مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال شانزدهم، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۳
ص ۵۸۶-۵۶۹
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2024.424128.1953
CC BY 4.0

بررسی تأثیر تاج‌پوشش و فصل نمونه‌برداری بر ویژگی‌های زیستی خاک در رویشگاه‌های تاغ (*Haloxylon ammodendron* (C.A.Mey.) Bunge ex Fenzl) و گز (*Tamarix hispida* Willd.) استان قم

مریم اردیبهشت[۱]، محمد متینی‌زاده[۲*]، انوشیروان شیروانی[۳]، هومن روانبخش[۴] و حسین توکلی نکو[۵]

[۱]دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۲]دانشیار مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
[۳]دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۴]استادیار مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
[۵]استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۰۹/۰۱؛ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۱۰/۲۳)

چکیده

مقدمه: رویشگاه‌های ارزشمند ایران- تورانی، بخش بسیار مهم و وسیعی از کل رویشگاه‌های کشور محسوب می‌شوند. با وجود پژوهش‌های گسترده در زمینهٔ الگوی تغییرات زمانی مقدار دی‌اکسید کربن متصاعدشده از خاک توده‌های جنگلی جهان تا کنون گزارش علمی در این زمینه از خاک رویشگاه‌های ایران تورانی ارائه نشده است. درختچه‌های تاغ و گز از گونه‌های بومی و مؤثر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در منطقهٔ رویشی ایران- تورانی هستند. این پژوهش نخستین تحقیق دربارهٔ تغییرات فصلی تنفس خاک در یکی از رویشگاه‌های مهم بخش ایران- تورانی (رویشگاه‌های خالص تاغ و گز واقع در استان قم)، مقایسهٔ ویژگی‌های زیستی و تغییرات احتمالی آنها در دو بخش زیر تاج‌پوشش و بیرون تاج‌پوشش، در طی دو فصل پاییز و بهار است.

مواد و روش‌ها: در بهار و پاییز، از محل‌های زیر سایه‌انداز تاج (تیمار) و خارج از تاج‌پوشش (شاهد)، ۳۰ پایه تاغ (*Haloxylon ammodendron* (C.A.Mey.) Bunge ex Fenzl) و ۳۰ پایه گز (*Tamarix hispida* Willd.) در جهت شرق درخت و در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری خاک انجام گرفت. هر سه نمونه خاک از تیمار و شاهد جداگانه و به‌طور تصادفی ترکیب شدند و در نهایت ۲۰ نمونهٔ مرکب به‌دست آمد. نمونه‌ها برای اندازه‌گیری مقدار اسیدیته، ترسیب کربن خاک و فاکتورهای زیستی تنفس‌های پایه و برانگیخته، زی‌تودهٔ میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون تجزیه شدند. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از تجزیهٔ واریانس سه‌طرفه انجام گرفت.

یافته‌ها: فاکتور زیستی تنفس برانگیخته دارای اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد در دو سطح گونه و زمان است که مقدار میانگین آن در هر گرم خاک خشک در روز در بهار در خاک گونهٔ گز ۲۰/۹۷ و در خاک گونهٔ تاغ ۷/۹۶ میلی‌گرم CO_2 و در پاییز به‌ترتیب ۲/۹۵ و ۲/۰۲۵ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد. فاکتور زی‌تودهٔ میکروبی کربن دارای اختلاف معنی‌دار در طی زمان و بیشترین مقدار در فصل پاییز بود. مقدار میانگین کربن زیست‌توده در گونهٔ گز در پاییز ۴/۰۸ و در بهار ۲/۰۳ و در گونهٔ تاغ در پاییز ۴/۰۲ و در بهار ۳/۰۳ میلی‌گرم در صد گرم خاک خشک محاسبه شد. مقدار بقیهٔ فاکتورهای شیمیایی و اندوختهٔ کربن خاک در خاک گونهٔ گز با اختلاف معنی‌دار بیشتر بود. موقعیت نمونه‌برداری (زیر و بیرون تاج‌پوشش) در هیچ‌یک از فاکتورهای زیستی، اختلاف معنی‌داری ایجاد نکرد.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌های خاک در بهار بیشتر از پاییز فعالیت دارند و تحت تأثیر دورهٔ خشکی و گرمای تابستانه از فعالیت میکروارگانیسم‌ها کاسته می‌شود و با نزدیک شدن به پایان فصل رویش، شاخص‌های کیفی و توانایی بهره‌دهی خاک کاهش می‌یابد. با توجه به تأثیر مثبت و معنی‌دار درختچهٔ گز بر افزایش تنفس برانگیخته، مواد آلی و ترسیب کربن، حفظ و احیای این گونهٔ بومی باارزش باید در اولویت قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اکوسیستم خشک، بیولوژی خاک، ترسیب کربن، تنفس میکروبی، فصل.

*نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۲۴۰۷۲۵۳۰ ایمیل: mohamadmatinizadeh@yahoo.com

مقدمه

پایداری رویشگاه اکوسیستم‌های خشک مستلزم حفظ عناصر غذایی در خاک است و شناخت ویژگی‌های خاک یکی از پایه‌های مدیریت اصولی این اکوسیستم‌هاست. تأثیرات گونه‌های درختی سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌شود (Zhou et al., 2020). ویژگی‌های زیستی خاک شاخص مناسبی برای سنجش کیفیت خاک هستند و با بررسی آنها اطلاعات مناسبی از تنفس، چرخهٔ غذایی، زیست‌تودهٔ میکروبی و ظرفیت معدنی کردن نیتروژن خاک به‌دست می‌آید (Alizadeh et al., 2022). با توجه به حساسیت زیاد ویژگی‌های زیستی خاک به تغییرات محیطی، سنجش آنها به‌طور معمول برای تغییرات ایجادشده در خاک توصیه می‌شود. تنفس میکروبی یا معدنی شدن کربن آلی، فرایندی است که در طی آن مواد آلی خاک توسط میکروارگانیسم‌ها اکسید می‌شود که آزاد شدن دی‌اکسید کربن را از خاک در پی دارد (Beheshti et al., 2011). تنفس خاک (تنفس پایه هم خوانده می‌شود) نشان‌دهندهٔ فعالیت‌های زیستی خاک است (Doran & Parkin, 1994) و اثر مهمی در تجزیهٔ مواد آلی گیاهی و همچنین بقایای افزوده‌شده به سطح خاک دارد و پژوهش دربارهٔ آن اطلاعات مفیدی در زمینهٔ کیفیت خاک، به‌ویژه مواد آلی خاک در اختیار قرار می‌دهد (Jia et al., 2007). تنفس برانگیخته (ناشی از سوبسترا) شاخص بسیار مهمی از جمعیت فعال میکروبی خاک است (Sheklabadi et al., 2007). مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان با وجود درصد پوشش گیاهی کم و فقر عناصر رویشی ظرفیت شایان توجهی در ذخیرهٔ کربن خاک دارند (Moshki et al., 2017). چرخهٔ کربن در عرصه‌های جنگلی در عین سادگی بسیار پیچیده است. درختان ضمن اینکه CO_2 هوا را طی یک فرایند، جذب و فتوسنتز انجام می‌دهند در فرایند دیگر (تنفس) گاز CO_2 آزاد می‌کنند البته مقدار متصاعد شدن این گاز در مقابل جذب آن بسیار ناچیز است (Zahedi & Zargham, 2015). کربن زیست‌تودهٔ میکروبی در خاک یکی از منابع در دسترس برای عناصر غذایی گیاهان و عاملی برای انتقال و چرخهٔ کربن و عناصر غذایی است (Rousta et al., 2023). برای ارزیابی وضعیت نیتروژن در خاک از پتانسیل نیتریفیکاسیون، توانایی تبدیل یون آمونیوم به نیترات در شرایط هوازی استفاده می‌شود. تبدیل آمونیوم به نیترات، موجب افزایش تحرک نیتروژن در خاک و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی این عنصر برای گیاهان می‌شود (Drury et al., 2008). بنابراین بررسی این فرایند میکروبی می‌تواند اطلاعات سودمندی دربارهٔ وضعیت کیفی خاک در رویشگاه‌های خشک و شکننده مانند رویشگاه‌های استان قم ارائه دهد. مدارک روزافزونی دال بر استفاده از پارامترهای زیستی و میکروبیولوژیک به‌عنوان شاخص‌های حساس در مراحل اولیهٔ تنش وجود دارد (Chang et al., 2001). عوامل مختلفی از جمله فصل‌ها می‌توانند بر نتیجهٔ آزمایش خاک تأثیرگذار باشند. دو فاکتوری که بیشتر تحت تأثیر فصل قرار می‌گیرند مقدار پتاسیم و pH خاک هستند. با توجه به اینکه مقادیر آزمایش خاک بین فصول مختلف متفاوت خواهد بود، یکی از رویکردهایی که باید در نمونه‌گیری در نظر گرفته شود این است که این کار در دوره‌هایی انجام گیرد که تغییرات در مقادیر متوسط قرار دارند. این دوره‌ها در اوایل بهار و اواخر پاییز هستند (Hazelton, 2012). نتایج تحقیقات Ruiz Palomino et al. (2005) در بررسی جمعیت میکروبی ریزوسفر توسکا نشان داد که جمعیت میکروبی در ریزوسفر توسکا به‌صورت فصلی تغییر می‌کند، به‌طوری که در بهار و تابستان تنوع عملکردی کمتر است که این تفاوت ممکن است با شرایط محیطی و نیز موقعیت فیزیولوژیک درختان مرتبط باشد.

