

Research Article

Monitoring and correlations soil parameter dynamics in Boyer-Ahmad forests

Yousef Askari^{1*}, Yaghoub Iranmanesh² and Mehdi Pourhashemi³

Extended Abstract

Background and Objectives: Long-term monitoring of forest soil variables is essential for assessing ecosystem dynamics and the impacts of environmental and anthropogenic factors on soil. Key soil parameters, including microbial respiration, soil moisture, organic carbon stocks, available phosphorus, and nitrogen, are critical in forest ecosystems, especially under current climate change and global warming conditions. This study aims to measure the physical and chemical properties of the soil in selected fixed and permanent sample plots within the studied forest stands, facilitating long-term monitoring of soil changes at these sites.

Materials and Methods: This study focused on monitoring soil changes and analyzing correlations between soil factors in two sample plots (Parikdan: south slope and Sarabtaveh: north slope) in Boyer-Ahmad County, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. Two randomly selected one-hectare plots (100 × 100 m) were inventoried, with five systematic soil samples collected from a depth of 0–30 cm in each plot to measure carbon, nitrogen, phosphorus, moisture, microbial respiration, bulk density, and gravel percentage. Soil data collection was repeated annually over the three-year project period (2018–2020).

Results: The three-year monitoring project found that the Parikdan plot had significantly higher soil moisture, microbial respiration, and available phosphorus compared to the Sarabtaveh plot. While only microbial respiration showed significant variation across the years, soil nitrogen levels were notably higher in Sarabtaveh during the first two years. The analysis revealed key positive correlations: between soil organic carbon and total nitrogen, between moisture and microbial respiration, and most importantly, that soil organic carbon was the strongest indicator of carbon stock in both locations.

Conclusion: Monitoring the dynamics of soil parameters and their interrelationships in forest ecosystems is critically important, as soil serves as the fundamental substrate for nutrient cycling, carbon sequestration, and biodiversity maintenance. The physicochemical and biological properties of soil—including organic carbon, moisture, nitrogen, phosphorus, and microbial activity—exist within a complex network of interrelationships strongly influenced by environmental and management factors. When soil organic matter (organic carbon) content is high, more substrates become available for soil microbial respiration. Additionally, higher soil moisture makes these substrates more readily accessible to microbial populations, resulting in an increased respiration rate.

Keywords: Ecosystem, Measurement, Microbial respiration, Organic carbon, Parikadan, Sarabtaveh.

¹Assistant professor, Research Division of Forest, rangeland and watershed, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yasouj, Iran.

²Associate Professor, Research Division of Natural Resources, Esfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Esfahan, Iran.

³Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

*Corresponding author, E-mail: yousef.askari@gmail.com

DOI: [10.21859/jfer.5.1.1](https://doi.org/10.21859/jfer.5.1.1)

ISSN: 2423-4427 (Online); 2423-4095 (Print)

Received: 03.05.2025, Accepted: 23.09.2025,
Online Published: 17.11.2025

مقاله پژوهشی

پایش تغییرات و همبستگی متغیرهای خاک در جنگل‌های بويراحمد

یوسف عسکری^{۱*}، یعقوب ایران منش^۲، مهدی پورهاشمی^۳

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: پایش متغیرهای خاک جنگل در سال‌های مختلف یک فرآیند مهم برای درک تغییرات اکوسیستمی، سلامت جنگل و تأثیرات عوامل محیطی و انسانی بر خاک است. بررسی پارامترهای کلیدی خاک از جمله تنفس میکروبی، رطوبت خاک، اندوخته کربن آلی، فسفر قابل جذب و نیتروژن در اکوسیستم‌های جنگلی، به‌ویژه در شرایط تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی کنونی، از اهمیت راهبردی برخوردار است. این پژوهش سعی دارد تا در توده‌های جنگلی مورد مطالعه (در قطعات نمونه ثابت و دائم مورد نظر)، به سنجش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، همبستگی بین این عوامل و همچنین پایش درازمدت روند تغییرات در خاک این توده‌های جنگلی بپردازد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش برای پایش تغییرات خاک و همبستگی بین این عوامل در دو رویشگاه سرآبناوه و پریکدان واقع در شهرستان بويراحمد از استان کهگیلویه و بویراحمد انجام شد. دو قطعه نمونه یک هکتاری (ابعاد ۱۰۰ × ۱۰۰ متر) (پریکدان، دامنه جنوبی و سرآبناوه، دامنه شمالی) و در مجموع به مساحت دو هکتار به صورت تصادفی انتخاب و نمونه برداری گردید. در هر رویشگاه، پنج نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی متری برداشت و عناصر کربن، نیتروژن، فسفر، و ویژگی‌های رطوبت، تنفس میکروبی، وزن مخصوص ظاهری و درصد سنگ ریزه خاک اندازه‌گیری گردید. برداشت داده‌های خاک طی ۳ سال (۱۳۹۸-۱۴۰۰) اجرای پروژه ملی پایش کربن جنگل تکرار شد.

یافته‌ها: نتایج پایش تغییرات اندوخته کربن خاک طی سه سال متوالی اجرای پروژه، برای برخی از خصوصیات خاک دارای اختلاف معنی‌داری بوده است. مقدار رطوبت، تنفس میکروبی و فسفر قابل جذب در خاک قطعه نمونه پریکدان بیشتر از قطعه نمونه سرآبناوه بود. در بین پارامترهای اندازه‌گیری شده تنها میزان تنفس میکروبی در طی سال‌های مختلف تفاوت معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل بین سال و قطعه نمونه در دو منطقه، حاکی از اختلاف آماری معنی‌دار برای نیتروژن خاک بود به نحوی که قطعه نمونه سرآبناوه در سال‌های اول و دوم از میانگین بالاتری نسبت به قطعه نمونه پریکدان برخوردار بود. نتایج همبستگی متغیرهای اندازه‌گیری شده نیز نشان داد که بین مقدار کربن آلی خاک و نیتروژن کل رابطه مثبت معنی‌داری و نیز بین میزان رطوبت خاک با تنفس میکروبی رابطه مستقیم وجود دارد. همچنین در هر دو رویشگاه، کربن آلی خاک بیشترین همبستگی را با اندوخته کربن داشته است.

نتیجه‌گیری: پایش تغییرات و همبستگی متغیرهای خاک در اکوسیستم‌های جنگلی از اهمیت حیاتی برخوردار است، چرا که خاک به عنوان بستر اصلی حیات جنگل، نقش تعیین‌کننده‌ای در چرخه مواد مغذی، ذخیره کربن و حفظ تنوع زیستی ایفا می‌کند. به نظر می‌رسد ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک، از جمله کربن آلی، رطوبت، نیتروژن، فسفر و فعالیت میکروبی، در یک شبکه پیچیده از روابط متقابل قرار دارند که به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی قرار می‌گیرد. بالا بودن مقدار ماده آلی خاک (کربن آلی)، مواد اولیه مورد نیاز جهت تنفس میکروبی خاک را فراهم‌تر می‌نماید و به دلیل رطوبت بیشتر خاک، مواد اولیه به راحتی در اختیار جمعیت میکروبی قرار گرفته و نرخ تنفس افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: اکوسیستم، پریکدان، تنفس میکروبی، سرآبناوه، کربن آلی.

