., & Najafi, S. (2010). The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits on sunflower. *Notulae Scientia Biologicae, 2*, 53–58. https://doi.org/10.15835/nsb244823

Nourozi Haroni, N., Tabari Kouchaksaraei, M., & Sadati, E. (2017). Response of growth indices of Judas tree seedling to different irrigation periods. *Iranian Journal of Forest, 8*(4), 419-430. (In Persian)

Novak, J.M., Busscher, W.J., Laird, D.A., Ahmedna, M., Watts, D.M., & Niandou, M.A.S. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern Coastal Plain soil. *Soil Science, 174*, 105–112. DOI: 10.1097/SS.0b013e3181981d9a

Ohsowski, B.M., Klironomos, J.N., Dunfield, K.E., & Hart M.M. (2012). The potential of soil amendments for restoring severely disturbed grasslands. *Applied Soil Ecology, 60*, 77– 83. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.02.006

Owen, J.J.S., Warren, S.L., Bilderback, T.T., Albano, J., & Cassel, K.D. (2008). Physical properties of pine bark substrate amended with industrial mineral aggregate. *Acta Horticulturae, 779*, 131-138. DOI:10.17660/ActaHortic.2008.779.14

Paneque, M., José, M., Franco-Navarro, J.D., Colmenero-Flores, J.M., & Knicker, H. (2016). Effect of biochar amendment on morphology, productivity and water relations of sunflower plants under non-irrigation conditions. *Catena, 147*, 280–287. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.037

Polat, E.M., Demir, KH., & Onus, N.A. (2004). Use of natural zeolite (Clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit Ornamental and Plant Research, 12*, 183-189.

Rad, M.H., Asareh, M., Meshkat, M.A., & Soltani, M. (2011). Effects of drought stress on biomass, several growth parameters and water use efficiency of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) in response to drought stress. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 19*(1), 13-27. doi: 10.22092/ijrfpbgr.2011.7434

Rahimi Alashti, S., Bahmanyar, M., Ghajarsepanlu, M., Sadeghzade, F., & Mokhtassi, A. (2021). The effect of some organic and mineral amendments on soil macronutrient and micronutrient under Quinoa

cultivation in stress status (water). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *11*(2), 25-48. doi: 10.22069/ejsms.2021.18118.1960. (In Persian)

Rajapaksh, A.U., Chen, S.S., Tsang, D.C., Zhang, M., Vithanage, M., Mandal, S., Gao, B., Bolan, N.S., & Ok, Y.S. (2016). Engineered/designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: potential and implication of biochar modification. *Chemosphere*, *148*, 276–291. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.043

Razaq, M., Shen, H.L., Sher, H., & Zhang, P. (2017). Influence of biochar and nitrogen on fine root morphology, physiology, and chemistry of *Acer mono*. *Scientific Reports*, *7*(1), 1-11. DOI: 10.1038/s41598-017-05721-2

Rezaei Rashti, M., Esfandbod, M., Phillips, I.R., & Chen, C. (2019). Biochar amendment and water stress alter rhizosphere carbon and nitrogen budgets in bauxite-processing residue sand under rehabilitation. *Journal of Environmental Management*, *230*, 446–455. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.093

Sabeti, H.A. (2008). Forests, trees and shrubs of Iran. second edition. Yazd University Press, 876 pages.

Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan, J.T., & Pypker, T.G. (2016). The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: A comparison of common planted tree species in Tehran, Iran. *Science of the Total Environment, 568*, 845-855. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.048

Slesak, R.A., Kelso, S.G., & Windmuller-Campione, M.A. (2022). Effect of Biochar and Manual Vegetation Control on Early Growth and Survival of Planted Jack Pine (*Pinus banksiana* Lamb.) Seedlings in Northern Minnesota. *Forest Science*, *68*(1), 104-112. https://doi.org/10.1093/forsci/fxab053

Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy, 105*, 47-82. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9

Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Zahoor, A., & Nishihara, E. (2011). Influence of biochar on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *9*(3/4), 1137-1143.

Wahid, A., & Rasul, E. (2005). Photosynthesis in leaf, stem, flower and fruit, in: Pessarakli M. (Ed.), Handbook of Photosynthesis, 2nd ed., *CRC Press, Florida*, pp. 479–497.