Parsadoost et al. (2016) نیز در پژوهشی دربارهٔ تأثیر فصل بر ویژگی‌های خاک، نمونه‌برداری خاک را در

دو زمان یکی در فصل رویش (اردیبهشت) و دیگر پس از فصل رویش (شهریور) انجام دادند و بیشترین مقدار مواد غذایی و تنفس میکروبی را در اردیبهشت و بیشترین مقدار مواد آلی خاک را در انتهای فصل رشد یا شهریور مشاهده کردند. همچنین براساس نتایج پژوهش Robertson et al. (1982) کاهش پتانسیل نیتریفیکاسیون در رویشگاه‌های دست‌خورده در پاییز ممکن است ناشی از کاهش فعالیت جوامع میکروبی در پی کاهش دما و ترشحات ریشه‌های گیاهی باشد. پتانسیل نیتریفیکاسیون با مقدار سوبسترای در دسترس (آمونیوم) کنترل می‌شود که در مناطق دست‌خورده افزایش می‌یابد و می‌توانند اثر فعالیت‌های انسانی و تخریب را بر خاک نشان دهند. خواص زیستی خاک به‌طور مستقیم با تعداد و فعالیت میکروبیوتای خاک (مانند زی‌توده میکروبی و تنفس و غیره) یا به‌طور غیرمستقیم با فرایندهایی مانند تجزیهٔ مواد آلی در خاک و آزادسازی مواد معدنی ارتباط دارند که فعالیت آنزیم‌های خاک در آنها بسیار تعیین‌کننده‌اند (Parkinson, 1992 ; Gil-Sotres et al., 2005 & Visser)؛ در نتیجه یافته‌های تحقیقات دربارهٔ آنزیم‌های خاک کار نیز برای ما شایان توجه است.

Boerner et al. (2005) در تحقیقات خود در جنگل‌های بلوط منطقهٔ هارود مرکزی آمریکا نشان دادند که فعالیت آنزیم‌های خاک در آغاز پاییز کاهش می‌یابد. تاج‌پوشش نیز اثر افزایشی بر میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌های خاک دارد و با توجه به شرایط خاک زیر تاج‌پوشش که به‌لحاظ دما و رطوبت در مقایسه با بیرون تاج‌پوشش از تعادل بیشتری برخوردار است، رشد و فعالیت بیشتری برای میکروارگانیسم‌ها به‌دست می‌آید و آنزیم‌های دارای منشأ میکروارگانیسمی فعالیت افزون‌تری نشان می‌دهند (Sedia & Ehrenfeld, 2006 ;Kramer & Green, 2000).. فعالیت‌های آنزیم خاک، مقدار CO_2 خروجی و زی‌تودهٔ میکروبی به تغییرات در محیط خاک بسیار حساس‌اند و می‌توانند اثر فعالیت‌های انسانی و تخریب را بر خاک نشان دهند (Kennedy & Papendick, 1995). ازآنجا که تغییرات مکانی و زمانی تنفس خاک زیاد است، تکمیل بانک اطلاعاتی چرخهٔ کربن در مقیاس جهانی نیازمند کسب اطلاعات جزئی‌تر در مقیاس محلی است. رویشگاه‌های ارزشمند ایران- تورانی، بخش بسیار مهم و وسیعی از کل رویشگاه‌های کشور محسوب می‌شوند، اما با وجود پژوهش‌های گسترده در زمینهٔ الگوی تغییرات زمانی بر شاخص‌های زیستی و مقدار دی‌اکسید کربن متصاعدشده از خاک توده‌های جنگلی جهان تا کنون گزارش علمی در این زمینه از خاک توده‌های ایران تورانی ارائه نشده است. فرضیهٔ این تحقیق، وجود اختلاف معنادار بین ویژگی‌های زیستی خاک در دو فصل بهار و پاییز و دو موقعیت نمونه‌برداری خاک (زیر سایه‌انداز تاج و خارج از آن) است. این پژوهش نخستین تحقیق دربارهٔ تغییرات فصلی تنفس خاک در یکی از رویشگاه‌های مهم بخش ایران تورانی (رویشگاه خالص تاغ و گز، واقع در استان قم) است که به مقایسهٔ ویژگی‌های زیستی و تغییرات احتمالی آنها در دو بخش زیر تاج‌پوشش و بیرون تاج‌پوشش در طی دو فصل پاییز و بهار می‌پردازد تا به دو پرسش زیر پاسخ دهد: ۱. آیا فعالیت‌های زیستی خاک در گونهٔ گز با گونهٔ سیاه تاغ متفاوت است؛ ۲- تأثیر فصل و همچنین تاج‌پوشش بر فعالیت‌های زیستی خاک در رویشگاه‌های گز و سیاه تاغ چگونه است؟ مدیران و متصدیان منابع طبیعی می‌توانند از یافته‌های این پژوهش اطلاعات جامع‌تر و تکمیلی به‌دست آورند تا قضاوت بهتر و صحیح‌تری برای انتخاب درست گونه در عملیات احیا و بازسازی عرصه‌های منابع طبیعی نواحی گرم و خشک کشور داشته باشند.

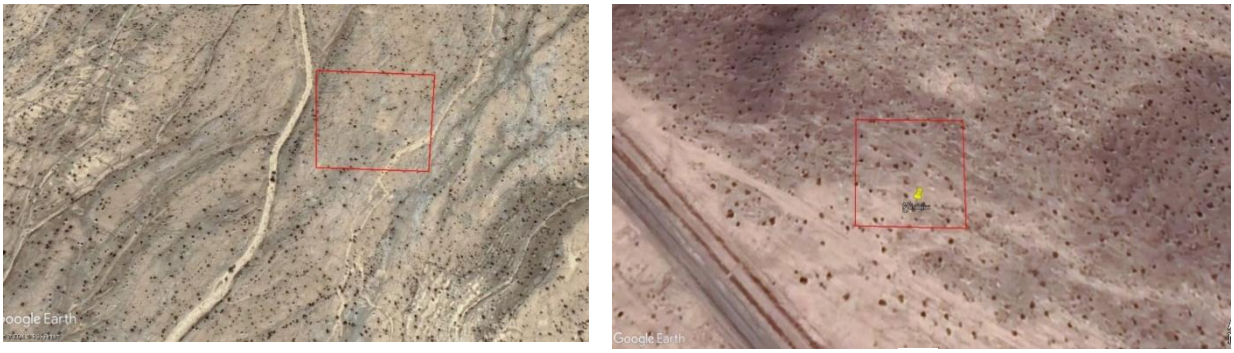
مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

رویشگاه دست‌کاشت سیاه‌تاغ (*Haloxylon ammodendron*) در منطقهٔ حسین‌آباد میش‌مست،

بخش کوچکی از فلات مرکزی ایران در دشت قم با آب‌وهوایی خشک قرار دارد (شکل‌های ۱ و ۲). تاغ‌کاری با مساحت ۳۱۸۰ هکتار در سال ۱۳۶۲ انجام گرفت و در سال‌های بعد بنا به ضرورت واکاری شد. این رویشگاه با ۸۶۴ متر ارتفاع از سطح دریا بین طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۰۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۵ دقیقه قرار گرفته است. براساس اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک به منطقه، ایستگاه سینوپتیک شکوهیهٔ قم، در دورهٔ آماری سی‌ساله (۹۴-۱۳۶۵)، بهمن با ۴/۲ درجهٔ سانتی‌گراد سردترین ماه و تیر با ۳۱/۷ درجهٔ سانتی‌گراد گرم‌ترین ماه سال است. میانگین بارش سالانه در دورهٔ آماری ده‌ساله (۹۴-۱۳۸۵) حدود ۱۳۷/۹ میلی‌متر و مقدار تبخیر سالانه ۲۹۷۸ میلی‌متر است. براساس روش آمبرژه، اقلیم منطقه بیابانی گرم خفیف است Rahmatizade, 2014.

رویشگاه طبیعی گونهٔ گز (Tamarix hispida) در دشت مسیلهٔ استان قم به مساحت تقریبی ۱۳۰۰۷ هکتار در شمال شرقی شهر قم و با توجه به نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ محدوده در بلوک آران و در شیت مشک‌آباد قرار گرفته است (شکل‌های ۱ و ۲). این رویشگاه طبیعی به ترتیب در مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۰۹ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی واقع است. بارندگی محدوده به‌طور میانگین ۱۳۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۹/۳ درجهٔ سانتی‌گراد است. تنها اشکوب درختچه‌ای محدوده مربوط به درختچهٔ گز و ۹۰ درصد پوشش تاجی متعلق به این گونه است.