DOI: 10.21859/jfer.5.1.1

شاپا: ۲۴۲۷-۴۴۲۷ (برخط); ۲۴۲۳-۴۰۹۵ (چاپی)

^۱ استادیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران.

^۲ دانشیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

^۳ استاد، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: yousef.askari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

مقدمه

خاک به عنوان مهمترین مخزن ذخیره کربن در اکوسیستم‌های طبیعی شناخته می‌شود که حدود ۷۵ درصد از کل ذخایر کربن خشکی‌ها را در خود جای داده است. این مقدار تقریباً سه برابر بیشتر از کربن ذخیره شده در کل زی‌توده گیاهی و جانوری کره زمین است، بنابراین خاک‌ها بدون شک بزرگترین مخزن چرخه کربن در محیط‌های خشکی محسوب می‌شوند (Ruijun, ۲۰۱۰). بر اساس مطالعات صورت گرفته، خاک‌های جهان پس از اقیانوس‌ها و ذخایر فسیلی، سومین مخزن عمده کربن (شامل هر دو فرم آلی و معدنی) به‌شمار می‌آیند که حجم کل کربن ذخیره‌شده در آنها حدود چهار برابر کل کربن موجود در زی‌توده زنده و $\frac{3}{3}$ برابر میزان کربن موجود در اتمسفر است (Lal, 2003). تنفس خاک، به عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی سلامت اکوسیستم‌های خاکی، نقش تعیین‌کننده‌ای در بازتاب فعالیت‌های زیستی و بیوشیمیایی خاک ایفا می‌کند. این فرآیند پیچیده که عمدتاً ناشی از متابولیسم میکروارگانیسم‌های خاک و ریشه گیاهان است، نه تنها نشان‌دهنده سطح فعالیت بیولوژیک خاک محسوب می‌شود، بلکه به عنوان حلقه اتصال مهمی در چرخه جهانی کربن عمل می‌نماید. با توجه به تأثیرات گسترده تغییرات اقلیمی بر سیستم‌های زمینی، مطالعه و برآورد دقیق میزان انتشار دی‌اکسید کربن از خاک جنگل‌ها می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره مکانیسم‌های بازخورد بین تحولات آب‌وهوایی و پویایی اکوسیستم‌های جنگلی در اختیار پژوهشگران قرار دهد (Tafazoli et al., 2021). در زمینه مطالعات تنفس میکروبی خاک، بیشتر تحقیقات موجود به بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و عوامل محیطی کلان محدود شده‌اند. این در حالی است که مطالعه تطبیقی تنفس میکروبی در زیر تاج‌پوشش گونه‌های مختلف جنگلی که از نظر نوع و کیفیت هوموس، تراکم ریشه و الگوی ریزش لاشبرگ با یکدیگر تفاوت دارند، می‌تواند گامی مهم در جهت درک بهتر نقش اکولوژیک هر یک از این گونه‌ها در ذخیره و آزادسازی کربن باشد. چنین مطالعاتی به‌ویژه در جنگل‌های مختلط که از تنوع گونه‌ای بالایی برخوردارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است

(Maleki, 2023). عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کربن آلی جز عناصر پرمصرف و ضروری می‌باشند. ریزش برگ‌ها، شاخه‌ها و دیگر قسمت‌های درخت مسیر اصلی انتقال عناصر غذایی و مواد آلی به خاک است (Hashemi et al., ۲۰۱۲). در میان عوامل متعدد تأثیرگذار بر تنفس خاک، دو پارامتر رطوبت (Yao et al., 2022) و دمای خاک (Ji et al., 2022) از جایگاه ویژه‌ای در مطالعات خاک‌شناسی برخوردارند. این دو عامل از طریق مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم، فعالیت جامعه میکروبی و عملکرد آنزیم‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به عنوان مثال، افزایش تدریجی رطوبت خاک تا رسیدن به نقطه اشباع، با کاهش نفوذپذیری هوا و محدود کردن دسترسی به اکسیژن مولکولی، می‌تواند موجب تغییر در الگوی تنفس میکروارگانیسم‌های هوازی شود. از طرف دیگر، نوسانات محیطی می‌تواند منجر به تغییرات ساختاری در ترکیب جامعه میکروبی و نسبت جمعیت‌های مختلف میکروارگانیسم‌ها گردد (Zhang et al., 2022). تأثیر دما بر فرآیندهای خاک پیچیده و چندبعدی است. افزایش متوسط دمای خاک می‌تواند از یک سو با تسریع نرخ تجزیه هوموس و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده، تنفس اتوتروفیک را تشدید نماید و از سوی دیگر با تأثیر بر نرخ رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها، الگوی کلی تنفس خاک را دگرگون سازد (Dong et al., 2020). در مورد رطوبت نیز باید اشاره کرد که این پارامتر از طریق تأثیر بر فرآیندهای تجزیه پسماندهای آلی و نرخ معدنی‌شدن مواد آلی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تنظیم تنفس هتروتروفیک و میزان خروج کربن از سیستم خاک ایفا می‌نماید. علاوه بر این دو عامل اصلی، تنفس خاک در اکوسیستم‌های جنگلی تحت تأثیر مجموعه‌ای از متغیرهای خاک‌شناسی از جمله اسیدیته خاک (pH)، محتوای نیتروژن کل، غلظت فسفر قابل جذب، کیفیت و کمیت لاشبرگ، و ویژگی‌های فیزیکی مانند بافت و ساختار خاک قرار دارد. هر یک از این عوامل می‌توانند به‌صورت مستقل یا از طریق برهم‌کنش با یکدیگر، الگوهای تنفس خاک را در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف تحت تأثیر قرار دهند (Li et al., 2022). در تحقیقی سهم اندوخته کربن در خاک و لاشریزه در دو توده قرق ۵۰ ساله (کمتر دخالت‌شده) و غیرقرق (دخالت‌شده)

پیش‌بینی تغییرات آبی و مدیریت بهینه جنگل‌ها را فراهم می‌سازد (Askari et al., 2024). بررسی پایش پارامترهای کلیدی خاک از جمله تنفس میکروبی، رطوبت خاک، اندوخته کربن آلی، فسفر قابل جذب و نیتروژن در اکوسیستم‌های جنگلی، به‌ویژه در شرایط تغییرات اقلیمی و گرمایش پیش‌رو یکی از زیر پروژه‌های استانی طرح جامع "سنجش و پایش اندوخته کربن جنگل‌های زاگرس" است که در جنگل‌های زاگرسی استان کهگیلویه و بویراحمد در یک بازه زمانی ۳ ساله پیاپی (۱۴۰۰-۱۳۹۸) اجرا شد.

