Journal of Forest Ecosystems Research, 2025, 4(2): 1-14

Research Article

Monitoring and correlations soil parameter dynamics in Boyer-Ahmad forests

Yousef Askari[1*], Yaghoub Iranmanesh[2] and Mehdi Pourhashemi[3]

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.

[1]Assistant professor, Research Division of Forest, rangeland and watershed, Kohgiluyeh and Boyerahmad Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yasouj, Iran.
[2]Associate Professor, Research Division of Natural Resources, Esfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Esfahan, Iran.
[3]Professor, 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

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

Received: 03.05.2025, Accepted: 01.09.2025, Online Published: 16.09.2025

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

مجله تحقیقات اکوسیستم‌های جنگلی/ دوره چهارم/ شماره دوم/ ۱۴۰۴/ صفحات: ۱۴-۱

مقاله پژوهشی

پایش تغییرات و همبستگی متغیرهای خاک در جنگل‌های بویراحمد

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 سرآبتاوه و پریکدان واقع در شهرستان بویراحمد از استان کهگیلویه و بویراحمد انجام شد. دو قطعه‌نمونه یک هکتاری (ابعاد ۱۰۰ × ۱۰۰ متر) (پریکدان، دامنه جنوبی و سرآبتاوه، دامنه شمالی) و در مجموع به مساحت دو هکتار به‌صورت تصادفی انتخاب و نمونه‌برداری گردید. در هر رویشگاه، پنج نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشت و عناصر کربن، نیتروژن، فسفر، و ویژگی‌های رطوبت، تنفس میکروبی، وزن مخصوص ظاهری و درصد سنگ‌ریزه خاک اندازه‌گیری گردید. برداشت داده‌های خاک طی ۳ سال (۱۴۰۰-۱۳۹۸) 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 درخاک قطعه نمونه پریکدان بیشتر از قطعه‌نمونه سرآبتاوه 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 قطعه‌نمونه سرآبتاوه در سال‌های اول و دوم از میانگین بالاتری نسبت به قطعه‌نمونه پریکدان برخوردار بود. نتایج همبستگی متغیرهای اندازه‌گیری‌شده 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 فیزیکوشیمیایی 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 دراختیار جمعیت میکروبی قرار گرفته و نرخ تنفس افزایش می‌یابد.

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

[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

DOI: 10.21859/jfer.5.1.1

شاپا: ۴۴۲۷-۲۴۲۳ (برخط)؛ ۴۰۹۵-۲۴۲۳ (چاپی)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

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, 2010). 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 ۳/۳ 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، نه‌تنها 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*., 2012). 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 اندوخته‌کربن در خاک و لاشریزه در دو توده قرق ۵۰ ساله (کمتردخالت‌شده) و غیرقرق (دخالت‌شده)

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

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 درنهایت 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 دخالت شده بود. با این وجود، کربن آلی لاشریزه بین دو توده یکسان بود. مقدار فسفر و نیتروژن خاک در توده کمتردخالت‌شده 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 پیش‌بینی تغییرات آتی 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 جهانی کنونی، از اهمیت راهبردی برخوردار است. پژوهش 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[1] است، ابتدا در سطح جنگل‌های استان، پس از جنگل‌پیمایی‌های اولیه و استفاده از تجارب کارشناسان استانی، پلات‌های دائمی[2] 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).

جدول ۱- مشخصات دو رویشگاه در منطقه مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of two sites in the study area