A B

شکل ۱- موقعیت مناطق روی تصاویر ماهواره‌ای، رویشگاه گز (A) و رویشگاه تاغ (B)

Figure1. Location of areas on satellite images, *Tamari*x habitat (A) & *Haloxylon* habitat (B)

A B

شکل ۲- نمایی از مناطق تحت پژوهش، رویشگاه گز (A) و رویشگاه تاغ (B)

Figure2. A view of the study areas, *Tamari*x habitat (A) & *Haloxylon* habitat (B)

شیوهٔ اجرای پژوهش

در بهار (زمان شروع گرما و اوج فعالیت گیاهی و میکروبی) و پاییز (زمان شروع سرما و کاهش فعالیت گیاهی و میکروبی)، در هر کدام از محل‌های زیر و خارج از تاج‌پوشش (تیمار و شاهد)، ۳۰ پایه سیاه تاغ و ۳۰ پایه گز در جهت شرق درخت (به‌منظور یکسان‌سازی شرایط محیط) نمونه‌برداری خاک انجام گرفت. در هر گروه تیمار و شاهد، سه نمونه خاک به‌طور تصادفی ترکیب شد و در نهایت برای هر گونه ۱۰ نمونهٔ ترکیبی و در مجموع در دو رویشگاه ۲۰ نمونهٔ مرکب به‌دست آمد. نمونه‌برداری خاک در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متر بود. اندازه‌گیری مشخصات زیستی خاک تا عمق ۱۵ سانتی‌متر کفایت می‌کند، زیرا بیشتر فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی در همین عمق است و در بیشتر از این عمق فعالیت بسیار کم و ناچیز می‌شود. برای سنجش ویژگی‌های زیستی، نمونه‌ها در کیسه‌های نایلونی و در داخل یخدان به آزمایشگاه منتقل و در فریزر با دمای ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد (برای ثابت ماندن فعالیت میکروارگانیسم‌ها) نگهداری شدند. قبل از سنجش‌ها، هر نمونه خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد (Schinner, 1996).

روش آزمایشگاهی

اسیدیتهٔ خاک در همهٔ نمونه‌ها با دستگاه pH متر (نسبت ۱ به ۲/۵)، کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (Walkley & Black, 1934) و جرم مخصوص ظاهری با استفاده از کلوخه‌های خاک و به روش پارافین محاسبه شد (Ghazanshahi, 1998).

پس از اندازه‌گیری مشخصه‌های درصد کربن و جرم مخصوص ظاهری، مقادیر اندوختهٔ کربن خاک برحسب تن در هکتار (رابطهٔ ۱) محاسبه شد (Kooch et al., 2017).

رابطهٔ ۱ $Cs = 10000 \times OC\ (\%) \times Bd \times E$

OC = کربن آلی خاک (kg / ha)، OC درصد= درصد کربن آلی، Bd = وزن مخصوص ظاهری خاک (g/ cm^3) و E= عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر) است.

ویژگی‌های زیستی خاک

تنفس پایه و برانگیخته به‌ترتیب با استفاده از روش ظروف دربسته برحسب میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در روز و ساعت. ۲۰ گرم خاک مرطوب به‌همراه هیدروکسید سدیم در ظرف دربسته به‌مدت ۲۴ و ۴ ساعت در دمای ۲۵ و ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد انکوباسیون شده و پس از تکمیل مراحل استخراج با اسیدکلریدریک ۰/۱ مولار تیتر شدند (Schinner, 1996).

کربن زی‌توده به روش تدخین- استخراج (گازدهی با کلروفرم) برحسب میلی‌گرم کربن زی‌توده در صد گرم خاک خشک به‌طوری که در ۲۵ گرم خاک مرطوب به‌مدت ۲۴ ساعت با گاز کلروفرم تدخین شدند و نمونه‌های کنترل در دمای محیط قرار گرفتند و پس از تکمیل مراحل استخراج با فروسولفات آمونیوم تیتر شدند (Schinner, 1996).

پتانسیل نیتریفیکاسیون به روش انکوباسیون بوده که برمبنای اثر بازدارندهٔ کلرات سدیم روی نیتروباکتر طراحی شده است و برحسب میکروگرم نیتروژن نیتریتی آزادشده در هر گرم خاک خشک در پنج ساعت و با سوبسترای سولفات آمونیوم و در ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. نمونه‌های کنترل در دمای ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از گذشت ۵ ساعت و افزودن معرف رنگی (حاوی سولفانیل‌آمید و آلفا-نفتیل اتیلن دی‌آمین هیدروکلراید)، مقدار جذب در ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Schinner, 1996).

روش تحلیل

اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌ها در نرم‌افزار اکسل ذخیره شد. با استفاده از نرم‌افزار Spss نسخهٔ ۲۲ پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها (آزمون کولموگرف-اسمیرنوف)، مقایسهٔ میانگین‌ها به روش تجزیهٔ واریانس

و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شد. متغیرهای مستقل در مجموعه داده‌های تحقیق شامل متغیرهای موقعیت (زیر سایه‌انداز تاج و بیرون از آن)، گونه (گز و تاغ) و زمان (پاییز و بهار) است. بنابراین هر کدام از متغیرهای مستقل دو رده دارد. نرمال بودن متغیرهای وابسته با استفاده از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو- ویلک بررسی شد. فرض نرمال بودن متغیرهای وابسته پذیرفته می‌شود. برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. پس از بررسی پیش‌فرض‌های تحلیل واریانس سه‌طرفه، صحت فرضیه‌های تحقیق بررسی می‌شود (Montgomery, 2012)، برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون توکی HSDاستفاده شد. از آنالیز تجزیهٔ واریانس دوطرفه (Two-way ANOVA) نیز برای تحلیل و مقایسهٔ میانگین‌ها میان عامل ذخیرهٔ کربن آلی خاک و فاکتورهای موقعیت (تیمار و شاهد) و گونه استفاده شد.

نتایج

طبق نتایج جدول ۱، فاکتور زیستی تنفس برانگیخته در سه سطح گونه، زمان و گونه×زمان اختلاف معنادار دارد ($p<0.05$). همچنین برای متغیر زی‌تودهٔ میکروبی کربن، مقدار p-value تنها برای متغیر زمان برابر ۰/۰۰۱ حاصل شد؛ از این‌رو بین مقدار فاکتور زی‌تودهٔ میکروبی کربن در پاییز و بهار تفاوت معنی‌دار وجود دارد.

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیهٔ واریانس ویژگی‌های زیستی خاک در زیر و بیرون تاج دو گونهٔ سیاه‌تاغ و گز در دو فصل بهار و پاییز

Table 1. Mean squares obtained from analysis of variance of soil biological properties under and outside the canopy of two species *of Haloxylon ammodendron* and *Tamarix hispida* in spring and autumn

منبع تغییرات Sources Change	درجهٔ آزادی Degree of freedom	تنفس پایه Basic respiration	تنفس برانگیخته Induced respiration	پتانسیل نیتریفیکاسیون Nitrification potential	زی‌تودهٔ میکروبی کربن Microbial biomass carbon
موقعیت Location	1	0.930 ns	29.138 ns	11069.927 ns	0.059 ns
گونه Species	1	0.014 ns	485.252*	372.039 ns	7.491 ns
زمان Time	1	0.697 ns	1436.163*	14840.601 ns	29.981*
موقعیت×گونه Location× Species	1	0.074 ns	73.821 ns	14430.502 ns	0.245 ns
موقعیت×زمان Location×Time	1	0.655 ns	5.285 ns	8806.353 ns	1.021 ns
گونه×زمان Species×Time	1	0.918 ns	365.299*	135.829 ns	5.454 ns
موقعیت×گونه×زمان Species×Time× Location	1	0.210 ns	58.709 ns	11.396 ns	0.443 ns
خطا Error	32	0.295 ns	22.862 ns	4228.738 ns	2.138 ns
کل Total	40				

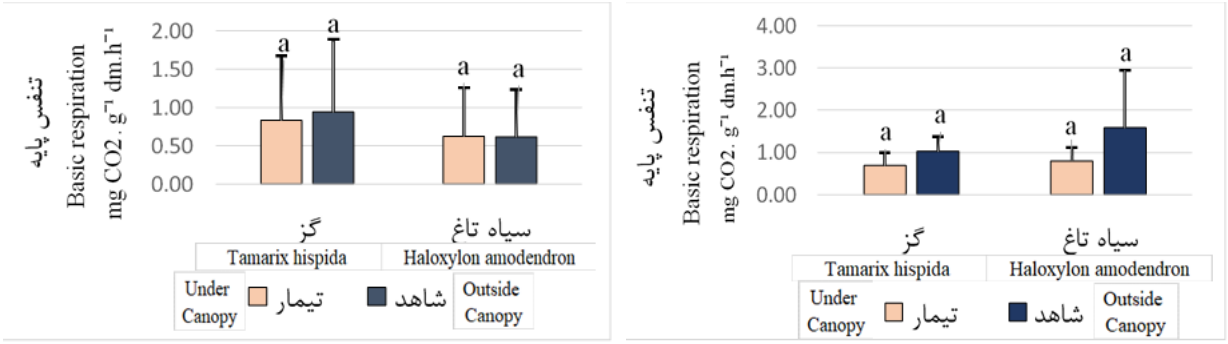
ns و * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

ns and * Non-significant and significant at the 5% probability levels, respectively

مقدار میانگین تنفس پایهٔ خاک در گونهٔ گز در بهار ۰/۸۵ و در گونهٔ سیاه‌تاغ ۱/۱۹۵ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر گرم خاک خشک در روز و در پاییز به‌ترتیب ۰/۸۹و ۰/۶۲ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر گرم خاک خشک در روز اندازه‌گیری شد (میانگین دو موقعیت تیمار و شاهد) (شکل ۳).