مواد و روش‌ها

روش اجرایی طرح جامع سنجش و پایش جنگل‌های زاگرس، پایش مکان‌محور^۱ است، ابتدا در سطح جنگل‌های استان، پس از جنگل‌پیمایی‌های اولیه و استفاده از تجارب کارشناسان استانی، پلات‌های دائمی یک هکتاری انتخاب شدند. در ادامه، دو رویشگاه با ترکیب و فرم رویشی متفاوت شامل رویشگاه سرآبتاوه با تیپ غالب بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) و رویشگاه پریکدان با تیپ غالب بلوط ایرانی-بادام (*Quercus brantii*-*Amygdalus scoparia*) که بیانگر اعمال شرایط مختلف حاکم بر رویشگاه‌های استان هستند، انتخاب شدند (جدول ۱).

گل‌ابی وحشی (*Pyrus syriaca*; *P. glabra*) در ذخیره‌گاه گل‌ابی وحشی شهرستان سپیدان استان فارس مقایسه شده است. همچنین، ویژگی‌های خاک شامل درصد رطوبت، چگالی ظاهری، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و در نهایت تنفس میکروبی خاک بررسی شد. نتایج به‌طور واضح نشان داد که ذخیره کربن خاک و کربن آلی لاشریزه چوبی در توده کمتر دخالت‌شده به‌دلیل تراکم بیشتر پوشش درختی بیش از دو برابر توده دخالت‌شده بود. با این وجود، کربن آلی لاشریزه بین دو توده یکسان بود. مقدار فسفر و نیتروژن خاک در توده کمتر دخالت‌شده به‌ترتیب ۶ و ۲ برابر بیشتر از توده دخالت‌شده بود. نه تنها درصد رطوبت خاک در توده کمتر دخالت‌شده (۳۶ درصد) بیشتر از توده دخالت‌شده (۲۱ درصد) بود، بلکه مقدار تنفس میکروبی خاک در توده کمتر دخالت‌شده حدود ۳۱ درصد بیشتر از توده دخالت‌شده بود (Zarafshar et al., 2021). پایش تغییرات پارامترهای خاک و تحلیل روابط بین آنها در اکوسیستم‌های جنگلی یکی از ارکان اساسی تحقیقات بوم‌شناختی به‌شمار می‌آید. خاک جنگل به عنوان سیستمی زنده و پویا، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد کلی اکوسیستم، چرخه مواد مغذی و ذخیره کربن ایفا می‌کند. این پایش سیستماتیک نه تنها سلامت اکوسیستم را نشان می‌دهد، بلکه با آشکارسازی ارتباطات پیچیده بین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، امکان

جدول ۱- مشخصات دو رویشگاه در منطقه مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of two sites in the study area

شرایط رویشگاهی (Site condition)			تیپ گیاهی Vegetative type	موقعیت جغرافیایی مرکز قطعه نمونه (UTM)		نام رویشگاه (Site name)
متوسط ارتفاع از سطح دریا (Altitude)	جهت جغرافیایی غالب (Aspect)	متوسط شیب (Slope/%)		Y	X	
2045	جنوبی South	38	بلوط ایرانی-بادام <i>Quercus brantii</i> - <i>Amygdalus scoparia</i>	3377953	558917	پریکدان Parikadan
1890	شمالی North	23	بلوط ایرانی <i>Quercus brantii</i>	3382030	555618	سرآبتاوه Sarabtaveh

^۱Permanent places

^۲Place-based monitoring

گوشه و به فاصله ۱۰ متر از محل تلاقی اضلاع مربعی شکل تعبیه گردید.

برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک، در هر قطعه نمونه دائمی، پنج نمونه خاک در هر سال از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد (MacDicken, 1997) (شکل ۱). یکی از نمونه‌ها در مرکز پلات و سایر نمونه‌ها در چهار



شکل ۱- محل‌های نمونه‌برداری خاک در قطعه نمونه (راست) و برداشت نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری (چپ)

Figure 1- Soil sampling locations in the sample plot (right) and soil sample collection from the 0-30cm depth left

نیتروژن کل به روش کج‌دال و با استفاده از دستگاه اتوکج‌دال و فسفر قابل جذب به روش اولسن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Anderson, ۲۰۰۳). برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی و رطوبت خاک، نمونه‌های برداشت‌شده در یخ‌دان قرار داده شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. تنفس میکروبی خاک (پایه) پس از یک روز با تیتراسیون توسط سود نیم‌مولار تعیین شد (Anderson, 2003). پس از پایان گرم‌خانه‌گذاری (انکوباتور)، تیتراژ شدن نمونه‌ها، مقدار تنفس میکروبی خاک بر مبنای میلی گرم بر کیلوگرم محاسبه شد (Das et al., ۲۰۲۲). برای اندازه‌گیری رطوبت خاک، نمونه خاک پیش و پس از قرار گرفتن در دستگاه آون با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۴ ساعت با ترازویی به دقت صدم گرم وزن شد (Neave et al., 2022).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel انجام شد. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-سمیرنوف، تجزیه واریانس انجام و در نهایت برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون آماری دانکن و برای مقایسه متغیرهای مشابه بین دو منطقه از

وزن مخصوص ظاهری خاک که وزن ذرات خاک در واحد حجم آن و واحد آن گرم بر سانتی‌متر مکعب است که بر اساس روش کلوخه در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و درصد قطعات بزرگ (مانند سنگ‌ریزه) اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه ۱ مقدار کل کربن آلی خاک در منطقه مورد بررسی محاسبه شد (IPCC, 2003).

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{SOC} = [\text{SOC}] * \text{Bulk Density} * \text{Depth} * \text{Coarse Fragments} * 10$$

که در آن: SOC ذخیره کربن آلی خاک (t/ha)
[SOC] غلظت کربن آلی خاک در حجم خاک برداشت‌شده (g C (kg soil)⁻¹) با استفاده از روش والکلی-بلاک (Walkly-Black, 1934)

Bulk Density جرم خاک بر حجم نمونه یا وزن مخصوص ظاهری خاک (Mg/m³)
Depth عمق نمونه‌برداری (متر)
Coarse Fragments قطعات بزرگ ((۱۰۰/درصد حجم قطعات بزرگ)-(۱)

۱۰: ضریب تبدیل واحد به t/ha کربن آلی خاک می‌باشد.

