مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال هجدهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۵
ص ۲۱۷-۲۰۱
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2026.556918.2083
CC BY 4.0

ارزیابی تغییر خصوصیات زیستی خاک و اثر آنها بر ساختار توده‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در جنگل‌های زاگرس (پژوهش موردی: جنگل‌های قلاجه استان کرمانشاه)

نیکنام سلیمانی[۱]، کامبیز ابراری واجاری[۲*] و مرتضی پوررضا[۳]

[۱] دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
[۲] استاد گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
[۳] استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰)

چکیده

مقدمه: اهمیت پژوهش دربارهٔ خاک جنگل در اکولوژی و جنگل‌شناسی به‌ویژه به‌دلیل اهمیت زیاد خاک در فرایندهای بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی اکوسیستم جنگلی است. خاک بستر اصلی رشد درختان و سایر گیاهان است و تأثیرات زیادی بر سلامت، تنوع زیستی و پایداری جنگل‌ها دارد. بررسی دقیق ویژگی‌های خاک جنگل می‌تواند به درک بهتر ارتباطات بین خاک، گیاهان و بقیهٔ موجودات زنده کمک کند و راهکارهایی برای مدیریت مؤثرتر جنگل‌ها ارائه دهد. این پژوهش با هدف بررسی برخی خصوصیات مهم و مؤثر در فرایندهای زیستی خاک، شناخت تفاوت‌ها و شباهت‌های آنان در توده‌های جنگلی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) و ارتباط این ویژگی‌های مهم با خصوصیات ساختاری جنگل‌های حفاظت‌شدهٔ کوهستان قلاجه در استان کرمانشاه انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها: ضمن شناسایی سه تودهٔ جنگلی دانه‌زاد، شاخه‌زاد و شاخه-دانه‌زاد به‌صورت تصادفی، در هر کدام سه قطعه نمونهٔ یک‌هکتاری برداشت و ویژگی‌های ساختاری همهٔ درختان و جست‌گروه‌ها شامل نام گونه، فرم رویشی، تعداد جست‌ها، قطر برابرسینه، ارتفاع درختان و ارتفاع غالب جست‌گروه‌ها و دو قطر عمود بر هم تاج برداشت شد. سپس به‌منظور بررسی اثرهای رقابت در هر قطعه نمونه، ۱۰ پایهٔ هدف و مجاور که دارای حداقل فاصله از هم بودند انتخاب شدند و همهٔ ویژگی‌های ساختاری آنها ثبت شد. برای استخراج ویژگی‌های خاک در چهار جهت اصلی هر یک از درختان رقابت‌پذیر چهار نمونه تا عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک برداشت و سپس با هم ترکیب شدند، به‌طوری که در هر توده ۳۰ نمونه و در همهٔ توده‌ها ۹۰ نمونه تهیه و به آزمایشگاه انتقال داده شد. شاخص رقابت برای درختان هدف و مجاور با استفاده از روش هیگی به دست آمد. برای اندازه‌گیری کربن آلی از روش والکی و بلک، وزن مخصوص ظاهری خاک از روش سیلندر، تنفس میکروبی از روش ظرف دربسته و برای محاسبهٔ کربن، نیتروژن و فسفر زی‌تودهٔ میکروبی از روش تدخین استفاده شد. برای مقایسهٔ توده‌ها از نظر مشخصه‌های زیستی خاک از آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA)، برای بررسی ارتباط بین متغیرها از ضریب همبستگی پیرسون و برای گروه‌بندی توده‌ها از آزمون مقایسه‌های چندگانهٔ دانکن در سطح احتمال آماری ۵ درصد استفاده شد.

نتایج: نشان داد که مقدار کربن آلی خاک در تودهٔ شاخه‌زاد با ۳/۲۸ درصد به‌طور معنی‌داری بیش از بقیهٔ توده‌ها بوده است. میانگین وزن مخصوص ظاهری خاک در توده‌های شاخه‌زاد، شاخه- دانه‌زاد و دانه‌زاد به‌ترتیب ۱/۲۷، ۱/۴ و ۱/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد. مقادیر کربن زی‌تودهٔ میکروبی (MBC) ۱۶۹/۳، ۱۷۶ و ۱۵۸/۹، نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی (MBN) ۴۴/۱۸، ۱۱۳ و ۸۳/۳۷ و فسفر زی‌تودهٔ میکروبی (MBP) ۱۲/۷، ۱۵ و ۸/۸۲ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک محاسبه شد. مقدار تنفس میکروبی خاک ۰/۱۷۲، ۰/۱۶ و ۰/۱۲۹ میلی‌گرم CO_2 بر گرم خاک و مقدار ترسیب کربن ۶۲/۸، ۴۶/۸ و ۳۹/۲ تن در هکتار محاسبه شد. نتایج تجزیهٔ واریانس نیز نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار توده‌های بلوط ایرانی از نظر خصوصیات زیستی خاک است. همچنین بررسی ارتباط متقابل بین متغیرهای مهم ساختاری جنگل و خصوصیات زیستی خاک نشان می‌دهد که واکنش آنها به یکدیگر در توده‌های تحت بررسی متفاوت است

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که خصوصیات زیستی خاک در توده‌های جنگلی بلوط ایرانی دارای تفاوت‌های معنی‌داری است. این تمایز ممکن است ناشی از تفاوت در ماهیت توده‌ها، شامل ساختار درختان، ویژگی‌های جست‌گروهی و نظام‌های مدیریتی و جنگل‌شناسی متفاوت آنها باشد. بررسی اثر ویژگی‌های ساختاری در هر توده نیز بیانگر آن است که نقش این عوامل با توجه به ماهیت اکولوژیک هر توده تفاوت دارد. برای نمونه، در توده‌های دانه‌زاد و شاخه-دانه‌زاد، مقدار کربن آلی خاک به‌طور معناداری تحت تأثیر مساحت تاج‌پوشش قرار گرفت؛ درحالی که در تودهٔ شاخه‌زاد، رابطهٔ مشخص و معنی‌داری بین این متغیرها مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: بلوط ایرانی، جنگل‌های زاگرس، خصوصیات زیستی خاک، ساختار توده، شاخص رقابت هیگی.

* نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۳۴۴۱۵۷۱ ایمیل: Email: kambiz_abrari2003@yahoo.com

مقدمه

اهمیت پژوهش دربارهٔ خاک جنگل در اکولوژی و جنگل‌شناسی به‌ویژه به‌دلیل اهمیت خاک در فرایندهای بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی بوم‌سازگان جنگلی است و آگاهی از خصوصیات خاک برای مدیریت مؤثر جنگل‌ها و حفاظت از منابع طبیعی ضروری است. با شناخت ویژگی‌های خاک جنگل‌ها، می‌توان روش‌های بهتری برای مدیریت منابع آبی و خاکی و استفادهٔ پایدار از منابع جنگلی اتخاذ کرد. همچنین با پژوهش دربارهٔ خاک جنگل‌ها به‌ویژه در موارد تغییر کاربری اراضی و جنگل‌زدایی، می‌توان اثرهای منفی این تغییرات را کاهش داد و پاسخ خاک‌ها به تغییرات اقلیمی و اثرهای آن را تحلیل کرد. برای مثال خاک‌های جنگلی می‌توانند کربن را جذب و ذخیره کنند؛ بنابراین تغییر ویژگی‌های خاک، بر مقدار ترسیب کربن و افزایش CO_2 در جو تأثیرگذار خواهد بود (Johnson & Curtis, 2001; Meurisse et al., 1991). در این میان خصوصیات زیستی خاک اثر بسیار مهمی در حفظ پایداری اکوسیستم‌های جنگلی دارند. این خصوصیات شامل جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌ها، زی‌تودهٔ میکروبی، تنفس خاک، آنزیم‌های خاک و تنوع زیستی موجودات خاک‌زی است. این ویژگی‌ها به‌دلیل تأثیرشان بر چرخهٔ مواد مغذی، ساختار خاک، تنفس خاک و فعالیت میکروبی، پایداری و مقاومت اکوسیستم بسیار بااهمیت است (Paul, 2014).