با توجه به شکل ۴، فاکتور تنفس برانگیخته در گونهٔ گز و در فصل بهار بیشتر است. مقدار میانگین تنفس برانگیختهٔ خاک در گونهٔ گز در بهار ۲۰/۹۷ و در گونهٔ سیاه‌تاغ ۷/۹۶ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر گرم خاک خشک در روز و در پاییز به‌ترتیب ۲/۹۵ و ۲/۰۲ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر گرم خاک خشک در روز اندازه‌گیری شد (میانگین دو موقعیت تیمار و شاهد) (شکل ۴).

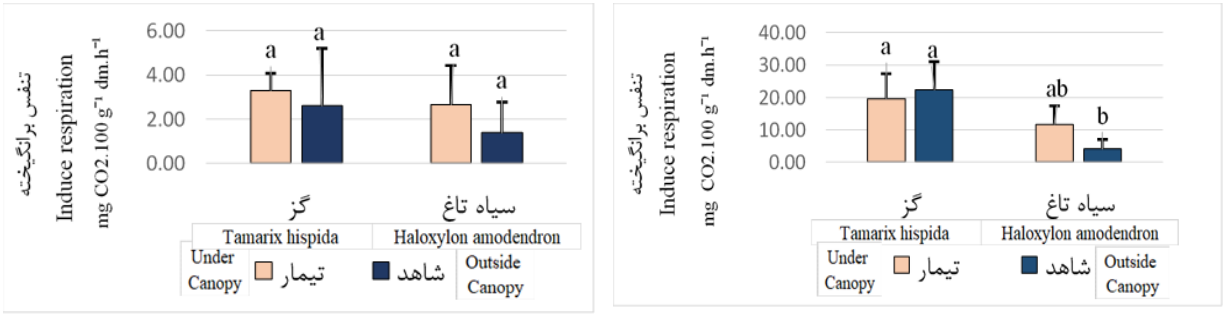
طبق نتایج جدول ۱ برای متغیر پتانسیل نیتریفیکاسیون، مقدار p-value به‌دست‌آمده در همهٔ سطوح از ۰/۰۵ بزرگ‌ترند. در نتیجه هیچ اختلافی معنادار نشده است. با توجه به شکل ۵ میانگین پتانسیل نیتریفیکاسون در گونهٔ گز و بیرون تاج (منطقهٔ شاهد) بیشتر است، هرچند این اختلاف معنادار نیست.



الف A ب B

شکل ۳- مقایسهٔ میانگین اثر عوامل گونه (سیاه‌تاغ و گز)، موقعیت نمونه‌برداری (زیر و بیرون تاج) و فصل نمونه‌برداری پاییز ۱۴۰۰(A) و بهار ۱۴۰۱(B)، بر تنفس پایهٔ خاک

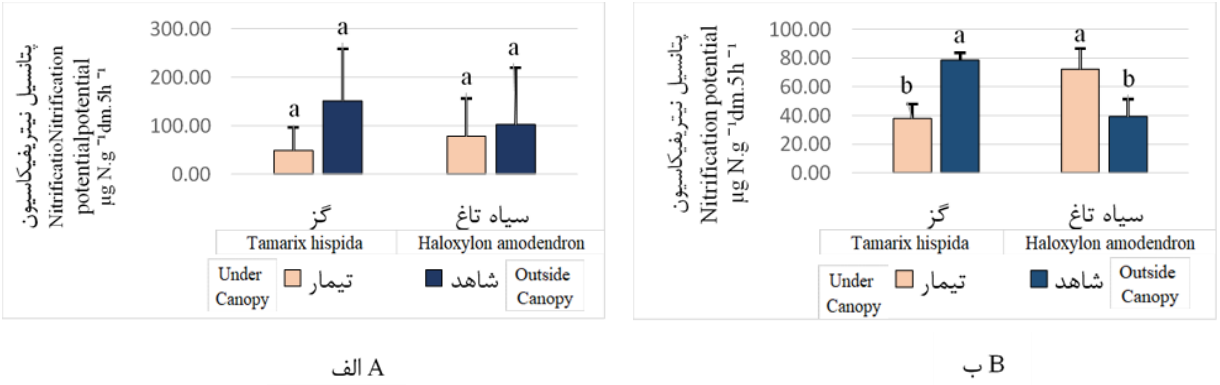
Figure 3. Comparison of the mean effect of the species (*Haloxylon amodendron* and *Tamarix hispida)* and the sampling seasons and location (under and outside the canopy) on soil Basic respiration



الف A ب B

شکل ۴- مقایسهٔ میانگین اثر عوامل گونه (سیاه‌تاغ و گز)، موقعیت نمونه‌برداری (زیر و بیرون تاج) و فصل نمونه‌برداری (پاییز ۱۴۰۰(A) و بهار ۱۴۰۱(B)) بر تنفس برانگیختهٔ خاک

Figure 4. Comparison of the mean effect of the species (*Haloxylon amodendron* and *Tamarix hispida*) and the sampling seasons and location (under and outside the canopy) on soil Induce respiration



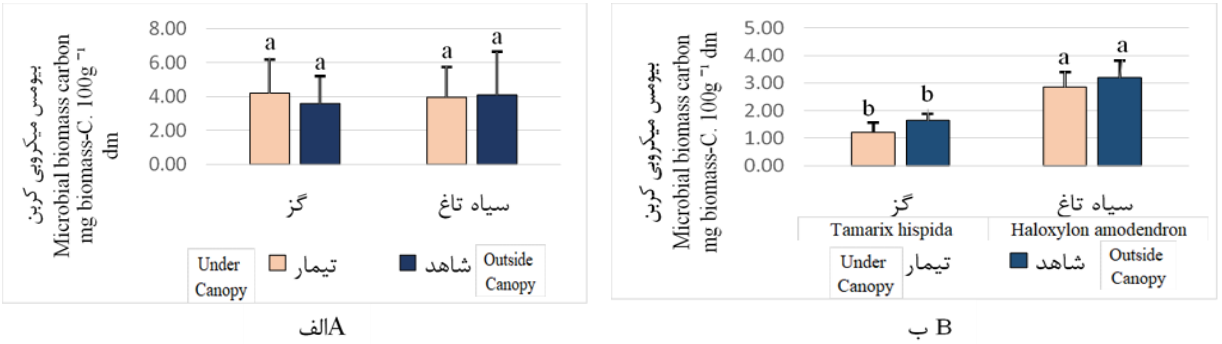
الف A ب B

شکل ۵- مقایسهٔ میانگین اثر عوامل گونه (سیاه‌تاغ و گز)، موقعیت نمونه‌برداری (زیر و بیرون تاج) و فصل نمونه‌برداری (پاییز۱۴۰۰(A) و بهار ۱۴۰۱ (B)) بر پتانسیل نیتریفیکاسیون خاک

Figure 5. Comparison of the mean effect of the species (*Haloxylon amodendron* and *Tamarix hispida*) and the sampling seasons and location (under and outside the canopy) on soil Nitrification potential

براساس نتایج جدول ۱ برای متغیر زی‌تودهٔ میکروبی کربن، مقدار p-value به‌دست‌آمده تنها برای متغیر زمان برابر ۰/۰۰۱ حاصل شد، از این‌رو بین میزان فاکتور زی‌تودهٔ میکروبی کربن در پاییز و بهار تفاوت معنی‌دار وجود دارد و براساس شکل ۶، میزان این فاکتور زیستی در فصل پاییز بیشتر است.

مقدار میانگین کربن زی‌توده در گونهٔ گز در پاییز ۴/۰۸ و در بهار۲/۰۳ و در گونهٔ سیاه‌تاغ در پاییز ۴/۰۲ و در بهار ۳/۰۳ میلی‌گرم در صد گرم خاک خشک محاسبه شد (شکل ۶).



الفA ب B

شکل۶- مقایسهٔ میانگین اثر عوامل گونه (سیاه‌تاغ و گز)، موقعیت نمونه‌برداری (زیر و بیرون تاج) و فصل نمونه‌برداری (پاییز۱۴۰۰(A) و بهار ۱۴۰۱(B)) بر زی‌تودهٔ میکروبی کربن خاک

Figure 6. Comparison of the mean effect of the species (*Haloxylon amodendron* and *Tamarix hispida*) and the sampling seasons and location (under and outside the canopy) on soil microbial biomass carbon

در این پژوهش، مقدار اسیدیته و مواد آلی خاک رویشگاه هر دو گونه نیز اندازه‌گیری شد که نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج تجزیهٔ واریانس اثر عوامل تحت بررسی بر فاکتورهای pH، OC% و ذخیرهٔ کربن آلی خاک مشخص می‌کند که میانگین این فاکتورها در گونهٔ گز بیشتر است. اثر گونه و موقعیت نمونه‌برداری بر مقدار فاکتورهای اسیدیته، درصد کربن آلی و ترسیب کربن (ذخیرهٔ کربن آلی) خاک در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار داشت. مقدار میانگین درصد کربن آلی خاک در زیر سایه‌انداز تاج در گونهٔ تاغ ۰/۲ و در گونهٔ گز ۰/۹ گزارش شد. این مقدار در بیرون تاج به‌ترتیب، ۰/۱ و ۰/۵ درصد است.