آزمون تی استفاده گردید. اثر سال و اثرات متقابل سایت (رویشگاه) و سال نیز بر روی عناصر مختلف خاک مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی ارتباط بین متغیرهای خاک در قطعات نمونه، بعد از بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج

تیپ اصلی جنگلی قطعه‌نمونه یک‌هکتاری سرآبتاوه، برودار است. تعداد ۱۰۳ اصله درخت (شامل دو گونه درختی و یک درختچه‌ای) در این قطعه یک هکتاری شمارش شد که شامل درختان تک‌پایه (۱۹/۵ درصد) و شاخه‌زاد (۸۰/۵ درصد) می‌باشند. در قطعه‌نمونه پریکدان تیپ اصلی جنگلی، برودار-ارژن است و تعداد ۱۶۳ اصله

درخت و درختچه در این قطعه شمارش شد که شامل درختان تک پایه و شاخه‌زاد بودند. درختان بلوط شاخه‌زاد با ۵۸ درصد بیشترین فراوانی را داشتند (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس متغیرهای مختلف خاک در دو قطعه‌نمونه نیز نشان داد که فقط نیتروژن کل و تنفس میکروبی در دو رویشگاه معنی‌دار است. اثر سال و اثرات متقابل سایت و سال نیز بر روی اندوخته کربن، فسفر قابل جذب و رطوبت خاک از نظر آماری در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار نشدند (جدول ۳).

مقایسه اندوخته کربن خاک بین قطعات نمونه پریکدان و سرآبتاوه نشان داد که میانگین اندوخته کربن آلی خاک در قطعه‌نمونه سرآبتاوه ۸۱/۹۱ و در قطعه‌نمونه پریکدان ۸۶/۳۸ تن در هکتار است (جدول ۴).

جدول ۲- مشخصات جنگل‌شناسی و پارامترهای کمی درختان موجود در دو قطعه‌نمونه

Table 2- Silvicultural characteristics and quantitative parameters of trees in the two sample plots

متغیر Variable	درختان شاخه‌زاد در قطعه‌نمونه سرآبتاوه Coppice trees in Sarabtaveh	درختان شاخه‌زاد در قطعه‌نمونه پریکدان Coppice trees in Parikadan
تعداد جست Number of sprout	۵,۰۴ (±۲,۷۶)	۵,۱۴ (±۳,۲۵)
قطر جست Diameter sprout (cm)	۱۰,۱۱ (±۳,۱)	۹,۹۶ (±۳,۰۱)
قطر جست‌گروه Diameter sprout group (cm)	۱۴,۴۴ (±۷,۰۲)	۱۵,۳۳ (±۴,۴)
رویه زمینی Basal area (m ²)	۸۴,۹۱ (±۴۴,۵)	۸۴,۳۵ (±۴۲,۸)
قطر متوسط تاج Mean crown diameter (m)	۶,۲۳ (±۲,۲)	۷,۰۵ (±۲,۳۲)
سطح تاج Crown area (m ²)	۳۳,۳۰ (±۲۶,۳)	۴۲,۱ (±۲۵,۹)
ارتفاع درخت Tree height (m)	۶,۸۲ (±۱,۸)	۷,۱۱ (±۲,۰)
متغیر Variable	درختان تک‌پایه در قطعه‌نمونه سرآبتاوه Highforest trees in Sarabtaveh	درختان تک‌پایه در قطعه‌نمونه پریکدان Highforest trees in Parikadan
قطر درخت Tree diameter (cm)	۱۹,۵۴ (±۱۵,۷)	۱۷,۴۴ (±۱۲,۳)
رویه زمینی Basal area (m ²)	۴۹۱,۲۱ (±۲۵۰,۱)	۳۵۶,۲ (±۳۱۲,۵)
قطر متوسط تاج Mean crown diameter (m)	۳,۹۷ (±۲,۴)	۴,۹۷ (±۲,۹۷)
سطح تاج درخت Crown area (m ²)	۲۴,۴۰ (±۱۶,۹)	۲۷,۵۲ (±۲۲,۸)
ارتفاع درخت Tree height (m)	۵,۸۶ (±۲,۲)	۶,۷۴ (±۳,۰)

جدول ۳- آنالیز واریانس متغیرهای خاک بین دوقطعه‌نمونه سرآبتاوه و پریکدان در سال‌های مختلف

Table 3- Analysis of variance (ANOVA) of soil variables between Sarabtaveh and Parikadon sample plots across different years

منبع تغییرات (Source of variation)	درجه آزادی F	کربن آلی خاک OC%	اندوخته کربن Carbon Storage	فسفر قابل جذب Available P	نیتروژن کل Total N	رطوبت Moisture	تنفس میکروبی Microbial resp.
سال Year	2	0.934 ^{ns}	۶۱۱,۱۴ ^{ns}	۰,۸۹۴ ^{ns}	۰,۰۳۴ ^{**}	۶۱۱,۱۴ ^{ns}	214231.05 ^{**}
خطای سال Year error	1	0.424	299.33	22.76	1.771	299.33	6934.11
قطعه نمونه Sample plot	1	۰,۰۵۶ ^{ns}	۱۴۹,۷۷ ^{ns}	۱۳,۸۷ ^{ns}	۰,۰۱۲ [*]	۱۴۹,۷۷ ^{ns}	218065.44 ^{**}
سال*قطعه‌نمونه Year*Site	2	۰,۰۹۷ ^{ns}	۶۲,۳۲ ^{ns}	۴۹,۰۷ ^{ns}	۰,۰۰۴ ^{**}	۶۲,۳۲ ^{ns}	۴۲۰,۱۵۴ ^{ns}
خطا Error	24	0.390	420.30	64.14	0.003	420.30	6835.024
کل Total	30						

جدول ۴- مقایسه متغیرهای خاک در قطعات نمونه سرآبتاوه و پریکدان

Table 4- Comparison of soil variables in the Sarabtaveh and Perikdan sample plots

میانگین (Mean)		
پریکدان (Parikadan)	سرآبتاوه (Sarabtaveh)	
۸۶,۴ (±۵,۳۹) ^a	۸۱,۹ (±۴,۶۷) ^a	اندوخته کربن آلی خاک Carbon Storage (ton/ha)
۲,۸۵ (±۰,۱۶) ^a	۲,۹۴ (±۰,۱۶) ^a	درصد کربن آلی خاک Organic Carbon (%)
۱۷,۶ (±۱,۹۶) ^a	۱۶,۲ (±۱,۸۶) ^a	فسفر قابل جذب Available P (mg/kg)
۰,۲۲ (±۰,۰۲) ^b	۰,۲۶ (±۰,۰۱) ^a	نیتروژن کل Total N
۱۵,۴۴ (±۰,۷۵) ^a	۱۵,۲۵ (±۰,۷۱) ^a	رطوبت % Moisture (%)
۷۰۷,۷ (±۵۳,۹۹) ^a	۶۴۰,۹ (±۴۷,۰۸) ^b	تنفس میکروبی Microbial respiration (mg/kg)