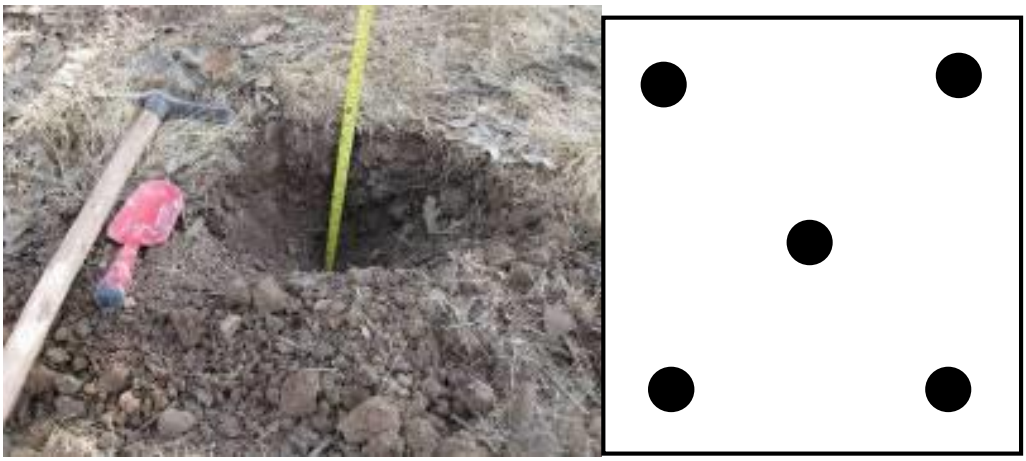
نام رویشگاه (Site name)	موقعیت جغرافیایی مرکز قطعه‌نمونه (UTM)		تیپ گیاهی Vegetative type	شرایط رویشگاهی (Site condition)		
	X	Y		متوسط شیب (Slope٪)	جهت جغرافیایی غالب (Aspect)	متوسط ارتفاع از سطح دریا (Altitude)
پریکدان Parikadan	558917	3377953	بلوط ایرانی-بادام *Quercus brantii-Amygdalus scoparia*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

[1] Place-based monitoring

[2] Permanent places

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک، در هر قطعه‌نمونه دائمی، پنج نمونه خاک در هر سال از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشت شد (MacDicken, 1997) (شکل ۱). یکی از نمونه‌ها در مرکز پلات و سایر نمونه‌ها در چهار گوشه و به فاصله ۱۰ متر از محل تلاقی اضلاع مربعی شکل تعبیه گردید.



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

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

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).

رابطه (۱) SOC = [SOC] * Bulk Density * Depth * 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/m^3)

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.

نیتروژن کل به روش کجلدال و با استفاده از دستگاه اتوکجلدال و فسفر قابل جذب به روش اولسن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Anderson, 2003). 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)، تیتر شدن نمونه‌ها، مقدار تنفس میکروبی خاک بر مبنای میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شد (Das *et al*., 2022). برای اندازه‌گیری رطوبت خاک، نمونه خاک پیش و پس از قرارگرفتن 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

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

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 پریکدون 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

درختان شاخه‌زاد در قطعه‌نمونه پریکدان Coppice trees in Parikadan	درختان شاخه‌زاد در قطعه‌نمونه سرآبتاوه Coppice trees in Sarabtaveh	**متغیر** Variable
5.14 (±3.25)	5.04 (±2.76)	تعداد جست Number of sprout
9.96 (±3.01)	10.11 (±3.1)	قطر جست Diameter sprout (cm)
15.33 (±4.4)	14.44 (±7.02)	قطر جست‌گروه Diameter sprout group (cm)
84.35 (±42.8)	84.91 (±44.5)	رویه زمینی Basal area (m^2)
7.05 (±2.32)	6.23 (±2.2)	قطرمتوسط تاج Mean crown diameter (m)
42.1 (±25.9)	33.30 (±26.3)	سطح تاج Crown area (m^2)
7.11 (±2.0)	6.82 (±1.8)	ارتفاع درخت Tree height (m)
درختان تک‌پایه در قطعه‌نمونه پریکدان Highforest trees in Parikadan	**درختان تک‌پایه در قطعه‌نمونه سرآبتاوه** Highforest trees in Sarabtaveh	**متغیر** Variable
17.44 (±12.3)	19.54 (±15.7)	قطر درخت Tree diameter (cm)
356.2 (±312.5)	491.21 (±250.1)	رویه زمینی Basal area (m^2)
4.97 (±2.97)	3.97 (±2.4)	قطر متوسط تاج Mean crown diameter (m)
27.52 (±22.8)	24.40 (±16.9)	سطح تاج درخت Crown area (m^2)
6.74 (±3.0)	5.86 (±2.2)	ارتفاع درخت Tree height (m)

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

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	میانگین مربعات (M.S.)					
		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	611.14 ns	0.894 ns	0.034 **	611.14 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	0.056 ns	149.77 ns	13.87 ns	0.012 *	149.77 ns	218065.44 **
سال*قطعه‌نمونه Year*Site	2	0.097 ns	62.32 ns	49.07 ns	0.004 **	62.32 ns	4201.154 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)	
	سرآبتاوه (Sarabtaveh)	پریکدان (Parikadan)
اندوخته کربن آلی خاک Carbon Storage (ton/ha)	81.9 (±4.67)a	86.4 (±5.39)a
درصد کربن آلی خاک Organic Carbon (٪)	2.94 (±0.16)a	2.85 (±0.16) a
فسفر قابل جذب Available P (mg/kg)	16.2 (±1.86)a	17.6 (±1.96)a
نیتروژن کل Total N	0.26 (±0.01)a	0.22 (±0.02)b
رطوبت٪ Moisture (٪)	15.25 (±0.71)a	15.44 (±0.75)a
تنفس میکروبی Microbial respiration (mg/kg)	640.9 (±47.08)b	707.7 (±53.99)a