نتایج حاصل از آنالیز تجزیهٔ واریانس دوطرفه (Two-way ANOVA) ذخیرهٔ کربن آلی خاک، بین فاکتورهای موقعیت (تیمار و شاهد) و گونه نشان می‌دهد که بین ذخیرهٔ کربن آلی خاک در سطح گونه

و موقعیت، تفاوت معنی‌داری در سطح خطای ۱ درصد وجود دارد (جدول ۲).

مقایسهٔ میانگین تیمارها (شکل ۷) نشان داد که بیشترین اندوختهٔ کربن خاک در زیر تاج درختچهٔ گز (تیمار) با مقدار ۱۹۱/۱۳ تن در هکتار است. درحالی که اندوختهٔ کربن خاک در بیرون از تاج‌پوشش (شاهد) این گونه ۱۱۰/۴۵ تن در هکتار است که این اختلاف معنی‌دار است. همچنین یافته‌ها نشان داد که ذخیرهٔ کربن خاک زیر تاج تاغ، ۵۲/۶۳ تن در هکتار است که با تیمار شاهد این گونه تفاوت معنی‌داری ندارد، اما از گز کمتر بوده و اختلاف آن معنی‌دار است.

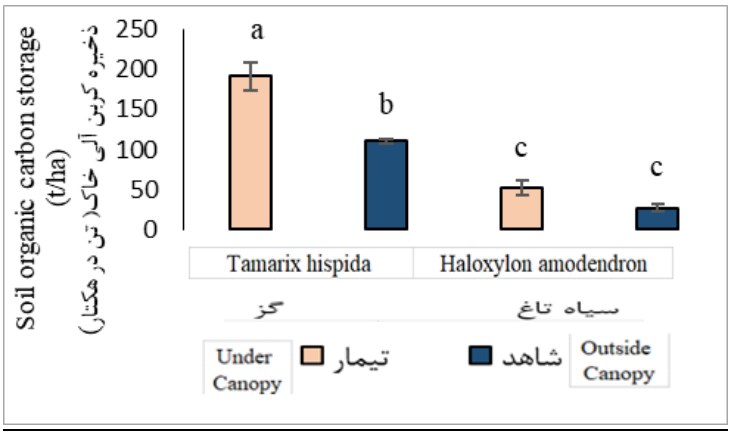
جدول۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیهٔ واریانس اسیدیته، درصد کربن آلی و ذخیرهٔ کربن آلی در زیر و بیرون تاج دو گونهٔ سیاه‌تاغ و شورگز

Table 2. Mean squares obtained from analysis of variance of pH, percentage OC and organic carbon storage under and outside the canopy of *Haloxylon ammodendron* and *Tamarix hispida*

منابع تغییر Sources Change	درجهٔ آزادی Degree of freedom	اسیدیته pH	درصد کربن آلی Organic Carbon%	ذخیرهٔ کربن آلی در خاک Soil organic carbon storage (t/ha)
گونه Species	1	0.7722*	1.7228*	61691.610*
موقعیت Location	2	0.01201*	0.3511*	14177.813*
گونه × موقعیت Species × Location	1	0.0911*	0.1232*	3760.105*
خطا Error	16	0.0079	0.0133	539.872
جمع Total	20			

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (p<0.05)

* significant at the 5% probability levels, respectively



شکل ۷- مقایسهٔ میانگین اثر عامل اصلی نوع گونه (تاغ و گز) و عامل فرعی موقعیت نمونه‌برداری (زیر و بیرون تاج) بر مقدار اندوختهٔ کربن

Figure 7. Comparison of the mean effect of the mainfactor of the type of species (*Haloxylon ammodendron* and *Tamarix hispida*) and the secondary factor of the sampling location (under and outside the canopy) on soil organic carbon storage

بحث

براساس نتایج، تنفس برانگیختهٔ خاک در اثر عامل نوع گونه تفاوت معنی‌دار نشان می‌دهد و مقدار آن در گونهٔ گز بیشتر از تاغ است. در سطح جهانی، دما و رطوبت خاک مهم‌ترین پارامترهای غیرزیستی مؤثر بر تنفس خاک و فرایندهای زیربنایی آن در نظر گرفته شدند (Kutsch, 2010). با توجه به اینکه در منطقهٔ رویشی و هنگام بازدید میدانی، تراکم پایه‌های گز و در نتیجه سطح تاج‌پوشش گز در مقایسه با سیاه‌تاغ بسیار کمتر و پوشش علفی همراه نیز در رویشگاه گز حداقل ممکن بود، می‌توان گفت نور کافی در خاک رویشگاه گز سبب ایجاد شرایط بهتر برای تهویه و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود، درحالی که به‌دلیل تراکم بیشتر پایه‌های تاغ و در نتیجه درصد پوشش تاجی بیشتر و همچنین به‌علت وجود پوشش علفی گسترده‌تر رویشگاه تاغ، نور کمتری به خاک رویشگاه وارد می‌شود. بنابراین خاک سایه‌انداز بیشتری دارد و حجم بیشتر لاشبرگ که در زیر تاج سیاه‌تاغ مشاهده می‌شود، اگرچه اثر اساسی برای حفظ رطوبت دارد، احتمالاً تأثیرات مکانیکی و شیمیایی منفی بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک دارد (Alizadeh, 2022). همچنین براساس نتایج پژوهش‌های قبلی، افزایش کربن آلی خاک در گونهٔ گز نسبت به گونهٔ تاغ دلیل دیگری برای افزایش فعالیت میکروبی و افزایش فعالیت تنفس برانگیخته است و این پژوهش با یافته‌های Prasad & Baishya (2019) همخوانی دارد. پژوهشگران افزایش حاصلخیزی در زیر تاج گونهٔ گز را از قبل گزارش کردند (Ordibehesht et al., 2023 ; Mahdavi Ardakani et al., 2011). به نظر می‌رسد که یکی از دلایل افزایش حاصلخیزی خاک گز، وجود قارچ‌های میکوریز آربوسکولاری باشد که با درختچه‌های گز همزیستی دارد. Mohamadi et al. (2016) در تحقیقی دربارهٔ درختان گز در رویشگاه‌های مختلف دریافتند که جمعیت این اسپورها صرف‌نظر از گونهٔ قارچی بین ۱۵ تا ۱۶۸۸ عدد در ۵۰ گرم خاک متغیر است، درحالی که گیاهان تیرهٔ اسفناجیان، به‌جز آتریپلکس، امکان تشکیل رابطهٔ همزیستی با قارچ‌های میکوریز را ندارند (Rousta et al., 2023)و به‌طور مشخص در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک گونهٔ *H. ammodendron* تا کنون هیچ قارچی مشاهده نشده است (Jiang et al., 2017). تنفس خاک تحت تأثیر عوامل متعدد زنده و غیرزنده مانند مقدار رطوبت و دمای خاک (Akburak & Makinec, 2013)، محتوای نیتروژن خاک، مقدار مواد آلی، نوع و مقدار لاشبرگ ورودی به بستر خاک (Kooch et al. 2013) قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد که در این پژوهش، دلیل اصلی کاهش تنفس میکروبی در رویشگاه تاغ، افزون‌بر کاهش کربن آلی خاک، کمبود رطوبت در این رویشگاه باشد، زیرا رطوبت خاک نیز از مهم‌ترین فاکتورهای محیطی است که اثر اساسی در اکوسیستم دارد و تنفس میکروبی خاک به‌شدت به آن وابسته است (Moges et al., 2013). در رویشگاه گز به‌علت پیشروی آب زیرزمینی از سمت دریاچهٔ نمک، خاک دارای رطوبت بیشتری بود، هرچند به‌علت مقدار املاح و شوری زیاد این رطوبت، محدودیت زادآوری و پوشش علفی کف و همراه اتفاق افتاده است. براساس تحقیق (Zandi et al., 2021) میزان تنفس میکروبی خاک با مقدار کربن و نیتروژن خاک ارتباط نزدیک و معناداری دارد. با توجه به تحقیقات قبلی (Ordibehesht et al. 2023) در رویشگاه‌های بررسی‌شدهٔ تاغ و گز تحقیق حاضر در استان قم که مقدار اندوختهٔ کربن آلی، درصد کربن آلی، نیتروژن و برخی عناصر شیمیایی خاک رویشگاه‌ها را اندازه‌گیری و مقایسه کردند، مشاهده شد که در رویشگاه گز مقدار عناصر غذایی، نیتروژن و کربن آلی و اندوختهٔ کربن خاک بسیار بیشتر از خاک رویشگاه تاغ است. (Wani et al. 2018) نیز بیان داشتند که نیتروژن خاک سبب تحریک انتشار تنفس خاک می‌شود. در پژوهش حاضر محدودهٔ سنی درختچه‌های گز دارای میانگین بیش از ۵۰ سال و درختچه‌های تاغ دارای میانگین سنی ۳۰ سال بود. براساس یافته‌ها (Akburak Yi et al., 2007