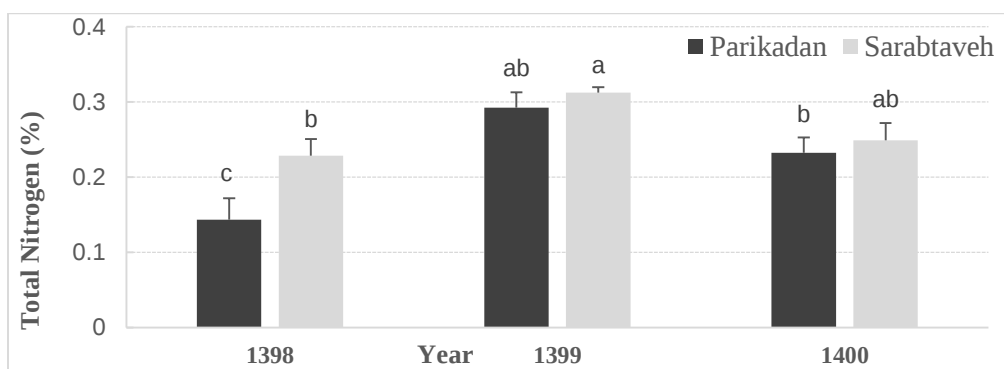
اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده اشتباه معیار (standard error) است.

بین کربن آلی خاک و نیتروژن کل، رطوبت و نسبت کربن به نیتروژن وجود دارد. ضریب همبستگی بین کربن آلی خاک با رطوبت در حدود ۵۰ درصد و با تنفس میکروبی ۲۵ درصد به دست آمد. ارتباط خاصی بین کربن آلی خاک و فسفر قابل جذب مشاهده نشد و کربن آلی با میزان وزن مخصوص ظاهری و درصد سنگریزه رابطه معکوسی را نشان داد. در قطعه نمونه پریکدان نیز کربن آلی خاک بیشترین همبستگی را با اندوخته کربن و نیتروژن کل نشان داد که از نظر آماری این همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی دار است. ارتباط بین کربن آلی خاک با نیتروژن و اندوخته کربن خاک کمتر از قطعه نمونه سرآبتاوه است. در این قطعه نمونه نیز برخلاف قطعه نمونه سرآبتاوه ضریب همبستگی بین کربن آلی خاک با رطوبت کمتر از ۵۰ درصد بوده و ارتباط خاصی بین کربن آلی خاک و مقدار رطوبت مشاهده نشد. همچنین کربن آلی با میزان کربن به نیتروژن رابطه عکس (بدون معنی داری) را نشان داد (جدول ۶).

میانگین درصد کربن آلی خاک در قطعه نمونه سرآبتاوه ۲/۹۴ و در قطعه نمونه پریکدان ۲/۸۵ به دست آمد (جدول ۴). این اختلاف از نظر آماری در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار نشد. اثر سال مورد بررسی، تأثیر معنی داری (احتمال ۹۹ درصد) را بر مقدار کربن آلی خاک نشان نمی دهد. از نظر مقدار نیتروژن کل خاک اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۹۹ درصد بین قطعات نمونه سرآبتاوه و پریکدان در طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ مشاهده شد، به طوری که کمترین میزان آن در سال ۱۳۹۸ در رویشگاه پریکدان و بیشترین مقدار در سال ۱۳۹۹ در رویشگاه سرآبتاوه مشاهده گردید (شکل ۲). همچنین اختلاف معنی دار بین دو رویشگاه تنها در سال ۱۳۹۸ مشاهده گردید و در سال‌های بعد با هم تفاوت معنی دار نداشتند.

همبستگی بین متغیرهای خاک

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود در قطعه نمونه سرآبتاوه، کربن آلی خاک بیشترین همبستگی را با اندوخته کربن دارد. پس از آن ارتباط معنی دار آماری



شکل ۲- مقایسه مقدار نیتروژن کل در قطعات نمونه سرآبتاوه و پریکدان

Figure2- Comparison of total nitrogen in the Sarabtaveh and Perikadan sample plots

جدول ۵- همبستگی بین ویژگی‌های مختلف خاک در قطعه‌نمونه سرآبتاوه

Table5- Correlation among soil characterizes in Sarabtaveh sample plot

C/N	تنفس میکروبی	رطوبت	فسفر قابل جذب	نیترژن کل	اندوخته کربن	سنگریزه %	وزن مخصوص ظاهری	کربن آلی %	
Microbial resp.	Moisture	Available P	Total N	Carbon storage	Gravel %	Bulk density	OC %		
*	*	*	*	*	*	*	*	۱	کربن آلی % OC %
*	*	*	*	*	*	*	۱	-۰.۰۱۸	وزن مخصوص ظاهری Bulk density
*	*	*	*	*	*	۱	-۰.۲۳۱	-۰.۲۰۵	سنگریزه % Gravel %
*	*	*	*	*	۱	-۰.۳۷۲	۰.۱۴۴	۰.۹۷۶**	اندوخته کربن Carbon storage
*	*	*	*	۱	۰.۹۲۸**	-۰.۱۸۲	-۰.۱۵۳	۰.۹۷۱**	نیترژن کل Total N
*	*	*	۱	-۰.۰۱۳	۰.۰۰۸	-۰.۳۴۷	-۰.۳۴۷	۰.۰۴۷	فسفر قابل جذب Available P
*	*	۱	۰.۶۴۷*	۰.۴۲۷	۰.۵۰۶	-۰.۳۲۷	-۰.۱۹۱	-۰.۵۰۱	رطوبت Moisture
*	۱	۰.۸۸۹**	۰.۶۷۴*	۰.۲۳۹	۰.۲۲۴	-۰.۳۳۰	-۰.۳۳۰	-۰.۲۵۱	تنفس میکروبی Microbial resp.
۱	۰.۱۲۲	۰.۴۱۸	۰.۲۷۶	۰.۰۹۱	۰.۲۱۵	-۰.۱۱۹	۰.۴۶۵	۰.۱۴۴	C/N