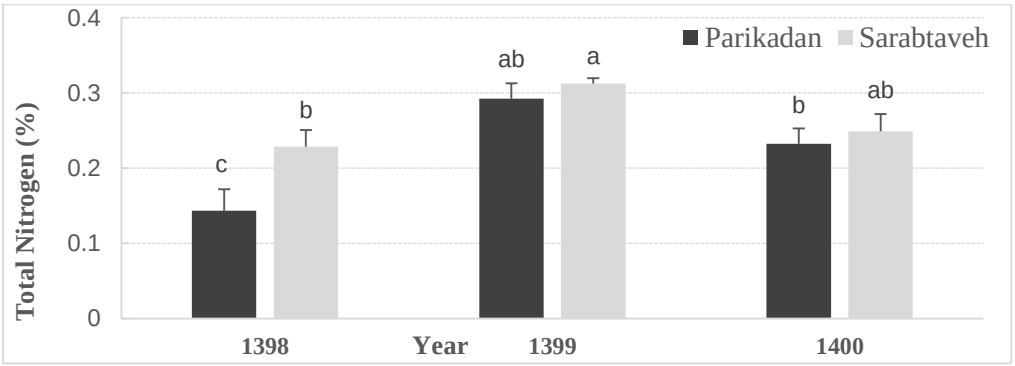
اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده اشتباه معیار (standard error) است.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

میانگین درصد کربن آلی خاک در قطعه‌نمونه سرآبتاوه ۲/۹۴ و در قطعه‌نمونه پریکدان ۲/۸۵ به‌دست آمد (جدول ۴). این اختلاف از نظر آماری در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نشد. اثر سال مورد بررسی، تأثیر معنی‌داری (احتمال ۹۹ درصد) را بر مقدار کربن آلی خاک نشان نمی-دهد. از نظر مقدار نیتروژن کل خاک اختلاف آماری معنی‌دار 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 معنی‌دار بین دو رویشگاه تنها در سال ۱۳۹۸ مشاهده گردید و در سال‌های بعد با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند.

همبستگی بین متغیرهای خاک

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود در قطعه‌نمونه سرآبتاوه، کربن آلی خاک بیشترین همبستگی را با اندوخته کربن دارد. پس از آن ارتباط معنی‌دار آماری 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 به‌دست 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 قطعه‌نمونه پریکدان نیز کربن آلی خاک بیشترین همبستگی را با اندوخته کربن و نیتروژن کل نشاد داد که از نظر آماری این همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. ارتباط بین کربن آلی خاک با نیتروژن و اندوخته کربن خاک کمتر از قطعه‌نمونه سرآبتاوه است. در این قطعه‌نمونه نیز برخلاف قطعه‌نمونه 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 معنی‌داری) را نشان داد (جدول ۶).



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

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

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

جدول ۵- همبستگی بین ویژگی‌های مختلف خاک در قطعه‌نمونه سرآبتاوه

Table5- Correlation among soil characterizes in Sarabtaveh sample plot

	کربن آلی٪ OC٪	وزن مخصوص ظاهری Bulk density	سنگریزه٪ Gravel٪	اندوخته کربن Carbon storage	نیتروژن کل Total N	فسفر قابل جذب Available P	رطوبت Moisture	تنفس میکروبی Microbial resp.	C/N
کربن آلی٪ OC٪	1	*	*	*	*	*	*	*	*
وزن مخصوص ظاهری Bulk density	-0.018	1	*	*	*	*	*	*	*
سنگریزه٪ Gravel٪	-0.205	-0.231	1	*	*	*	*	*	*
اندوخته کربن Carbon storage	0.976**	0.144	-0.372	1	*	*	*	*	*
نیتروژن کل Total N	0.971**	-0.153	-0.182	0.928**	1	*	*	*	*
فسفر قابل جذب Available P	0.047	-0.347	-0.347	0.008	-0.013	1	*	*	*
رطوبت Moisture	-0.501	-0.191	-0.327	0.506	0.427	0.647*	1	*	*
تنفس میکروبی Microbial resp.	-0.251	-0.330	-0.330	0.224	0.239	0.674*	0.889**	1	*
C/N	0.144	0.465	-0.119	0.215	0.091	0.276	0.418	0.122	1