Wang, Y., Ma, Z., Wang, X., Sun, Q., Dong, H., Wang, G., Chen, X., Yin, Ch., Han, Zh., & Mao, Zh. (2019). Effects of biochar on the growth of apple seedlings, soil enzyme activities and fungal communities in replant disease soil. *Journal Scientia Horticulturae , 256*. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108641

Yang, Q., Ravnskov, S., Pullens, J.W.M., & Andersen, M.N. (2022). Interactions between biochar, arbuscular mycorrhizal fungi and photosynthetic processes in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Science of The Total Environment, 816*, 151649. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151649

Zarafshar, M. (2013). The response of wild pear (*Pyrus biosseriana* Bushe) seedlings to drought stress and the effectiveness of titanium dioxide and silicon nanoparticles in improving the destructive effects of drought, Ph.D. thesis, Tarbiat Modares University, 128 pages. (In Persian)

Zoghi, Z., Hosseini, S.M., Tabari Kouchaksaraei, M., Kooch, Y. & Guidi, L. (2019). The effect of biochar amendment on the growth, morphology and physiology of *Quercus castaneifolia* seedlings under water-deficit stress, 10.1007/s10342-019-01217-y. *European Journal of Forest Research, 138,* 967-979. https://doi.org/10.1007/s10342-019-01217-y

DOI: 10.22034/ijf.2023.388743.1920

Iranian Journal of Forest
Vol. 16, No. 1, Spring 2024
pp. 71-86
Research Article

The role of biochar in improving the survival, growth and physiological traits of Arizona cypress seedlings, in a semi-arid mountainous region

D. Ahmadi[1], M. Tabari[2*], S. E. Sadati[3], Y. Davoudi Karsalari[4], B. Mohammadi[4], and K. Nourmohammadi[5]

[1]M. Sc. Student, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran
[2]Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran
[3]Associate Prof., Research Division of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, I. R. Iran
[4] Senior Expert, General Directorate of Natural Resources and Watershed Management, Mazandaran, Sari, I. R. Iran
[5]Ph.D. Student, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran

(Received: 12 Mach 2022; Accepted: 15 August 2023)

Abstract

Introduction: Biochar, a porous carbon-rich substance, is considered a soil amendment with the ability to preserve food and water and increase drought tolerance in plants. The present study aimed to investigate the effects of biochar (derived from hornbeam wood and produced at a pyrolysis temperature of 450 °C) on the survival, growth, and physiological traits of Arizona cypress (*Cupressus arizonica* Green) seedlings under rainfed and irrigation conditions in a mountainous degraded forest (Do-Ab in Savadkouh region, north of Iran).

Materials and Methods: The experiment was conducted as a completely randomized design for five months during the dry months of spring and summer. The treatment combinations included: 1) control soil-irrigation, 2) control soil-rainfed, 3) soil treated with biochar-irrigation, and 4) soil treated with biochar-rainfed. Two-way analysis of variance (AOVA) was used to determine the significant effect of the treatments, and a paired t-test was used to compare the means.

Results: The results showed that, regardless of the effect of soil treatment, irrigated seedlings had greater survival (90%) compared to rainfed seedlings (56%). However, under rainfed conditions, the survival rate in the biochar treatment was 75%, almost twice that of the control soil. In both rainfed and irrigation conditions, the seedlings grown with biochar had larger sizes than those in the control soil. Regardless of the effect of soil treatment, the rates of photosynthesis and transpiration decreased under rainfed conditions. Similar to the irrigation treatment, the biochar treatment caused an increase in gas exchanges (20-60%) compared to those in the control soil. Mesophyll conductance, relative water content, and photosynthetic pigments were higher in the irrigation treatment than in the rainfed condition.

Conclusion: To restore the degraded forests of the semi-arid mountainous regions of northern Iran with Arizona cypress seedlings, it is recommended that in the early years, the seedlings be managed by irrigation without applying biochar. However, under rainfed conditions, it is recommended to use biochar to enhance seedling survival and growth.

Keywords: *Cupressus arizonica*, Height growth, Photosynthetic pigments, Relative water content, Survival.

* Corresponding Author Tel: +9891112246250 E-mail: mtabari@modares.ac.ir