جدول ۶- همبستگی بین ویژگی‌های مختلف خاک در قطعه‌نمونه پریکدان

Table6- Correlation among soil characterizes in Parikdan sample plot

C/N	تنفس میکروبی	رطوبت	فسفر قابل جذب	نیترژن کل	اندوخته کربن	سنگریزه %	وزن مخصوص ظاهری	کربن آلی %	
Microbial resp.	Moisture	Available P	Total N	Carbon storage	Gravel %	Bulk density	OC %		
*	*	*	*	*	*	*	*	۱	کربن آلی % OC %
*	*	*	*	*	*	*	۱	۰.۲۰۶	وزن مخصوص ظاهری Bulk density
*	*	*	*	*	*	۱	۰.۵۷۴*	۰.۱۲۵	سنگریزه % Gravel %
*	*	*	*	*	۱	۰.۳۶۱	۰.۳۲۲	۰.۸۳۲**	اندوخته کربن Carbon storage
*	*	*	*	۱	۰.۵۸۸*	-۰.۱۳۳	۰.۱۱۳	۰.۶۱۶**	نیترژن کل Total N
*	*	*	۱	۰.۰۰۴	۰.۲۲۱	۰.۲۹۹	۰.۲۷۵	۰.۱۷۶	فسفر قابل جذب Available P
*	*	۱	۰.۳۷۲	۰.۰۲۱	-۰.۳۴۴	۰.۳۸۲	۰.۴۶۴	۰.۰۱۴	رطوبت Moisture
*	۱	۰.۹۳۶**	۰.۰۹۷	-۰.۰۹۴	-۰.۳۵۳	۰.۴۰۹	-۰.۵۳۰	۰.۱۷۶	تنفس میکروبی Microbial resp.
۱	۰.۰۰۱	-۰.۰۵۷	۰.۲۶۹	-۰.۷۸**	-۰.۱۵۹	۰.۲۸۷	۰.۰۳۶	-۰.۰۸۷	C/N

بحث

گونه‌های سرو نقره‌ای و توت به ترتیب ۱۸/۷۱ و ۲۶/۸۶ تن در هکتار به‌دست آمد. به‌طور کلی گونه‌های پهن برگ کربن بیشتری را نسبت به گونه‌ای سوزنی‌برگ در خاک ترسیب کرده‌اند (Bakhtiarvand Bakhtiari & Sohrabi, 2012). ارزیابی تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی بر ترسیب کربن خاک در منطقه چهارطاق اردل در استان چهارمحال و بختیاری نشان داد که در بین کاربری‌های مختلف اراضی، جنگل قرق با ۴۲ و جنگل تخریب‌شده با ۱۳ تن در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین اندوخته کربن خاک را داشتند (Eskandari Shahraki et al., 2016). تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که مقدار کربن آلی خاک در شرایط پوشش‌های درختی متراکم، بیشتر است که این موضوع نشان دهنده پتانسیل زیاد ذخیره کربن توسط پوشش گیاهی است (Rostami et al., ۲۰۲۰).

کربن آلی خاک نقش چندجانبه و حیاتی در حفظ تعادل اکوسیستم‌ها ایفا می‌کند. علاوه بر تأثیر مستقیم بر تغییرات اقلیمی از طریق تنظیم چرخه کربن جهانی، این ماده ارزشمند عملکردهای اساسی دیگری نیز دارد. کربن آلی با افزایش ظرفیت ذخیره رطوبت خاک (Huntington, 2003)، بهبود نفوذپذیری و ارتقای کیفیت تصفیه طبیعی آب، به عنوان یک اصلاح‌کننده طبیعی خاک عمل می‌کند. ویژگی منحصر به فرد مواد آلی در جذب آب تا شش برابر وزن خود (Olness & Archer, 2005) موجب کاهش چشمگیر رواناب سطحی و خطر سیلاب می‌شود (Kimble et al., ۲۰۰۷). این مکانیسم از طریق کاهش تراکم و فشردگی خاک، آب بیشتری را در اختیار ریشه گیاهان قرار داده و از هدررفت آن جلوگیری می‌کند. چنین عملکردهای یکپارچه‌ای، کربن آلی را به عاملی کلیدی در مدیریت پایدار منابع آب و خاک تبدیل کرده است. مقدار رطوبت، تنفس میکروبی و فاسد قابل جذب در خاک قطعه‌نمونه پریکدان بیشتر از قطعه‌نمونه سرآبتاوه است که علت آن را می‌توان در تنوع گونه‌ای درختی بالاتر، تراکم بالای پوشش گیاهی و سطح تاج بیشتر در قطعه‌نمونه پریکدان دانست. نتایج تحقیق حاضر نشان

نوع جنگل و مدیریت حاکم بر آن بر مقدار زی‌توده و اندوخته کربن توده جنگلی تأثیر دارد و انجام اقدامات حفاظتی موثر و رویکرد مدیریتی صحیح با هدف افزایش تنوع زیستی نقش مهمی در افزایش ترسیب کربن توده جنگلی دارد (Daba et al., 2022). زی‌توده روی‌زمینی به عنوان مهم‌ترین جزء ذخیره‌کننده کربن در اکوسیستم‌های خشکی عمل می‌کند، در حالی که ترسیب کربن خاک نیز سهم حیاتی در تنظیم غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری ایفا می‌نماید. حتی تغییرات جزئی در محتوای کربن خاک ناشی از تغییر کاربری اراضی می‌تواند نوسانات قابل توجهی در غلظت CO2 جو ایجاد کند. از سوی دیگر، کاهش ذخایر کربن آلی خاک پیامدهای اکولوژیک گسترده‌ای به دنبال دارد که از جمله می‌توان به افزایش آسیب‌پذیری خاک در برابر فرسایش، تشدید فشردگی خاک، کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب سطحی اشاره کرد. این تغییرات به نوبه خود موجب تخریب ساختار خاک و کاهش کیفیت فیزیکی آن می‌شود که بازتاب منفی آن در عملکرد کلی اکوسیستم و کاهش حاصلخیزی خاک نمایان می‌گردد (Varamesh et al., 2010). مقدار کربن آلی موجود در خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری در قطعه‌نمونه پریکدان و سرآبتاوه به ترتیب ۸۶/۴ و ۸۱/۹ تن در هکتار به‌دست آمد. در تحقیقی مقدار ترسیب کربن خاک در طرح جنگلداری دلدرد در منطقه گلبند شمال کشور را ۲۸۳ تن در هکتار برآورد کردند. آنها عامل تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها را موجب فعال بودن بوم‌سازگان و در نتیجه ترسیب کربن بیشتر در خاک ذکر کردند (Mahmoudi Taleghani et al., 2000). در پژوهشی دیگر نیز مقدار اندوخته کربن خاک در توده جنگل کاری آقاقیا و کاج تهران را به ترتیب ۷۸/۲ و ۵۷ تن در هکتار گزارش کردند (Varamesh et al., ۲۰۱۰). در بررسی تأثیر ۴ گونه جنگل کاری شده بر کربن خاک در منطقه فولاد مبارکه اصفهان به این نتیجه رسیدند که گونه آقاقیا با ۳۰/۴۸ تن در هکتار کربن آلی بیشترین و گونه کاج با ۱۶/۲۱ تن در هکتار کمترین کربن آلی خاک را دارا هستند. این مقدار برای

داد که بین مقدار کربن آلی خاک و نیتروژن کل رابطه مثبت معنی‌داری وجود دارد. افزایش نیتروژن از طریق تغییر کمیت و کیفیت لاشبرگ و تغییر در جامعه تجزیه‌کننده میکروبی بر کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارد (Lorenz & Lal, 2010). پژوهش‌های بسیاری به این نتیجه دست یافتند که کربن آلی و نیتروژن کل در لایه‌های مختلف خاک ارتباط مستقیمی با یکدیگر دارند و از جمله شاخص‌های کلیدی کیفیت خاک و مقدار حاصل‌خیزی در بوم‌سازگان جنگلی محسوب می‌شوند (Wang et al., 2021) که با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش همخوانی دارد. علاوه بر نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب (NPK) نیز با قابلیت تحرک‌پذیری زیاد در لایه‌های خاک و جذب توسط گیاهان در قالب مهم‌ترین عناصر پرمصرف و ضروری در رژیم غذایی خاک معرفی می‌شود (Taiz & Zeiger, 2013).