ساختار جنگل می‌تواند اثر مهمی در پویایی و عملکرد فرایندهای بوم‌شناختی جنگل از جمله خصوصیات زیستی خاک داشته باشد. تغییر ویژگی‌های ساختاری از جمله تراکم تاج‌پوشش، تنوع گونه‌ای و نوع توده (دانه‌زاد یا شاخه‌زاد) می‌تواند بر شرایط خرداقلیمی، مقدار مواد آلی ورودی به خاک و در نتیجه فعالیت میکروبی تأثیرگذار باشد (Jangid et al., 2011). بررسی ارتباط متقابل خصوصیات زیستی خاک و ساختار جنگل، به‌ویژه با توجه به اهمیت جنگل‌های زاگرس در حفظ منابع خاک، آب و تنوع زیستی به درک جامع‌تر عملکرد زیست‌بوم جنگل‌ها می‌انجامد. این ارتباط دوسویه، هم بر پایداری اکوسیستم اثر دارد و هم در مدیریت پایدار جنگل‌ها بسیار مهم است. برای مثال تراکم و تنوع درختی بر مقدار ورودی ماده آلی (برگ‌ریزش) تأثیر می‌گذارد. این مواد منبع تغذیه میکروارگانیسم‌ها هستند. سایه‌اندازی درختان دمای خاک و رطوبت را کنترل می‌کند. این دو عامل، در فعالیت میکروبی و زیستی خاک اثرگذارند (Prescott & Grayston, 2013). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در جنگل‌های ناهمسال با ساختار پیچیده‌تر به‌طور معمول تولید لاشبرگ تر و چرخه‌های غذایی پایدارتر بوده و در نتیجه فرایندهای زیستی خاک پویاتر است (Wardle, 2006). در مقابل، کاهش پیچیدگی ساختاری مانند جایگزینی شاخه‌زاد با دانه‌زاد سبب کاهش کیفیت مواد آلی ورودی به خاک و کاهش فعالیت‌های میکروبی می‌شود (Cotrufo et al., 2013). بنابراین ساختار توده‌های جنگلی اثری بنیادین در تنظیم خصوصیات زیستی خاک دارد و آگاهی از ارتباط آنها می‌تواند در مدیریت اکوسیستم‌های جنگلی به‌ویژه جنگل‌های زاگرس مؤثر باشد. در ایران پژوهش‌های محدودی در خصوص بررسی برخی خصوصیات زیستی خاک و ارتباط آنها با ویژگی اکولوژیکی و جنگل‌شناسی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به تحقیقات Kooch & Tavakoli Feizabadi (2018); Mazaheri & Bazgir (2019); Rafiee et al. (2021); Mehrnoosh et al. (2022); Esfandiari et al. (2023); Balabandi et al, (2024) اشاره کرد. با توجه به نقش بسیار مهم خصوصیات زیستی خاک در حفظ پایداری اکوسیستم‌های جنگلی در این پژوهش برخی از خصوصیات مهم و مؤثر در فرایندهای زیستی خاک از جمله کربن آلی، تنفس میکروبی، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی و فسفر زی‌تودهٔ میکروبی، تنفس میکروبی ترسیب کربن و وزن مخصوص ظاهری خاک بررسی شد و ضمن

شناخت تفاوت‌ها و شباهت‌های آنان در توده‌های جنگلی، ارتباط آنها با برخی خصوصیات ساختاری مهم در سطح توده‌های جنگلی تحلیل و بررسی شد. بر اساس بررسی سوابق تا کنون در زمینهٔ بررسی خصوصیات زیستی خاک و تأثیر آن بر ساختار جنگل پژوهش‌های معدودی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به پژوهش Haidari et al. (2022) در زمینهٔ بررسی تنفس میکروبی خاک و زی‌تودهٔ میکروبی کربن خاک و تأثیر آن بر ساختار توده‌های جنگلی استان کردستان و پژوهش Habashi (2015) در توده‌های جنگلی راش (*Fagus orientalis* Lipsky) اشاره کرد. Teimouri et al. (2023) ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک در دو رویشگاه بلوط ایرانی (*Q. brantii* Lind.) به نام‌های چری و مورز در استان چهارمحال و بختیاری بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مقدار چهار متغیر کربن آلی، مادهٔ آلی، تنفس برانگیخته و پتانسیل نیتریفیکاسیون در سال دوم پایش نسبت به سال اول دارای افزایش معنی‌داری است و افزایش آنها را ناشی از تنوع گونه‌ای و درصد تاج‌پوشش بیشتر و حفاظت نسبی رویشگاه چری دانستند. Farooq et al. (2022) زی‌تودهٔ میکروبی کربن و نیتروژن را در منطقهٔ حفاظت‌شده و تحت بهره‌برداری بررسی کردند که نتایج حاکی از تفاوت معنی‌دار توده‌ها بود. در پژوهش پیش رو، ضمن شناسایی و تفکیک توده‌های جنگلی بلوط ایرانی با توجه به فرم رویشی جنگل‌های قلاجه در استان کرمانشاه که از نظر اکولوژیکی، تنوع زیستی، حفاظت منابع آب و خاک، جنگل‌شناسی، حیات وحش، توریسم و ... بسیار باارزش و مهم‌اند، برخی ویژگی‌های زیستی خاک و ارتباط آنها با برخی خصوصیات مهم ساختاری توده بررسی شد و مقایسهٔ این ویژگی‌ها در توده‌های شاخه‌زاد، شاخه- دانه‌زاد و دانه‌زاد صورت گرفت. برای شناخت تفاوت‌های اکولوژیکی و جنگل‌شناسی پرسش‌های زیر مطرح شد:

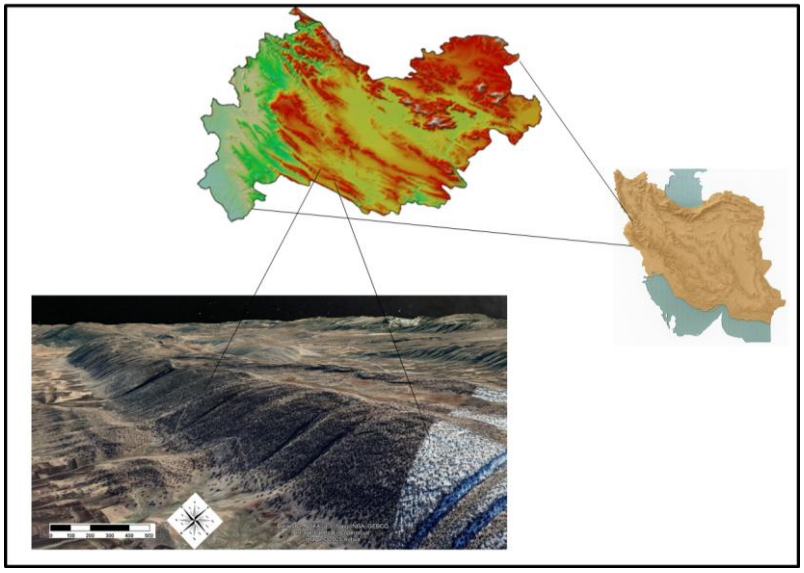
۱- آیا خصوصیات زیستی خاک (کربن آلی، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی، فسفر زی‌تودهٔ میکروبی، تنفس میکروبی و ترسیب کربن) در توده‌های شاخه‌زاد، شاخه- دانه‌زاد و دانه‌زاد با هم متفاوت‌اند؟

۲- آیا خصوصیات زیستی خاک (کربن آلی، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی، فسفر زی‌تودهٔ میکروبی، تنفس میکروبی و ترسیب کربن) با ویژگی‌های ساختاری توده‌های شاخه‌زاد، شاخه- دانه‌زاد و دانه‌زاد ارتباط دارند؟

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

برای اجرای این پژوهش، بخشی از رویشگاه‌های بلوط در جنگل‌های کوهستان قلاجه در شهرستان گیلانغرب از توابع استان کرمانشاه که دارای شرایط اکولوژیک ویژه و توده‌های بلوط با فرم رویشی متنوع بود انتخاب شد. کمینه و بیشینهٔ ارتفاع از سطح دریا در منطقهٔ پژوهش به‌ترتیب ۱۵۸۰ و ۲۰۴۵ متر است. منطقه در طول جغرافیایی '۲۵ °۴۶ تا '۳۰ °۴۶ شرقی و عرض جغرافیایی '۳۵ °۳۴ تا '۴۰ °۳۴ شمالی واقع شده است. براساس داده‌های سی‌سالهٔ نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک، منطقه دارای متوسط دمای ۱۳/۸ درجهٔ سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانهٔ ۴۳۳ میلی‌متر است. نوع اقلیم آب‌وهوای منطقه بر اساس روش دومارتن (I=۱۸/۰۲) و اقلیم‌نگار تجربی آمبرژه (Q=۳۲/۹) نیمه‌خشک سرد است. طول فصل خشک با توجه به منحنی از وسط بهار تا اواخر پاییز است و دیگر ماه‌های سال فصل مرطوب به حساب می‌آیند. از نظر زمین‌شناسی منطقه دارای سنگ مادر آهکی و مارنی با خاک‌های کم‌عمق تا نیمه‌عمیق با بافت متوسط روی سنگریزه و سنگ است (Hamzeh'ee et al., 2008).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ پژوهش
Figure 1. Geographical location of the study area

شیوهٔ اجرای پژوهش

در ابتدا توده‌های جنگلی بر اساس فرم رویشی (دانه‌زاد، شاخه‌زاد و دانه و شاخه‌زاد) تفکیک شدند و در هر تودهٔ جنگلی به‌صورت تصادفی سه قطعه نمونهٔ یک‌هکتاری (Akhavan et al., 2018)، با توجه به اهداف پژوهش پیاده شد. در هر قطعه نمونه ضمن ثبت همهٔ گونه‌ها، ویژگی‌های ساختاری آنها شامل مبدأ رویشی، ارتفاع تمام درختان، قطر برابرسینهٔ درختان و جست‌ها در هر جست‌گروه، دو قطر بزرگ و کوچک تاج درختان وجست‌گروه‌ها بررسی و اندازه‌گیری شد. سپس در هر کدام از توده‌ها ۱۰ جفت پایه درختی و جست‌ده گونهٔ بلوط ایرانی که دارای کمترین فاصله از هم بودند شناسایی و ضمن ثبت فاصلهٔ آنها، همهٔ ویژگی‌های ساختاری آنها با هدف بررسی تأثیر رقابت بین آنها ثبت شد (Soleymani et al., 2025).

برای بررسی رقابت با توجه به وضعیت توده‌های منطقه از شاخص رقابت کمّی وابسته به فاصلهٔ هیگی (Hegyi,1974) که محاسبهٔ آن بر اساس متغیرهای قطر تاج درختان هدف و همسایه و فاصلهٔ بین آنهاست (رابطهٔ ۱) استفاده شد.

رابطهٔ ۱ $CIHegyi= \sum (crj/cri)\ 1.3/distij\ 0.4$

که در آن cr: متوسط شعاع تاج درختان بر حسب متر، i و j به‌ترتیب معرف درختان همسایه و هدف، distijفاصلهٔ افقی بین درختان همسایه و درخت هدف بر حسب متر است.

برای بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر خصوصیات ساختاری (رویه زمینی، تراکم، ترکیب گونه‌ای، سطح تاج پوشش، جست‌دهی پایه‌های شاخه‌زاد) و رقابتی توده در چهار جهت اصلی درختان رقابت‌پذیر که در توده‌های تحت بررسی شناسایی شده‌اند، با استفاده از اوگر، چهار نمونه تا عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک برداشت و سپس با هم ترکیب شدند (Asghari et al., 2023)؛ به‌طوری که در هر توده ۳۰ نمونه تهیه شد و پس از انتقال به آزمایشگاه وزن مخصوص ظاهری، ترسیب کربن خاک، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، ازت زی‌تودهٔ میکروبی و فسفر زی‌تودهٔ میکروبی و تنفس میکروبی استخراج شده و اثر آنها بر ویژگی‌های ساختاری رقابتی در توده‌های مختلف بررسی شد.

برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک از روش واکلی و بلک (Walkley Black, 1934) وزن مخصوص ظاهری خاک از روش سیلندر (Demir et al., 2007). برای اندازه‌گیری کربن، نیتروژن و فسفر زی‌تودهٔ میکروبی نیز از روش تدخین با کلروفرم استفاده شد (Vance et

al., 1987; Brookes et al., 1984; Sparling &West, 1998; Hedley et al., 1982).

اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک از روش روش قلیایی / Alkali Absorption Method – NaOH) KOH (Ungaro et al., 2022) و برای محاسبهٔ مقدار ترسیب کربن خاک بر حسب کیلوگرم بر هکتار از رابطهٔ ۲ استفاده شد (Hernandez, 2004).

رابطهٔ ۲ $Cc = 10000 \times C (\%) \times Bd \times e$

Cc: مقدار وزن ترسیب کربن (Kg/ha)؛ C: درصد کربن آلی خاک؛ Bd: وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب؛ e: ضخامت عمق خاک برحسب سانتی‌متر است.