Saeidi et al., 2023; Zhou et & Makineci 2013; al., 2020;) با افزایش سن درختچه‌ها با سن بیشتر از ۲۰ و ۳۰ سال، همبستگی مثبتی بین مشخصه‌های میکروبی خاک با مقدار مادهٔ آلی، نیتروژن، فسفر، درصد رس و محتوای رطوبت وجود خواهد داشت. به همین دلایل، تغییرات و نوسانات زمانی تنفس خاک تحت کاربری‌های مختلف به احتمال زیاد از گسترهٔ وسیعی از عوامل زنده و غیرزنده ناشی می‌شود. نحوهٔ ورود ترکیب‌های مختلف مواد آلی در محیط خاک تحت تأثیر گرمایش زمین نسبت به شرایط عادی متفاوت خواهد بود. با افزایش دما، دمای محیط خاک افزایش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که در شرایط اقلیمی گرم‌تر سرعت تجزیهٔ مواد آلی خاک نیز افزایش می‌یابد که سبب افزایش واکنش‌های دیگری نیز در آن می‌شود که بر قدرت باروری خاک اثرهایی خواهد داشت (Zahedi Amiri & Zargham, 2015). در تحقیق حاضر نیز افزایش معنی‌دار تنفس در بهار ممکن است به‌دلیل بیشتر بودن دمای محیط نسبت به دمای خاک در فصل پاییز باشد. فعالیت میکروبی بیشتر نشان‌دهندهٔ سلامت خاک است. دریافت نور و رطوبت بیشتر، در فعالیت بیشتر جوامع میکروبی خاک و در نتیجه تجزیهٔ سریع‌تر لاشبرگ‌ها اثر زیادی خواهد داشت (Esfandiari et al. 2022) بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که خاک رویشگاه گز نسبت به رویشگاه تاغ دارای فعالیت‌های میکروبی بیشتری است. براساس نتایج پژوهش‌های Mahmoodi et al. (2023) دربارهٔ تأثیر گونه‌های درختی نسبت به دینامیک فصل بر عملکرد خاک سطحی و انتشار CO_2 در جنگل‌های معتدل شمال ایران بر روی چهار گونهٔ رایج رویشگاه، فصل عامل اصلی توضیح‌دهندهٔ تغییرات تنفس پایه است، ولی خواص شیمیایی خاک از ترکیب گونه‌ها حساس‌ترند. در این تحقیق نیز فصل نمونه‌برداری خاک، بر ویژگی‌های زیستی تنفس میکروبی و زی‌تودهٔ میکروبی کربن مؤثر بوده است. خواص زیستی خاک به‌طور مستقیم با تعداد و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک (مانند زی‌تودهٔ میکروبی و تنفس خاک) یا به‌طور غیرمستقیم با فرایندهایی که فعالیت آنزیم‌های خاک در آنها بسیار تعیین‌کننده‌اند ارتباط دارند؛ از این‌رو نتایج تحقیقات دربارهٔ فعالیت آنزیم‌های خاک هم شایان توجه خواهند بود. فعالیت آلکالین فسفاتاز در دو فصل بهار و پاییز توسط Matinizadeh et al. (2010) سنجیده شد. در زیر تاج‌پوشش تفاوت بین دو فصل بهار و پاییز مشاهده نشد، اما در بیرون تاج‌پوشش آنزیم در بهار فعالیت بیشتری در مقایسه با پاییز داشت و این اختلاف معنی‌دار بود. Matinizadeh et al. (2008) و Boerner et al. (2005)در تحقیقات خود به نتایجی مشابه این یافته‌ها و روند کاهشی در فعالیت آنزیم‌های خاک در آغاز پاییز دست یافتند. Heinemeyer & Kaiser (1993) مشاهده کردند که در پایان تابستان فعالیت آنزیم‌ها افزایش یافت. گونه‌های گز و تاغ در رویشگاه‌های تحقیق حاضر نیز تأثیری بر پتانسیل نیتریفیکاسیون خاک منطقه نداشت. Alizadeh et al. (2022) نیز به این نتیجه رسیدند که نوع گونه‌های سمر و کهور ایرانی در منطقهٔ عسلویه، تأثیری بر پتانسیل نیتریفیکاسیون خاک منطقه نداشت. یافته‌های Teimouri et al. (2015) نشان داد که پتانسیل نیتریفیکاسیون در فصل بهار در رویشگاه‌های دست‌خورده بیش از رویشگاه‌های دست‌نخورده است که با یافته‌های Vitousek (1979) مبنی بر افزایش آن در مناطق تخریب‌یافته مطابقت دارد. در تحقیق حاضر نیز میانگین متغیر پتانسیل نیتریفیکاسیون در هر دو گونه در منطقهٔ شاهد (بیرون تاج‌پوشش) بیشتر از منطقهٔ زیر تاج‌پوشش بود، هرچند که این اختلاف معنی‌دار نشد.

در فاکتور زیستی زی‌تودهٔ میکروبی کربن، تنها فصل و زمان نمونه‌برداری خاک بر میزان این فاکتور مؤثر بود که در پاییز بیشتر از بهار بود. Santruckova (1992)در تحقیقی دربارهٔ زی‌تودهٔ میکروبی خاک در فصل‌های مختلف سال بیشترین مقدار تودهٔ میکروبی خاک را در فصل مرطوب و کمترین مقدار آن را در فصل خشک مشاهده کردند. Saratchandra et al. (1984) در پژوهشی روی خاک‌های مرتعی

نیوزیلند بیشترین مقدار عناصر غذایی را در فصل بهار و کمترین آن را در فصل تابستان مشاهده کردند. پارامترهای زیادی بیانگر تأثیر گونه‌های درختی بر کربن زی‌تودهٔ میکروبی خاک هستند. برای مثال، کمیت و کیفیت عناصر غذایی حاصل از لاشبرگ، ریشهٔ گونه‌های درختی، ویژگی‌های مواد غذایی و شرایط اقلیمی می‌توانند شاخص‌های بسیار مهمی در تغییرپذیری کربن زی‌تودهٔ خاک باشند (Yang, 2010) .همچنین ازآنجا که در استان قم ماه‌های سرد هم وجود دارد، شرایط محیطی خوبی به لحاظ فعالیت میکروبی در خاک وجود دارد که حداقل به نبود تفاوت معنی‌دار کربن زی‌توده بین دو گونه می‌انجامد. هرچند که اثر گونه در کربن زی‌توده تفاوت معنی‌دار نشان نداد. با وجود داشتن اختلاف در میانگین میزان متغیر زیستی تنفس میکروبی در گز و تاغ، ثابت شد که با افزایش مقادیر تنفس لزوماً مقدار کربن زی‌توده نمی‌تواند بین دو گونه تفاوت معنی‌دار نشان دهد و رابطهٔ مستقیمی بین آنها وجود ندارد. در تحقیق Bazgir et al. (2020) مشخص شد که با حرکت در طول ترنسکت اقلیمی در جهت افزایش دما (ایوان به‌سمت سیروان) مقدار کربن و نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی کاهش و در جهت افزایش مقدار بارش مقدار زی‌تودهٔ میکروبی نیز افزایش پیدا می‌کند که مشابه آن در رویشگاه تحقیق حاضر نیز در پاییز با کاهش دما، زی‌تودهٔ میکروبی کربن افزایش می‌یابد. می‌توان گفت در مورد دو فاکتور زی‌تودهٔ میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون هیچ یک از این گونه‌ها بر دیگری برتری نشان نداد. کاهش فعالیت زیستی خاک در انتهای فصل رویش را می‌توان به اقلیم مناطق تحت بررسی که دارای دورهٔ خشکی و گرمای به‌نسبت طولانی هستند نسبت داد که چنین وضعیتی برای ادامهٔ رشد میکروارگانیسم‌ها در تابستان مناسب نیست (Joukar et al., 2019) و از این‌رو با سکون نسبی روبه‌رو می‌شوند. البته می‌توان گفت تفاوت‌های چشمگیر بین ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی برگ گونه‌های مختلف بیانگر سازگاری گیاهان با شرایط اکولوژیکی محیطی نیز است (Soheili et al., 2023). ساختار برگ گونهٔ گز نسبت به گونهٔ تاغ به توانایی استقرار و زیست این گونه در شرایط سخت اکولوژی و شورترین خاک‌ها کمک می‌کند. گونه‌های گز در دره‌های کالیفرنیا که به‌دلیل شوری بسیار زیاد خاک به درهٔ مرگ معروف است، با دفع یون‌های نمک (از طریق برگ) توانسته‌اند سازگاری یابند (Blaylock, 1994). همچنین گونهٔ گز به‌علت ذخیره‌سازی کربن بیشتر در خاک تأثیر مهمی در کاهش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر خواهد داشت (Askarii et al., 2021).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که درختچهٔ گز از عملکرد بهتر و سازگاری مطلوب‌تری با شرایط آب‌وهوایی استان قم برخوردار است. گونهٔ گز قابلیت بیشتری نسبت به گونهٔ تاغ در ذخیره‌سازی کربن و افزایش شاخص‌های زیستی خاک دارد، بنابراین با شناخت چنین گونه‌هایی می‌توان اصلاح و احیای جنگل‌های شهری را نیز از منظر شاخص ذخیرهٔ کربن دنبال کرد. با توجه به تأثیرات مثبت گز بر خاک، استفاده از درختچهٔ گز در فضای سبز شهر هم توصیه شده است (Rabiei et al., 2021). نتایج به‌دست‌آمده از این منطقه، تعمیم‌پذیر به مناطقی با شرایط اکولوژیک مشابه است و در مناطقی که قرار است درختکاری با گونه‌های گز و تاغ انجام گیرد، باید عوامل خاکی مطرح‌شده در این تحقیق مدنظر قرار گیرد. در نهایت در شیوه‌های مختلف مدیریتی رویشگاه مناطق خشک و نیمه‌خشک، مادهٔ آلی خاک، کربن زی‌تودهٔ میکروبی و تنفس میکروبی از مهم‌ترین عوامل منعکس‌کنندهٔ خواص شیمیایی و زیستی خاک هستند. پیشنهاد می‌شود که شاخص‌های زیستی خاک در طول زمان (ماهانه، فصلی و چند سال) سنجش شوند تا نتایج آنها برای بخش‌های مدیریتی و اجرایی مفید واقع شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که