زیست‌توده میکروبی خاک به عنوان مخزن حیاتی فسفر در اکوسیستم‌های جنگلی عمل می‌کند، اما برخلاف نیتروژن، چرخه فسفر کمتر به تجزیه مواد آلی وابسته است. این ویژگی باعث می‌شود فسفر آلی خاک در اثر آشفته‌گی‌های مکرر جنگلی به تدریج کاهش یابد. از آنجا که فسفر نقش کلیدی در فرآیند فتوسنتز ایفا می‌کند (به ویژه با تأثیر مستقیم بر غلظت فسفر برگ)، کمبود آن می‌تواند ظرفیت ترسیب کربن درختان را به شدت محدود سازد. این یافته نشان می‌دهد حفظ تعادل فسفر خاک از طریق کاهش مداخلات انسانی و مدیریت هوشمندانه جنگل، برای تداوم عملکرد اکوسیستم و ترسیب کربن ضروری است (Lorenz & Lal, 2010). در تحقیق حاضر نیز میزان همبستگی بین کربن آلی خاک و فسفر در هر دو قطعه‌نمونه مورد مطالعه دارای رابطه مستقیمی بود که البته مقدار کمتری را نسبت به نیتروژن نشان داد. تغییرات روند کربن آلی خاک، نیتروژن و فسفر در طول سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ در هر دو قطعه‌نمونه موید این ارتباط و برهمکنش مواد آلی موجود در خاک است. تنفس گیاه و تنفس میکروبی در طول عمل تجزیه لاشبرگ و ماده آلی خاک جزء فرآیندهایی است که منجر به هدررفت کربن از

اکوسیستم‌های جنگلی می‌شود. Pastore و همکاران (۲۰۱۹) در رابطه با تغییرات و الگوی مکانی مقادیر کربن آلی خاک نشان دادند که تغییرات کربن آلی خاک تحت تأثیر بافت خاک، تراکم ریشه درختان، محتوای مواد آلی خاک، پدیده آبشویی و ماهیت جابه‌جایی کربن بین ترکیبات آلی و معدنی خاک دارد. از طرفی مقادیر انتشار کربن خاک بر حسب شدت فعالیت‌های مربوط به تنفس در لایه‌های مختلف خاک وابستگی زیادی به درجه حرارت و مقدار رطوبت خاک دانست (Pastore et al., 2019). افزایش رطوبت به‌طور معمول شرایط را برای فعالیت‌های میکروبی مهیا می‌کند، به همین دلیل بیشتر بودن مقدار تنفس میکروبی در قطعه‌نمونه پریکدان نسبت به قطعه‌نمونه سرآبتاوه که از میانگین رطوبت بیشتری برخوردار است، قابل توجیه و منطقی است. به عبارت دیگر به دلیل بالا بودن مقدار ماده آلی خاک (کربن آلی) در قطعه‌نمونه پریکدان، مواد اولیه مورد نیاز جهت تنفس میکروبی خاک فراهم‌تر بوده و به دلیل رطوبت بیشتر خاک، مواد اولیه به راحتی در اختیار جمعیت میکروبی قرار گرفته و نرخ تنفس افزایش یافته است. اما موضوعی که در بررسی روند تغییرات و همبستگی بین رطوبت خاک، کربن آلی و تنفس میکروبی در سال‌های مختلف مشاهده شد، رابطه معکوس بین رطوبت خاک با تنفس میکروبی و کربن آلی خاک در هر دو قطعه‌نمونه مورد بررسی است. علت این موضوع را می‌توان به تنش‌های خشکی اتفاق افتاده طی سالیان اخیر نسبت داد. در شرایط تنش‌های رطوبتی معمولاً موجودات زنده واکنش‌های مقاومتی از خود نشان داده و برای انجام فعالیت‌های خود و کمک به زنده‌مانی، عملکرد متابولیکی خود را افزایش می‌دهند.

نتیجه‌گیری کلی

پایش نظام‌مند تغییرات و روابط متقابل بین متغیرهای خاک در اکوسیستم‌های جنگلی، بینش عمیقی از سلامت و پویایی این بوم‌سازگان‌های ارزشمند ارائه می‌دهد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک از جمله

مدیریتی فراهم می‌آورد. این اطلاعات می‌تواند در تدوین راهبردهای حفاظتی، برنامه‌ریزی برای مقابله با تغییرات اقلیمی و مدیریت پایدار منابع جنگلی مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع، نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که حفظ تعادل اکولوژیک در جنگل‌ها مستلزم نگرشی یکپارچه است که در آن پایش مستمر متغیرهای خاک، تحلیل روابط بین آنها و در نظر گرفتن تأثیرات تغییرات محیطی به صورت همزمان مورد توجه قرار گیرد. چنین رویکردی می‌تواند به حفظ کارکردهای حیاتی جنگل‌ها، از جمله ترسیب کربن، حفظ تنوع زیستی و تعدیل تغییرات اقلیمی کمک شایانی نماید.