روش تحلیل

پس از برداشت سه قطعه نمونهٔ تصادفی در هر یک از توده‌ها، داده‌ها سازماندهی و آمادهٔ تجزیه‌وتحلیل شدند. در این پژوهش ابتدا با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نرمال بودن داده‌های آماری بررسی شد. مقادیر توصیفی توده‌ها در محیط Excel 2013 برآورد شد. برای شناخت بهتر وضعیت کمی و کیفی مشخصهٔ جنگل، هر توده به‌صورت مجزا توصیف و تحلیل شد. نمودارهای مربوط نیز در محیط همین نرم‌افزار ترسیم شد. آنالیز آماری داده‌ها در محیط نرم‌افزاری SPSS 26 صورت گرفت؛ به این صورت که برای بررسی ارتباط بین متغیرها از ضریب همبستگی پیرسون و برای مقایسهٔ توده‌ها از نظر مشخصه‌های کمّی از آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) استفاده می‌شود (Samadi et al., 2004). از آزمون مقایسه‌های چندگانهٔ دانکن نیز برای گروه‌بندی توده‌ها بر اساس متغیرهای تحت بررسی استفاده شد.

نتایج

در منطقهٔ پژوهش ۸ گونهٔ درختی و درختچه‌ای به‌شرح جدول ۱ شناسایی شد. گونهٔ بلوط ایرانی با ۸۵/۶ درصد حضور، گونهٔ غالب به شمار می‌رود. از این تعداد ۵۵/۶ درصد دارای فرم رویشی شاخه‌زاد و ۴۴/۴ درصد دارای فرم رویشی دانه‌زاد هستند. بر این اساس سه تودهٔ اصلی منطقه شامل بلوط دانه‌زاد، بلوط شاخه-دانه‌زاد و تودهٔ شاخه‌زاد شناسایی و تفکیک شد.

جدول ۱- گونه‌های درختی و درختچه‌ای منطقهٔ پژوهش

Table 1. Tree and shrub species identified in the study area

ردیف Nomber	گونه Specious	خانواده Famili
1	*Quercus brantii* Lindl.	Fagaceae
2	*Cerasus microcarpa* (C.A.Mey.) K.Koch	Rosaceae
3	*Crataegus azarolus* L.	Rosaceae
4	*Lonicera nummulariifolia* Jaub. & Spach	Caprifoliaceae
5	*Pistacia atlantica* Desf.	Anacardiaceae
6	*Acer monspessulanum* L.	Aceraceae
7	*Amygdalus orientalis* Mill.	Rosaceae
8	*Daphne mucronata* Royle.	Thymelaeaceae

در جدول ۲ ویژگی‌های زیست‌سنجی سه توده به تفکیک فرم رویشی خلاصه شده است. بررسی ویژگی‌های ساختاری تودهٔ بلوط دانه‌زاد (جدول ۲) نشان می‌دهد که در این توده به‌طور متوسط در هر هکتار ۱۲۳/۳۳ درخت و جست‌گروه وجود دارد و سطح تاج‌پوشش درختان، جست‌گروه‌ها و درختچه‌ها در آن ۳۱۷۹/۲۵ متر مربع در هکتار و مجموع سطح مقطع آنها ۱۳/۰۵ متر مربع در هکتار است. سهم گونهٔ بلوط ایرانی دانه‌زاد به‌ترتیب ۹۰/۲ و ۸۳/۸ درصد است. بقیهٔ مشخصه‌های ساختاری تودهٔ یادشده در جدول ۲ آورده شده است. در تودهٔ بلوط شاخه-دانه‌زاد به‌طور متوسط در هر هکتار ۱۲۹ درخت و جست‌گروه وجود دارد که از این تعداد ۴۸/۸ درصد دارای فرم رویشی دانه‌زاد و ۵۱/۲ درصد دارای فرم

رویشی شاخه‌زاد هستند. در این توده سطح تاج‌پوشش ۳۰۶۲/۷۶ متر مربع در هکتار برآورد شد که ۵۰/۶۶ درصد به درختان دانه‌زاد و ۴۹/۳۶ درصد مربوط به جست‌گروه‌هاست. بقیهٔ مشخصات تودهٔ یادشده در جدول ۲ شرح داده شده است. در تودهٔ بلوط شاخه‌زاد نیز به‌طور متوسط در هر هکتار ۱۲۹ درخت و جست‌گروه وجود دارد که ۹۱/۳ درصد دارای فرم رویشی شاخه‌زاد هستند و تعداد جست‌های مربوط به جست‌گروه‌ها ۷۰۳.۳ در هکتار پایه محاسبه شد که به‌طور میانگین سهم هر جست‌گروه ۶/۱ جست است. سطح پوشش و سطح مقطع برابرسینه به‌ترتیب ۱۹۸۶/۳۴ و ۳/۸۵ متر مربع در هکتار محاسبه شد. بقیهٔ ویژگی‌های ساختاری تودهٔ مذکور در جدول ۲ ذکر شده است.

مقادیر توصیفی ویژگی‌های زیستی خاک به تفکیک توده‌ها در جدول ۳ آورده شده است. بیشترین مقدار کربن آلی خاک در توده‌ها به‌ترتیب به توده‌های شاخه‌زاد و دانه‌زاد، وزن مخصوص ظاهری خاک به تودهٔ دانه‌زاد و شاخه‌زاد، زی‌تودهٔ میکروبی کربن به تودهٔ شاخه‌دانه‌زاد و دانه‌زاد، زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن به تودهٔ شاخه- دانه‌زاد و شاخه‌زاد، زی‌تودهٔ میکروبی فسفر به تودهٔ شاخه‌دانه‌زاد و دانه‌زاد، تنفس میکروبی به تودهٔ شاخه‌زاد و دانه‌زاد و ترسیب کربن به توده‌های شاخه‌زاد و دانه‌زاد اختصاص دارد. نتایج تجزیهٔ واریانس خصوصیات زیستی خاک در توده‌ها نشان داد که همهٔ این ویژگی‌ها (کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری، زی تودهٔ میکروبی کربن، زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن، زی‌تودهٔ میکروبی فسفر، تنفس میکروبی و ترسیب کربن) در هر سه توده با هم اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۳).

جدول ۲- آمار توصیفی و متوسط ویژگی‌های زیست‌سنجی توده‌های بررسی‌شده

Table 2. Descriptive and average statistics of the biometric characteristics of the studied stands

توده Stand	فرم رویشی growth form	تراکم Density	قطر برابرسینه Diameter at the breast (Cm)	سطح مقطع Basal Area (m2/ha)	ارتفاع Height (m)	قطر تاج Crown Diameter (m)	سطح تاج Crown Area (m2/ha)
دانه‌زاد High stand	فرم دانه‌زاد High form	120	18.55	12.97	6	5.43	3024.25
	فرم شاخه‌زاد Coppice form	3.33	11.37	0.08	5.4	6.37	145
	کل Total	123.33	18.31	130.05	5.98	5.46	3169.25
شاخه دانه‌زاد Coppie high stand	فرم دانه‌زاد High form	630.01	48.84	4.1672	5.65	5.36	1551.76
	فرم شاخه‌زاد Coppice form	65.99	51.16	10.0198	5.57	4.55	1511.52
	کلTotal	129	15.72	5.187	5.61	4.88	3062.76
شاخه‌زاد Coppice Stand	فرم دانه‌زاد High form	10.33	15.49	0.34	5.65	4.30	118.13
	فرم شاخه‌زاد Coppice form	116	7.87	3.41	5.57	.53	1868.21
	کلTotal	126.33	8.37	3.85	5.61	4.44	1986.34