عناصر تغذیه‌ای پرمصرف و کم‌مصرف سنجش شود تا بتوان به ارتباط بین فعالیت‌های زیستی و وضعیت عناصر تغذیه‌ای خاک پی برد.

سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از دستاوردهای طرح ملی «سنجش و پایش رویشگاه‌های ایران تورانی (فاز اول)» است که با حمایت مالی مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور انجام گرفت. نویسندگان مقاله لازم می‌دانند از حمایت‌های مادی و معنوی مؤسسه نهایت سپاسگزاری خود را اعلام کنند.

References

Akburak, S., & Makineci, E. (2013). Temporal changes of soil respiration under different tree species. *Environmental Monitoring And Assessment*, *185*(4), 3349-3358.

Alizadeh, T., Matinizadeh, M., Habashi, H., & Sadeghi, S.M. (2022). Comparison of soil biological properties and carbon storage of Prosopis cineraria and Prosopis juliflora (Case study: Assaluyeh). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, *29*(1), 89-105. (In Persian)

Askarii, Y., Iranmanesh, Y., & Pourhashemi, M. (2021). The economic value and comparison of carbon storage in different forest areas in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. *Iranian Journal of Forest*, *13*(2), 169-182.

Bazgir, M., Shadivand, K., & Rostami, A. (2020). Effect of *Tamarix Shrub Tamarix Ramosissima* Ledeb. on Soil Physiochemical Properties and Carbon Sequestration of desert Soils. *Journal of Desert Management*, *7*(14), 93-106. (In Persian)

Beheshti, A., Raiesi, F., & Golchin, A. (2011). The effects of land-use conversion from pasturelands to croplands on soil microbiological and biochemical indicators. *Journal of Water and Soil*, *25*(3), 548-562. (In Persian)

Blaylock, A.D. (1994). Soil Salinity and Salt tolerance of Horticultural and Landscape Plants. Cooperative Extension Service, Department of Plant, Soil, and Insect Sciences, College of Agriculture.B-988. University of Wyomimg.

Boerner, R.E.J., Brinkman, J.A., & Smith, A. (2005). Seasonal variations in enzyme activity and organic carbon in soil of a burned and unburned hardwood forest. *Soil Biology & Biochemistry*, *37(8)*, 1419-1426. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.12.012

Chang, Y.J., Hussain, A.K.M.A., Stephen, J.R., Mullen, M.D., White, D.C., & Peacock, A. (2001). Impact of herbicides on the abundance and structure of indigenous beta-subgroup ammonia oxidizer communities in soil microcosms. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *20*(11), 2462–2468. https://doi.org/10.1002/etc.5620201110

Day, A.D., & Ludeke, K.L. (1993). Plant nutrients in desert environments, Springer Verlag, Berlin.

Doran, J.W., & Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality, In: J.W., Doran, D.C., Coleman, D.F., Bezdicek, & B.A., Stewart, *Defining soil quality for a sustainable Environment* (pp. 3-21). Soil Science Society of America. Special Publication. No. 35. Madison, Wisconsin. USA.

Drury, C.E., Hart, S.C., & Yang, X.M. (2008). Nitrification techniques for soils. In M.R. Carter, & E.G. Gregorich (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis* (pp. 495-513). Taylor and Francis Group.

Esfandiari, H., Sefidi, K., Ghavidel, A., Esmaeilpour, M., Amanzadeh, B., & Sadeghi, S.M.M. (2022). Effect of forestry practices on the biological characteristics of soils (Case study: Beech Forest of Asalem). *Journal of Water and Soil Management and Modeling*, *3*(4), 16-28. DOI: 10.22098/mmws.2022.11641.1149

Ghazanshahi, J. (1998). Soil and plant analysis. *Homa Publications, Tehran.*

Gil-Sotres, F., Trasar-Cepeda. C., Leirós, M.C., & Seoane, S. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology & Biochemistry, 37*(5), 877-887.

Hazelton, P.A. (2012). Interpreting soil test results: What do all numbers mean? (H. Oliyayi, Trans.). Zanjan university.

Jia, B., Zhou, G., Wang, E., Wang, Y., & Weng, E. (2007). Effects of grazing on soil respiration of Leymus chinensis steppe. *Climatic Change, (*82*),* 211-223.

Jiang, L., Xian-Ying, X., Rong-Juan, Z., Wen-Tian, C., Peng, P., Ai-Qiang, D., & Gui-Quan, F. (2017). Physicochemical and biological properties of soil in Haloxylon ammodendron plantations with different states of degradation. *Acta Prataculturae Sinica, 26*(12), 1-12. DOI: 10.11686/cyxb2017090

Joukar, Z., Moradi, M., & Basiri., R. (2019). Distribution of rain fall in pure Tamarix arceuthoides stand in the riparian forests. *Journal of Forest Research and Development, 4*(4), 501-513. (In Persian)

Kaiser, E.A., & Heinemeyer, O. (1993). Seasonal variations of soil microbial biomass carbon within the plough layer. *Soil Biology & Biochemistry*, *25*(12), 1649-1656. https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90166-9.

Kennedy, A.C., & Papendick, R.I. (1995). Microbial characteristics of soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation, 50*(3), 243-248.

Kooch, Y., Hosseini, S.M., Hojjati, S.M., & Fallah, A. (2013). Variability of soil physical indicators imposed by beech and hornbeam individual trees in a local scale. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 14*(1), 25-30.

Kooch, Y., Samadzadeh, B., & Hosseini, S.M. (2017). The effects of broad-leaved tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. *Catena, 150,* 223-229. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.023

Kramer, S., & Green, D.M. (2000). Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate in semiarid woodland. *Soil Biology & Biochemistry, 32*(2), 179-188. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00140-6

Kutsch, W.L., Persson, T., Schrumpf, M., Moyano, F.E., Mund, M., Andersson, S., & Schulze, E.D. (2010). Heterotrophic soil respiration and soil carbon dynamics in the deciduous Hainich forest obtained by three approaches. *Biogeochemistry, 100,* 167-183.

Mahdavi Ardakani, S.R., Jafari, M., Zargham, N., Zare Chahouki, M.A., & Tavili, A. (2011). Investigation on the effects of Haloxylon aphyllum, Seidlitzia rosmarinus and Tamarix aphylla on soil properties in Chah Afzal-Kavir (Yazd). *Iranian Journal of Forest, 2(4),* 357-365. (In Persian)

Mahmoodi, M.B., Kooch, Y., & Alberti, G. (2023). Tree species is more effective than season dynamics on topsoil function and CO2 emissions in the temperate forests. *Journal of Ecological Research, 38*(1), 134-145. https://doi.org/10.1111/1440-1703.12364

Matinizadeh, M., Korori S.A.A., Teimouri, M., & Praznik, W. (2008). Enzyme activities in untouched and tampered forest soils under oak (Quercus brantii var. persica) as affected by soil depth and seasonal variation. *Asian Journal of Plant Science*, *7*(4), 368-374. https://doi.org/10.3923/ajps.2008.368.374

Moges, A., Dagnachew, M., & Yimer, F. (2013). Land use effects on soil quality indicators: a case study of Abo-Wonsho Southern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Sciences*, 784989, 9p. https://doi.org/10.1155/2013/784989

Mohamadi, M., Mirzaei, J., Naji, H., & Moradi, M. (2016). Comparison of the symbiosis percentage and spore population density of mycorrhizal fungi symbiotic with Tamarix trees in different habitats. *The first national conference of natural resources and sustainable development in central Zagros*.

Montgomery, D.C. (2012). Design And Analysis Of Experiments. 8th Edition, John Wiley & Sons, New York.