کربن آلی، رطوبت، نیتروژن، فسفر و فعالیت میکروبی، در یک شبکه پیچیده از روابط متقابل قرار دارند که به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی قرار می‌گیرد. یافته‌های تحقیقات مختلف مؤید این نکته است که تغییرات اقلیمی، به ویژه افزایش دما و تغییرات الگوی بارش‌ها، می‌تواند روابط سنتی بین پارامترهای خاک را دگرگون سازد. به نظر می‌رسد نوع گونه‌های درختی و شیوه‌های مدیریت جنگل تأثیر معناداری بر ذخیره کربن و عملکرد کلی اکوسیستم دارد. پایش بلندمدت این تغییرات نه تنها برای درک بهتر مکانیسم‌های حاکم بر چرخه مواد مغذی ضروری است، بلکه مبنای علمی محکمی برای تصمیم‌گیری‌های

منابع

- Anderson, T.H. 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3): 285-293. [In Persian]
- Askari, Y., Iranmanesh, Y. & Pourhashemi, M. 2024. Monitoring some of soil characteristics in the Vezg and Toutnadeh forest stands in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. *Journal of Forest and Wood Products*, 77(2): 173-185. [In Persian]
- Bakhtiarvand Bakhtiari, S. & Sohrabi, H. 2012. Allometric equations for estimating above and below-ground carbon storage of four broadleaved and coniferous trees. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(3): 481-492. [In Persian]
- Daba, D.E., Dullo, B.W. & Soromessa, T. 2022. Effect of forest management on carbon stock of tropical moist Afromontane Forest. *International Journal of Forestry Research*, 2022(1): 3691638.
- Das, S., Wang, W., Reeves, S., Dalal, R. C., Dang, Y.P., Gonzalez, A. & et al. 2022. Non-target impacts of pesticides on soil N transformations, abundances of nitrifying and denitrifying genes, and nitrous oxide emissions. *Science of The Total Environment*, 844:157043.
- Dong, L., Zeng, W., Wang, A., Tang, J., Yao, X. & Wang, W. 2020. Response of soil respiration and its components to warming and dominant species removal along an elevation gradient in alpine meadow of the Qinghai-Tibetan plateau. *Environmental Science & Technology*, 54: 17. 10472-82.
- Eskandari Shahraki, A., Kiani, B. & Iranmanesh, Y. 2016. Effects of different land use types on soil organic carbon storage. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(3): 379-389. [In Persian]
- Hashemi, S.F, Hojati, S.M, Hosseini-Nasr, S.M. & Jalilvand, H. 2012. Comparison of nutrient elements and elements retranslocation of *Acer velutinum*, *Zelkova carpinifolia* and *Pinus brutia* in Darabkola-Mazandaran. *Iranian Journal of Forest*, 4(5): 175-185. [In Persian]
- Huntington, T.G. 2003. Available Water Capacity and Soil Organic Matter. Pp. 1-5. In: R. Lal (ed.). *Encyclopedia of Soil Science*. New York.

- IPCC. 2003. Good practices guidance for land use, land-use change and forestry. Penman, J. et al. (eds.). IPCC National Greenhouse Gas Inventories Program. IGES, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.
- Ji, X., Liu, M., Yang, J. & F. Feng. 2022. Meta-analysis of the impact of freeze–thaw cycles on soil microbial diversity and C and N dynamics, *Soil Biology and Biochemistry*, 168: 108608.
- Kimble, J.M. Rice, C.W. Reed, D. Mooney, S. Follett, R.F. & Lal, R. 2007. Soil carbon management, economic, environmental and societal benefits. 1th Ed., CRC press. New York, 284p.
- Lal, R. 2003. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect, *Critical Review in Plant Sciences*, 22(2): 151-184.
- Li, Y., Lin, S., Chen, Q., Ma, X., Wang, S. & He, K. 2022. Response of soil respiration to environmental and photosynthetic factors in different subalpine forest-cover types in a loess alpine hilly region. *Journal of Forestry Research*, 33(2): 653-65.
- Lorenz, K., & Lal, R. 2010. Carbon sequestration in forest ecosystem. Heidelberg, Springer Press, 298p.
- Maleki, S. 2023. Changes in Soil Microbial Respiration in Relation to Soil Temperature and Moisture in Different Directions and Distances from the Trunk of Different Oak Species (Case study: Armardeh Forests, Baneh). *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 3(51): 194-211.
- MacDicken, K.G. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, Forest Carbon Monitoring Program, 87p.
- Mahmoudi Taleghani, E., Zahedi Amiri, GH. Adel, E. & Sagheb-Talebi, KH. 2000. Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. *Iranian journal of forest and poplar research*, 15 (3): 241-252. [In Persian]
- Neave, H.W., Schütz, K.E. & Dalley, D.E. 2022. Behavior of dairy cows managed outdoors in winter: Effects of weather and paddock soil conditions, *Journal of Dairy Science*, 105(10): 8298-8315.
- Olness A., & Archer D. 2005. Effect of Organic Carbon on Available Water in Soil. *Soil Science*, 170(2): 90-101.
- Pastore, G., Tobin, B. & Nieuwenhuis, M., 2019. Quantifying carbon and nitrogen losses by respiration and leaching from decomposing woody debris in reforested coniferous stands in Ireland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265: 195–207.
- Rostami, Z., Ghasemi Aghbash, F. & Pazhouhan, I. 2020. Assessment of carbon sequestration rate in biomass and soil of Iranian oak stands under charcoal production (Case study: Bastam area of Al-shater city). *Iranian Journal of Forest*, 12(2): 161-174. [In Persian]
- Ruijun, L., Zhanhuan, S., Xiaogan, L., Ping-an, J., Hong-tao, J. & Squires, V. 2010. Carbon Sequestration and the Implications for Rangeland Management. Towards Sustainable Use of Rangelands in North-West China, Part 3, Pp: 127-145.

- Tafazoli, M., Hojjati, S.M., Jalilvand, H., Lamersdorf, N. & Tafazoli, M. 2021. Effect of nitrogen addition on soil CO₂ efflux and fine root biomass in maple monocultures of the hyrcanian region. *Annals of Forest Science*, 78(2): 1-11.
- Taiz, L. & Zeiger, E., 2013. Plant Physiology. 4th edition, 731p.
- Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N. & Akbarinia, M. 2010. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. *Iranian Journal of Forest*, 2(1): 25-35. [In Persian]
- 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: 29-38.
- Wang, B., Liu, D., Yang, J., Zhu, Z., Darboux, F., Jiao, J. & An, S. 2021. Effects of forest floor characteristics on soil labile carbon as varied by topography and vegetation type in the Chinese loess plateau. *Catena*, 196: 104825.
- Yao, H., Peng, H., Hong, B., Ding, H., Hong, Y., Zhu, Y. & et al. 2022. Seasonal and diurnal variations in ecosystem respiration and environmental controls from an alpine wetland in arid northwest China. *Journal of Plant Ecology*, 15(5): 933-946.
- Zarafshar, M., Iranmanesh, Y., Pourhashemi, M., Bordbar, S.K., Negahdarsaber, M., Rousta, M.J., Enayati, K. & Abbasi, A. 2021. The impact of wild pear (*Pyrus syriaca* and *P. globra*) stand management on carbon storage of soil and litter and some soil characteristics (case study: Dehkohne forest of Sepidan, Fars Province). *Journal of Forest Research and Development*, 7(2): 313-325. [In Persian]
- Zhang, C., Song, C., Wang, D., Qin, W., Zhu, B., Li, F.Y., Wang, Y. & Ma, W. 2022. Precipitation and land use alter soil respiration in an Inner Mongolian grassland. *Plant and Soil*, 491: 1- 14.