جدول ۳- نتایج تجزیهٔ واریانس خصوصیات زیستی خاک در توده‌های بررسی‌شده

Table 3. Analysis of variance of Iranian oak stands based on biological attributes

خصوصیات زیستی Biological attributes		مجموع مربعات Sum of Squares	درجهٔ آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	F	سطح معنی‌داری Sig.
کربن آلی (٪) Organic carbon (%)	بین‌گروهی Between Groups	30.001	2	15.000	61.409	.000
	درون‌گروهی Within Groups	20.274	87	.244		
	کل Total	50.275	89			
وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g cm^{-3})	بین‌گروهی Between Groups	.176	2	.088	17.604	.000
	درون‌گروهی Within Groups	.416	87	.005		
	کل Total	.592	89			
کربن زی تودهٔ میکروبی Microbial biomass carbon (mg C kg^{-1} dry soil)	بین‌گروهی Between Groups	5245.686	2	2622.843	9.729	.000
	درون‌گروهی Within Groups	223760.018	87	269.591		
	کل Total	27621.704	89			
نیتروژن زی تودهٔ میکروبی Microbial biomass Nitrogen(mg C kg^{-1} dry soil)	بین‌گروهی Between Groups	65664.389	2	32832.194	315.269	.000
	درون‌گروهی Within Groups	8643.653	87	104.140		
	کل Total	74308.042	89			
فسفر زی تودهٔ میکروبی Microbial biomass Phosphorus (mg C kg^{-1} dry soil)	بین‌گروهی Between Groups	603.786	2	301.893	287.541	.000
	درون‌گروهی Within Groups	87.143	87	10.050		
	کل Total	690.929	89			
تنفس میکروبی Microbial respiration (mg CO_2 kg^{-1})	بین‌گروهی Between Groups	0.051	2	.026	10.031	.000
	درون‌گروهی Within Groups	.213	87	.003		
	کل Total	.264	89			
ترسیب کربن Carbon sequestration (ton C ha^{-1})	بین‌گروهی Between Groups	.362	2	.181	10.466	.000
	درون‌گروهی Within Groups	1.436	87	0.017		
	کل Total	1.798	89			

با استفاده از آزمون مقایسه‌های چندگانهٔ دانکن، گروه‌بندی توده‌ها بر اساس خصوصیات زیستی خاک انجام گرفت. نتایج نشان داد که میانگین درصد کربن آلی در توده‌های دانه‌زاد و شاخه–دانه‌زاد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند؛ اما هر دو توده در مقایسه با تودهٔ شاخه‌زاد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند. مقدار تنفس میکروبی خاک در توده‌های شاخه‌زاد و شاخه–دانه‌زاد نیز فاقد اختلاف معنی‌دار است، در حالی‌که این دو توده در مقایسه با تودهٔ دانه‌زاد، اختلاف معنی‌داری در سطح آزمون نشان می‌دهند.

مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک در توده‌های شاخه‌زاد و شاخه–دانه‌زاد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند، ولی هر دو در مقایسه با تودهٔ دانه‌زاد اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهند. در جنگل یادشده، مقدار زی‌تودهٔ میکروبی کربن در دو تودهٔ شاخه–دانه‌زاد و دانه‌زاد بدون اختلاف معنی‌دار بوده است؛ اما این شاخص در مقایسه این دو توده با تودهٔ شاخه‌زاد اختلاف قابل توجه و معنی‌داری دارد.

مقادیر میانگین نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی در هر سه توده اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد. همچنین، اختلاف میانگین فسفر زی‌تودهٔ میکروبی در توده‌های شاخه‌زاد و شاخه–دانه‌زاد نسبت به تودهٔ دانه‌زاد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج، مقدار ترسیب کربن در هر سه توده اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.

جدول ۴- میانگین خصوصیات زیستی خاک در توده‌های بررسی‌شده

Table 4. Average biological attributes in the studied stands

توده Stand	کربن آلی organic carbon (%)	وزن مخصوص Bulk density (g cm^{-3})	کربن زی‌تودهٔ میکروبی Microbial biomass carbon (mg C kg^{-1} dry soil)	نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی Microbial biomass Nitrogen(*mg* N kg^{-1} dry soil)	فسفر زی‌تودهٔ میکروبی Microbial biomass Phosphorus (mg P kg^{-1} dry soil)	تنفس میکروبی Microbial respiration (mg CO_2 kg^{-1})	ترسیب کربن Carbon sequestration (ton C ha^{-1})
شاخه‌زاد Coppice	3.28±0.46^{a}	1.27±.27^{b}	169.3±3.98^{a}	44.18±4^{c}	12.7±0.69^{a}	0.172±00.01^{a}	62.8±9.1^{a}
شاخه- دانه‌زاد Coppice-High	2.27±0.24^{b}	1.4±0.02^{b}	176±4.66^{a}	113±11.14^{a}	15±1.54^{a}	0.16±0.32^{a}	46.8± 10.4^{b}
تودهٔ دانه‌زاد High	1.842±0.4^{b}	1.41±0.11^{a}	158.9±4.48^{b}	83.37±12.49^{b}	8.82±0.53^{b}	0.129±0.02^{b}	39.2±9.6^{c}

در جدول‌های ۵، ۶ و ۷ ارتباط متغیرهای مهم ساختاری و نیز شاخص رقابت با خصوصیات زیستی خاک به تفکیک توده آورده شده است. در تودهٔ شاخه‌زاد (جدول ۵) کربن آلی خاک با شاخص رقابت و ویژگی‌های ساختاری توده شامل قطر برابرسینه، سطح مقطع برابرسینه، مساحت تاج و ارتفاع درختان و جست‌گروه‌ها در سطح آزمون فاقد ارتباط ($P>0.05$) و کربن آلی با ارتفاع جست‌گروه‌ها در سطح آزمون ($P<0.01$) دارای ارتباط معنی‌دار است. همبستگی خصوصیت وزن مخصوص ظاهری خاک با شاخص رقابت و ویژگی‌های ساختاری در تودهٔ شاخه‌زاد هیچ‌گونه ارتباط معنی‌داری ($P>0.05$) ندارد و فقط با شاخص رقابت هیگی دارای ارتباط ($P<0.05$) است. در این توده، کربن زی‌تودهٔ میکروبی و نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی و ترسیب کربن با شاخص رقابت و خصوصیات ساختاری توده هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری در سطح آزمون ($P>0.05$) نشان ندادند. فسفر زی‌تودهٔ میکروبی نیز به غیر از ارتباط با ارتفاع جست‌گروه‌ها ($P<0.05$) با بقیهٔ ویژگی‌های ساختاری توده فاقد ارتباط ($P>0.05$) بود.