جدول ۶- همبستگی بین ویژگی‌های مختلف خاک در قطعه‌نمونه پریکدان

Table6- Correlation among soil characterizes in Parikdan sample plot

	کربن آلی٪ OC ٪	وزن مخصوص ظاهری Bulk density	سنگریزه٪ Gravel٪	اندوخته کربن Carbon storage	نیتروژن کل Total N	فسفر قابل جذب Available P	رطوبت Moisture	تنفس میکروبی	C/N
کربن آلی٪ OC٪	1	*	*	*	*	*	*	*	*
وزن مخصوص ظاهری	0.206	1	*	*	*	*	*	*	*
سنگریزه٪ Gravel٪	0.125	0.574*	1	*	*	*	*	*	*
اندوخته کربن Carbon storage	0.832**	0.322	0.361	1	*	*	*	*	*
نیتروژن کل Total N	0.616**	0.113	-0.133	0.588*	1	*	*	*	*
فسفر قابل جذب Available P	0.176	0.275	0.299	0.221	0.004	1	*	*	*
رطوبت Moisture	0.014	0.464	0.382	-0.344	0.021	0.372	1	*	*
تنفس میکروبی Microbial resp.	0.176	-0.530	0.409	-0.353	-0.094	0.097	0.936**	1	*
C/N	-0.087	0.036	0.287	-0.159	-0.78**	0.269	-0.057	0.016	1

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

بحث

نوع جنگل و مدیریت حاکم برآن 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 دلدره در منطقهٔ 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 تودهٔ جنگل‌کاری اقاقیا و کاج تهران را به‌ترتیب ۷۸/۲ و ۵۷ تن در هکتار گزارش کردند (Varamesh *et al*., 2010). در بررسی تأثیر ۴ گونه جنگل‌کاری 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 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 منطقهٔ 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 داده اند که مقدار کربن آلی خاک در شرایط پوشش‌های درختی متراکم، بیشتر است که این موضوع نشان دهندهٔ پتانسیل زیاد ذخیره کربن توسط پوشش گیاهی است (Rostami *et al*., 2020).

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*., 2007). 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 فسفر قابل جذب درخاک 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

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

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 لایه-های 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 آشفتگی‌های مکرر جنگلی به‌تدریج 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 دراختیار 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 معمولا 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

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

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. به‌نظر می‌رسد نوع گونه‌های درختی و شیوه‌های مدیریت جنگل تأثیر معناداری بر ذخیره کربن و عملکرد کلی اکوسیستم دارد. پایش بلندمدت این تغییرات نه‌تنها برای درک بهتر مکانیسم‌های حاکم بر چرخه مواد مغذی ضروری است، بلکه مبنای علمی محکمی برای تصمیم‌گیری‌های 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.

منابع

Anderson, T.H. 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3): 285-293. [In Persian] https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00088-4

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. https://doi.org/10.1155/2022/3691638

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. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157043

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. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01545

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.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

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. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108608

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*. https://doi.org/10.1201/9781420044096

Lal, R. 2003. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect, *Critical Review in Plant Sciences*, 22(2): 151-184. https://doi.org/10.1080/713610854

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. https://doi.org/10.1007/s11676-021-01340-w

Lorenz, K., & Lal, R. 2010. Carbon sequestration in forest ecosystem. Heidelberg, Springer Press, *298p*. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3266-9

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. https://doi.org/10.3168/jds.2022-21819

Olness A., & Archer D. 2005. Effect of Organic Carbon on Available Water in Soil. *Soil Science*, 170(2): 90-101. https://doi.org/10.1097/00010694-200502000-00002

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. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.023

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.In Towards Sustainable Use of Rangelands in North-West China, Part 3, Pp: 127-145. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9622-7_7

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

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. https://doi.org/10.1007/s13595-021-010507

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. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

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. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104825

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. https://doi.org/10.1093/jpe/rtac050

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: Dehkohneh 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. https://doi.org/10.1007/s11104-022-05638-4

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]