Moshki, A., Nouri, E., & Soleyman Dehkordi, N. (2017). The pattern of soil carbon sequestration changes regarding physico-chemical soil properties (Case study: Semnan Sokan forest park). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 25(2),* 244-253. (In Persian). https://doi.org/ 10.22092/ijfpr.2017.111759

Ordibehesht, M., Shirvany, A., Matinizadeh, M., Ravanbakhsh. H., & Tavakoli Neko, H. (2023). Evaluation of the chemical factors, carbon storage and biodiversity indicators in two species of *Haloxylon amodendron* and *Tamarix hispida* in Qom province. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 21*(1). (In persain)

Parsadoost, F., Eskandari, Z., Bahrainnejad, B., & Jafari Ardakani, A. (2016). Comparison of some chemical and biological indicators of soil in different land uses in two seasons, the beginning and the end of the growing season in Faridan region of Isfahan. *Journal of Water and Soil Sciences*, *19,* 8-19.

Prasad, Sh., & Baishya, R. (2019). Interactive effects of soil moisture and temperature on soil respiration under native and non-native tree species in semi-arid forest of Delhi, India. *International Society for Tropical Ecology, 60,* 252-260.

Rahmatizadeh, A., Jafari, M., & Karimian Eghbal, M. (2014). Identifying saline lands and halophytes of Qom province. *Iranian Journal of Range and Desert Research, 21(4),* 580-590. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2016.13055.

Robertson, G.P. (1982). Factors regulating nitrification in primary and secondary succession. *Journal of Ecology, 63(5),* 1561-73. https://doi.org/10.2307/1938880.

Rousta, M.J., Matinizadeh, M., Nouri, E., Zarafshar, M., & Enayati, M. (2023). Investigating the Diversity, Abundance and Degree of Symbiosis of Arbuscular Mycorrhizal Fungi with Trees and Pasture Plants in Kowsar Station. *Ecology of Iranian Forests*, *11*(21), 159-169. https://doi.org/10.61186/ifej.11.21.159.

Ruiz Palomino, M., Lucas García, J.A., Ramos, B., Gutierrez Mañero, F.J., & Probanza, A.(2005). Seasonal diversity changes in alder (Alnus glutinosa) culturable rhizobacterial communities throughout a phenological cycle. *Applied Soil Ecology, 29(3),* 215-224. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.12.003

Saeidi, M., Hojjati, S.M., & Fallah, A.(2023). Variations of soil carbon storage according to age in reforested stands of Acer velutinum Boiss. (case study: Neka-Zhalmroud forests). *Iranian Journal of Forest*, *15*(3), 293-311. https://doi.org/10.22034/ijf.2023.357277.1885.

Santruckova, H. (1992). Microbial biomass, activity and soil respiration in relation to secondary succession. *Pedobiologia, 36,* 341-350. https://doi.org/10.1016/S0031-4056(24)00762-5.

Saratchandra, S.U., Perrot, K.W., & Upsdell, M.P. (1984). Microbilogycal and biochemical characteristics of a range of New Zealand soils under established pasture. *Soil Biology & Biochemistry*, *16*(2), 177-183. https://doi.org/10.1016/0038-0717(84)90109-3

Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., & Margasin, R.(1996). Methods In Soil Biology. *Springer,* 426p.

Sedia, E.G., & Ehrenfeld, J.G. (2006). Differential effects of lichens and mosses on soil enzyme activity and litter decomposition. *Biology and Fertility of Soils, 43,* 177-189.

Sheklabadi, M., Khademi, H., Karimian Iqbal, M., & Nourbakhsh, F. (2007). The effect of climate and long-term exclosure on some biological indicators of soil quality in some parts of the Central Zagros. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *11,* 103-115.

Soheili, F., Panahi, P., Hatamnia, A., Woodward, S., Abdul-Hamid, H., & Naji, H. (2023). Leaf Microstructure and Adaptation Relationships in Ten Woody Species from the Semi-Arid Forests. *Iranian Journal of Forest*. *15(1),* 53-72. https://doi.org/10.22034/ijf.2022.330879.1853

Teimouri, M., Khoshnevis, M., Matinizadeh, M., & Rahmani, A. (2015). Investigation and comparison of bacterial population involved in damaged and undamaged areas of beech forest. *Plant Research Journal (Iranian Biology Journal), 28*(3), 499-509.

Visser, S., & Parkinson, D. (1992). Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. *American Journal of Alternative Agriculture, 7,* 33-37.

Vitousek, M., & Philip Robertson, G. (1979). Nitrification potentials in primary and secondary succession. Department of Biology, Indiana University, Bloomington, Indiana 47405 USA.

Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science, 37(1*), 29-38. http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Wani, F.S., Akhter, F., Mir, S., Baba, Z.A., Maqbool, S., Zargar, M.Y., & Nabi, S.U. (2018). Assessment of soil microbial status under different land use systems in North Western Zone of Kashmir. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7,* 266-279. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.032.

Yi, Z., Fu, S., Yi, W., Zhou, G., Mo, J., Zhang, D., & Zhou, L. (2007). Partitioning soil respiration of subtropical forests with different successional stages in south China. *Forest Ecology and Management, 243*(2-3), 178-186. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.02.022

Zahedi Amiri., Gh., & Zargham, N. (2015). Carbon Sequestration In Terrestrial Ecosystems. University of Tehran Press.

Zandi, L., Jafarian, Z., Kavian, A., & Kooch, Y. (2021). Investigation of changes in soil microbial characteristics due to changes in type and land use age (Case study: Kiasar Mazandaran rangelands*). Journal of Water and Soil Conservation, 28*(2), 103-121. https://doi.org/10.22069/jwsc.2021.18970.3444.

Zhou, L., Sun, Y., Saeed, S., Zhang, B., & Luo, M. (2020). The difference of soil properties between pure and mixed Chinese fir (Cunninghamia lanceolata) plantations depends on tree species. *Global Ecology and Conservation. 22,* e01009. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01009

Iranian Journal of Forest
Vol. 16, No. 4, Winter 2025
pp. 569-585
Research Article

DOI: 10.22034/ijf.2024.424128.1953
CC BY 4.0

Investigation of the impact of canopy cover and sampling season on soil biological characteristics in *Haloxylon ammodendron* (C.A.Mey.) Bunge ex Fenzl and *Tamarix hispida* Willd. habitats in Qom province

M. Ordibehesht[1], M. Matinizadeh[2*], A. Shirvany[3], H. Ravanbakhsh[4], and H.Tavakoli Neko[5]

[1]Ph.D. Student of Biology Forest Sciences, Dept. of Forestry and Forest Economics Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
[2]Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
[3]Associate Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
[4]Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
[5]Assistant Prof,, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qom, Iran.

(Received: 22 November 2023; Accepted: 13 January 2024)

Abstract

Introduction: The valuable Iran-Turanian habitats are considered as an important and extensive part of the habitats of the country. Despite extensive research on the temporal patterns of carbon dioxide emitted from forest soils worldwide, there has been no scientific report in this field about the soil of Iran-Turanian habitats in Iran. The shrubs of *Haloxylon ammodendron* (C.A.Mey.) Bunge and *Tamarix hispida* Willd. are among the native species that significantly affect the physical, chemical and biological characteristics of the soil in the Iran-Turanian vegetation region. This research is the first to investigates the seasonal changes in soil respiration in one of the important habitats of this part of Iran (pure *Haloxylon* and *Tamarix* habitats, located in Qom province), comparing the biological characteristics and their potential changes under and outside the canopy coverduring the autumn and spring seasons.

Material and Methods: In spring and autumn, soil samples were taken from under the canopy shade (treatment) and outside the canopy cover (control) of 30 *Haloxylon ammodendron* and 30 *Tamarix hispida* plants on the east direction of the trees and at a depth of 0-15 cm. Each set of three soil samples from the treatment and control areas were randomly combined, resulting in 20 composite samples. The samples were analyzed for pH, soil carbon sequestration, and biological factors such as basal and induced respiration, microbial biomass carbon, and nitrification potential. Data analysis was performed using three-way ANOVA.

Results: The biological factor of induced respiration showed a significant difference at the 95% confidence level ($P<0.05$) across both species and time. The average amount of CO2 per gram of dry soil per day in spring was measured at 20.97 mg in *Tamarix* soil and 7.96 mg in *Haloxylon* soil. In autumn, these values were 2.95 and 2.025 mg CO2 per gram of dry soil per day, respectively. The microbial carbon concentration factor also showed a significant difference over time, with the highest value in autumn. The average amount of biomass carbon in *Tamarix* soil was 4.08 in autumn and 2.03 mg in spring, while in *Haloxylon* soil, it was 4.02 mg in autumn and 3.03 mg in spring per $100g^{-1}$ dm. The amount of other chemical factors and soil carbon accumulation was significantly higher in *Tamarix* soil. The sampling position (under and outside the canopy) did not make a significant difference in any of the biological factors.

Conclusion: The findings show that soil micro-organisms are more active in spring compared to autumn. Their activity decreases due to dry period and summer heat, and as the growing season ends, the activity of the microorganisms has decreased. Given the significant positive impact of *Tamarix* shrubs on increasing induced respiration, organic matter and carbon storage, the preservation and restoration of this valuable native species should be prioritized.

Keywords: Carbon sequestration, dry ecosystem, microbial respiration, season, soil biology.

* Corresponding author Tel: +98 9124072530 Email: mohamadmatinizadeh@yahoo.com