جدول ۵- همبستگی خصوصیات زیستی خاک با ویژگی‌های ساختاری در تودهٔ بلوط شاخه‌زاد
Table 5. Correlation of soil biological properties with structural characteristics in the oak coppice stand

خصوصیات زیستی خاک Soil biological properties	قطر برابرسینه Diameter at the breast (Cm)	سطح مقطع Basal Area (m2/ha)	سطح تاج Crown Area (m2/ha)	ارتفاع Height (m)	شاخص هیگی Hegye Index
کربن آلی organic carbon	0.003^{ns}	0.033^{ns}	-0.278^{ns}	0.503**	0.062^{ns}
وزن مخصوص ظاهری bulk density	-0.082^{ns}	-0.112^{ns}	-0.180^{ns}	0.428*	0.420*
کربن زی‌تودهٔ میکروبی microbial biomass carbon	0.312^{ns}	-0.164^{ns}	0.281^{ns}	-0.101^{ns}	-0.025^{ns}
نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی microbial biomass Nitrogen	-0.082^{ns}	-0.102^{ns}	0.256^{ns}	0.157^{ns}	-0.322^{ns}
فسفر زی‌تودهٔ میکروبی microbial biomass Phosphorus	0.033^{ns}	00.051^{ns}	-0.270^{ns}	0.425*	-0.150^{ns}
تنفس میکروبی Microbial respiration	0.033^{ns}	0.033^{ns}	0.033^{ns}	0.279^{ns}	-0.098^{ns}
ترسیب کربن Carbon sequestration	-0.021^{ns}	-0.189^{ns}	-0.339^{ns}	-0.158^{ns}	0.074^{ns}

**معنی‌داری در سطح ۹۹ ٪، *معنی‌داری در سطح ۹۵٪، ^{ns} معنی‌دار نبودن

بررسی ارتباط خصوصیات زیستی خاک با ویژگی‌های ساختاری تودهٔ شاخه- دانه‌زاد در جدول ۶ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که کربن آلی خاک فقط با ارتفاع درختان دارای همبستگی ($P<0.01$) است، ولی با بقیهٔ متغیرهای ساختاری توده ارتباط معنی‌داری ($P>0.05$) ندارد. وزن مخصوص ظاهری خاک با مساحت تاج و ارتفاع درختان و جست‌گروه‌ها ($P<0.05$) معنی‌دار و با بقیهٔ ویژگی‌های ساختاری و شاخص رقابت هیگی فاقد همبستگی ($P>0.05$) است. ذی‌تودهٔ میکروبی کربن نیز فقط با سطح مقطع برابرسینهٔ درختان و جست‌گروه‌ها ارتباط معنی‌داری ($P<0.05$) دارد و با بقیهٔ خصوصیات ساختاری و شاخص رقابتی هیگی در تودهٔ مذکور فاقد همبستگی ($P>0.05$) است. در این توده، زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن با قطر برابرسینه، ارتفاع درختان و جست‌گروه‌ها ارتباط معنی‌داری ($P<0.01$) دارد و با سطح مقطع برابرسینه دارای ارتباط ($P<0.05$) است، ولی با شاخص رقابت و مساحت تاج درختان و جست‌گروه‌ها فاقد همبستگی ($P>0.05$) است. زی‌تودهٔ میکروبی فسفر نیز در تودهٔ دانه شاخه‌زاد با خصوصیات ساختاری توده از جمله قطر برابرسینه، سطح مقطع برابرسینه، مساحت تاج و ارتفاع دارای همبستگی ($P<0.01$) و با شاخص رقابتی هیگی فاقد همبستگی است. همچنین مقدار ترسیب کربن در تودهٔ یادشده با شاخص رقابتی هیگی و ویژگی‌های ساختاری درختان و جست‌گروه‌ها ارتباط معنی‌داری ($P>0.05$) ندارد.

در جدول ۷ ارتباط بین ویژگی‌های زیستی خاک و خصوصیات ساختاری تودهٔ بلوط دانه‌زاد بررسی شده است. نتایج حاکی از آن است که در تودهٔ مذکور، کربن آلی با قطر برابرسینه، سطح مقطع برابرسینه و مساحت تاج دارای همبستگی ($P<0.01$) است و با ارتفاع درختان و جست‌گروه‌ها ارتباط معنی‌دار ($P<0.05$) دارد؛ در صورتی که این ویژگی خاک با شاخص رقابت هیگی ارتباط معنی‌داری ($P>0.05$) ندارد. وزن مخصوص ظاهری خاک غیر از مساحت تاج ($P<0.05$) با شاخص رقابت هیگی و بقیهٔ متغیرهای ساختاری توده فاقد همبستگی ($P>0.05$) است. زی‌تودهٔ میکروبی کربن و نیتروژن نیز با شاخص رقابت هیگی و بقیهٔ ویژگی‌های ساختاری توده ارتباط معنی‌داری ($P>0.05$) ندارد. زی‌تودهٔ میکروبی فسفر با قطر برابرسینه و سطح مقطع برابرسینه ($P<0.01$) و با مساحت تاج ($P<0.05$) ارتباط معنی‌دار دارد؛ ولی با

شاخص رقابت هیگی درختان همبستگی ندارد. همچنین تنفس میکروبی خاک با سطح مقطع برابرسینه ($P<0.05$) و مساحت تاج ($P<0.01$) دارای ارتباط معنی‌دار و با شاخص رقابت هیگی و بقیهٔ خصوصیات ساختاری توده فاقد همبستگی ($P>0.05$) است. ترسیب کربن خاک در تودهٔ دانه‌زاد با شاخص رقابت و ویژگی‌های ساختاری تحت بررسی در توده ارتباط معنی‌داری ندارد.

جدول ۶- همبستگی خصوصیات زیستی خاک با ویژگی‌های ساختاری در تودهٔ بلوط شاخه دانه‌زاد

Table 6. Correlation of soil biological properties with structural characteristics in the oak high-coppice stand

خصوصیات زیستی خاک Soil biological properties	قطر برابرسینه Diameter at the breast (Cm)	سطح مقطع Basal Area (m2/ha)	سطح تاج Crown Area (m2/ha)	ارتفاع Height (m)	شاخص هیگی Hegye Index
کربن آلی organic carbon	-0.062^{ns}	0.033^{ns}	-0303^{ns}	0.503**	**0.032^{ns}**
وزن مخصوص ظاهری bulk density	-0.062^{ns}	-0.039^{ns}	0.392*	0.428*	**-0.075^{ns}**
کربن زی‌تودهٔ میکروبی microbial biomass carbon	-0.162^{ns}	0.414*	-0.098^{ns}	-0.301^{ns}	**-00.015^{ns}**
نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی microbial biomass Nitrogen	-0.491**	0.378*	0.203^{ns}	0.517**	**-0.086^{ns}**
فسفر زی‌تودهٔ میکروبی microbial biomass Phosphorus	-0.537**	0.662**	-0.523**	-0.523**	**-0.035^{ns}**
تنفس میکروبی Microbial respiration	-0.493**	0.369*	0.488**	0.317^{ns}	**-0.032^{ns}**
ترسیب کربن Carbon sequestration	-0.075^{ns}	-0.020^{ns}	-0.117^{ns}	-0.158^{ns}	**0.009^{ns}**

**معنی‌داری در سطح ۹۹ ٪، *معنی‌داری در سطح ۹۵٪، ^{ns} معنی‌دار نبودن

جدول ۷- همبستگی خصوصیات زیستی خاک با ویژگی‌های ساختاری در تودهٔ بلوط دانه‌زاد

Table 7. Correlation of soil biological properties with structural characteristics in the oak high stand

خصوصیات زیستی خاک Soil biological properties	قطر برابرسینه Diameter at the breast (Cm)	سطح مقطع Basal Area (m2/ha)	سطح تاج Crown Area (m2/ha)	ارتفاع Height (m)	شاخص هیگی Hegye Index
کربن آلی organic carbon	0.512**	0.474**	0.427**	0.418*	-0.234^{ns}
وزن مخصوص ظاهری bulk density	0.169^{ns}	-0.110^{ns}	0.395*	0.240^{ns}	0.169^{ns}
کربن زی‌تودهٔ میکروبی microbial biomass carbon	-0.089^{ns}	0.147^{ns}	0.061^{ns}	-0.080^{ns}	-0.089^{ns}
نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی microbial biomass Nitrogen	-0.270^{ns}	0.198^{ns}	0.196^{ns}	0.213^{ns}	-0.270^{ns}
فسفر زی‌تودهٔ میکروبی microbial biomass Phosphorus	-0.283^{ns}	0.582**	-0.423*	-0.156^{ns}	-0.283^{ns}
تنفس میکروبی Microbial respiration	-0.163^{ns}	0.396*	0.518**	0.302^{ns}	-0.163^{ns}
ترسیب کربن Carbon sequestration	0.273^{ns}	0.239^{ns}	0.464**	0.305^{ns}	-0.323^{ns}

**معنی‌داری در سطح ۹۹ ٪، *معنی‌داری در سطح ۹۵٪، ^{ns} معنی‌دار نبودن

بحث

با توجه به نقش بسیار مهم خصوصیات زیستی خاک در حفظ پایداری اکوسیستم‌های جنگلی و محدود بودن پژوهش‌های انجام‌گرفته در جنگل‌های زاگرس، در این پژوهش برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های زیستی و مؤثر در فرایندهای اکولوژیکی خاک مانند کربن آلی، تنفس میکروبی، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن، فسفر زی‌تودهٔ میکروبی، ترسیب کربن و وزن مخصوص ظاهری خاک بررسی شد. افزون‌بر مقایسهٔ تفاوت‌ها و شباهت‌های این ویژگی‌ها در توده‌های مختلف جنگلی، ارتباط آنها با خصوصیات ساختاری جنگل نیز تحلیل شد. در جنگل سه تودهٔ بلوط شاخه‌زاد، بلوط شاخه- دانه‌زاد و بلوط دانه‌زاد شناسایی شد. به‌طور معمول توده‌های شاخه‌زاد در مناطقی با ارتفاع کم و نزدیک به مناطق مسکونی و اراضی زراعی دیده می‌شوند و با فاصله گرفتن از این مناطق و در ارتفاعات بالاتر به‌تدریج فرم رویش جنگل تغییر می‌کند و به توده‌های دانه‌زاد تبدیل می‌شود. Namiranian et al. (2009) در منطقهٔ سرابله ایلام (در مجاورت منطقهٔ پژوهش) نیز وجود این توده‌ها را تأیید کرده‌اند. سطح تاج‌پوشش نیز به تفکیک در تودهٔ شاخه‌زاد ۱۹۸۶ متر مربع، در تودهٔ شاخه- دانه‌زاد ۳۰۶۲ متر مربع و در تودهٔ دانه‌زاد ۳۱۶۹ متر مربع در هکتار برآورد شد. درحالی که Pourhashemi (2015) برای تودهٔ شاخه‌زاد در جنگل‌های مریوان این مقدار را ۲۷/۵ درصد برآورد کرده‌اند. بی‌گمان مقدار حاصلخیزی و رطوبت خاک از عوامل مؤثر بر رشد جست‌گروه‌ها و تاج‌پوشش آنهاست.

نتایج نشان داد که میانگین مقدار کربن آلی خاک در توده‌های شاخه‌زاد، شاخه-دانه‌زاد و دانه‌زاد به‌ترتیب ۳/۲۸، ۲/۷ و ۱/۸۴ درصد برآورد شد. Brady & Weil (2010) مقدار کربن آلی خاک در جنگل‌ها را بیش از ۲ درصد گزارش کرده‌اند. در جنگل‌های زاگرس نیز مقدار کربن آلی در توده‌های شاخه‌زاد به‌طور معمول بیشتر از توده‌های دانه‌زاد یا شاخه- دانه‌زاد است. این موضوع به تراکم بیشتر درختان، تولید بیشتر زی‌توده و مقدار زیاد لاشبرگ در توده‌های شاخه‌زاد مربوط می‌شود که ورودی مواد آلی به خاک را افزایش می‌دهد. همچنین پوشش تاجی متراکم در این توده‌ها با کاهش دمای سطح خاک و افزایش رطوبت، شرایط مناسب‌تری را برای تجزیهٔ آهسته‌تر مواد آلی و تثبیت کربن فراهم می‌کند (Lang et al., 2023). افزون‌بر این، با توجه به حفاظت جنگل‌های مذکور، استمرار باززایی توده‌های شاخه‌زاد سبب پایداری ورودی‌های آلی و حفظ کیفیت خاک می‌شود که با پژوهش Teimouri et al. (2023) در پایش مقدار کربن آلی در منطقهٔ چری و مورز استان چهارمحال و بختیاری مطابقت دارد. مقدار کربن آلی خاک در توده‌های دانه‌زاد مستقر در ارتفاعات بالاتر کمتر است که ممکن است ناشی از دمای کمتر، فصل رشد کوتاه‌تر، تولید کمتر زی‌توده، فعالیت محدودتر میکروارگانیسم‌ها و فرسایش بیشتر ناشی از شیب زیاد و خاک کم‌عمق باشد.

میانگین وزن مخصوص ظاهری خاک در توده‌های شاخه‌زاد، شاخه- دانه‌زاد و دانه‌زاد به‌ترتیب ۱/۲۷، ۱/۴۰ و ۱/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب برآورد شد. بر اساس نتایج تجزیهٔ واریانس، تودهٔ شاخه‌زاد اختلاف معنی‌داری با دو تودهٔ دیگر دارد. مطابق گزارش Bagheri et al. (2020)، بیشترین مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۶۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب) در توده‌های دانه‌زاد با تاج‌پوشش تنک مشاهده شده است. علت کم بودن وزن مخصوص خاک در توده‌های شاخه‌زاد را می‌توان مقدار بیشتر مواد آلی، نفوذ بهتر ریشه‌ها، سایه‌اندازی مناسب‌تر و کاهش فرسایش دانست.

میانگین کربن زی‌تودهٔ میکروبی کربن (MBC) برای سه تودهٔ بررسی‌شده به‌ترتیب ۱۶۹/۳، ۱۷۶ و ۱۵۸/۹ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک برآورد شد و نتایج تجزیهٔ واریانس اختلاف معنی‌داری را میان توده‌ها نشان داد. مقدار کمتر MBC در تودهٔ دانه‌زاد

در ارتفاعات بالا، احتمالاً به‌دلیل کمبود کربن آلی، عمق کم خاک، تهویهٔ نامناسب، رژیم حرارتی و رطوبتی نامطلوب و فرسایش بیشتر است. Joergensen & Emmerling (2006) نیز گزارش کرده‌اند که کربن زی‌تودهٔ میکروبی به‌شدت به مقدار و کیفیت مواد آلی ورودی به خاک وابسته است.

میانگین زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن (MBN) در توده‌ها به‌ترتیب ۴۴/۱۸، ۱۱۳ و ۸۳/۳۷ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک برآورد شد. نتایج حاکی از اختلاف معنی‌دار بین توده‌هاست. براساس پژوهش Bazgir et al. (2020) مقدار آن در جنگل‌های زاگرس تحت تأثیر اقلیم، نوع پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک در بازه‌ای به‌نسبت وسیع تغییر می‌کند.

میانگین فسفر زی‌تودهٔ میکروبی فسفر (MBP) نیز برای توده‌های شاخه‌زاد، شاخه- دانه‌زاد و دانه‌زاد به‌ترتیب ۱۲/۷، ۱۵ و ۸/۸۲ میلی‌گرم P در کیلوگرم خاک محاسبه شد. کمترین مقدار مربوط به تودهٔ دانه‌زاد است که اختلاف معنی‌داری با دو تودهٔ دیگر دارد. بر اساس پژوهش Brookes et al. (1984)، مقدار MBP در جنگل‌ها به‌طور معمول بین ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است و عوامل متعددی همچون نوع جنگل، مقدار مادهٔ آلی و رطوبت خاک بر آن اثرگذارند.

یکی دیگر از خصوصیات زیستی مهم در جنگل تنفس میکروبی خاک است که هم شاخصی برای پویایی زیستی خاک است و هم اهمیت زیادی در مدیریت منابع طبیعی، مدل‌سازی کربن، مقابله با تغییر اقلیم و حفاظت از اکوسیستم‌های جنگلی دارد. در این پژوهش مقدار تنفس میکروبی خاک در توده‌های بررسی‌شده برای توده‌های شاخه‌زاد، شاخه- دانه‌زاد و دانه‌زاد به‌ترتیب ۰/۱۷۲، ۰/۱۶ و ۰/۱۲۹ میلی‌گرم CO_2 بر گرم خاک در روز است که تودهٔ شاخه‌زاد دارای بیشترین مقدار و تودهٔ دانه‌زاد دارای کمترین مقدار تنفس میکروبی خاک است. به نظر می‌رسد به‌واسطهٔ استقرار توده‌ها در امتداد گرادیان‌های ارتفاعی و کاهش تنفس میکروبی در امتداد آنها مهم‌ترین عامل مؤثر بر آن مقدار دمای خاک است. Davidson & Janssens (2006) در پژوهشی اذعان می‌کنند که افزایش رطوبت و دمای خاک به‌طور معمول موجب افزایش فعالیت آنزیمی میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه افزایش تنفس می‌شود. از دیگر عوامل مؤثر نیز می‌توان به مقدار کربن آلی خاک اشاره کرد (Cotrufo et al., 2013) که همان‌گونه که پیشتر ذکر شد، تودهٔ دانه‌زاد دارای مقادیر کمتری از کربن آلی خاک نسبت به دو تودهٔ دیگر است (Maleki et al., 2023). در پژوهشی، تنفس میکروبی خاک در پنج تیپ جنگلی در منطقهٔ آرمرده بانه در چهار فصل سال اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که نرخ تنفس میکروبی خاک به‌طور معنی‌داری در دورهٔ مرطوب (بهار) بیشتر است. تیپ ویول خالص با میانگین ۰/۰۹۰ میلی‌گرم بر گرم خاک در روز در طول سال بیشترین مقدار و تیپ مازوی خالص با مقدار ۰/۰۷۸ میلی‌گرم بر گرم خاک در روز کمترین مقدار تنفس میکروبی را داشتند. مقدار ترسیب کربن نیز به‌ترتیب ۶۲/۸، ۴۶/۸ و ۳۲/۲ تن در هکتار برای توده‌های شاخه‌زاد، شاخه- دانه‌زاد و دانه‌زاد محاسبه شد و نتایج تجزیهٔ واریانس نیز اختلاف معنی‌دار توده‌ها با همدیگر را نشان می‌دهد. Mirzaee et al. (2013) مقدار ترسیب کربن در نمونه‌هایی با عمق ۳۰ سانتی‌متر را ۱۱۷/۷۱ تن در هکتار برآورد کردند. عوامل مختلفی از جمله مقدار کربن آلی خاک و زی‌تودهٔ میکروبی خاک و نوع پوشش گیاهی خاک در مقدار ترسیب کربن خاک مؤثر است (Prescott 2010; Vesterdal et al., 2013) دمای کم ارتفاعات فوقانی جنگل نیز می‌تواند بر مقدار ترسیب کربن تأثیرگذار باشد (Jobbagy & Jackson, 2000).

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش بر اساس مقادیر کمّی به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که خصوصیات زیستی خاک می‌توانند شاخص‌هایی کارآمد در پایش سلامت و پایداری اکوسیستم‌های جنگلی باشند. در این زمینه، اجرای راهکارهای مدیریتی مانند جلوگیری

از چرای دام در مناطق حساس، اثر مهمی در حفظ و بهبود کیفیت زیستی خاک دارد. بررسی روابط بین ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی و خصوصیات زیستی خاک بیانگر آن است که واکنش این ویژگی‌ها در توده‌های مختلف یکسان نیست و به نوع توده وابسته است.

نتایج نشان داد که در توده‌های دانه‌زاد و شاخه‌–دانه‌زاد، مقدار کربن آلی خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مساحت تاج درختان قرار دارد، درحالی که در توده‌های شاخه‌زاد چنین رابطه‌ای مشاهده نشد. این تفاوت می‌تواند بیانگر نقش متفاوت ساختار تاج و الگوی استقرار درختان در تنظیم ورودی مواد آلی به خاک باشد. افزون‌بر این، زیست‌تودهٔ میکروبی نیتروژن و فسفر در توده‌های شاخه‌–دانه‌زاد تأثیر بیشتری بر ویژگی‌های ساختاری توده نشان داد که احتمالاً ناشی از تفاوت در ماهیت گونه‌ها، شرایط رویشگاهی و نظام‌های جنگل‌شناسی حاکم بر این توده‌هاست.

در مجموع، اختلاف معنی‌دار مشاهده‌شده در خصوصیات زیستی خاک میان توده‌های مختلف جنگلی زاگرس را می‌توان حاصل برهم‌کنش پیچیده‌ای از منشأ رویشی توده‌ها (شاخه‌زاد یا دانه‌زاد)، ساختار افقی و عمودی توده، کیفیت و کمیت ورودی لاشبرگ و نیز شدت و سابقهٔ بهره‌برداری انسانی دانست. این یافته‌ها بر اهمیت توجه همزمان به ساختار توده و ویژگی‌های زیستی خاک در مدیریت پایدار جنگل‌های زاگرس تأکید می‌کند. نتایج این پژوهش در کنار گزارش‌های بقیهٔ پژوهش‌ها مانند Haidari et al. (2022) تأکید می‌کند که شناخت دقیق خصوصیات زیستی خاک می‌تواند اثر مهمی در مدیریت پایدار جنگل‌های زاگرس داشته باشد. پیشنهاد می‌شود که پایش‌های بلندمدت برای بررسی تغییرات ویژگی‌های زیستی تحت مدیریت‌های مختلف جنگل اجرا شود و پژوهش‌های جامع‌تری شامل فعالیت آنزیمی، نسبت Cmic/Nmic و تحلیل‌های چندمتغیرهٔ PCA ، CCA برای تبیین روابط میان خصوصیات زیستی خاک و ساختار جنگل انجام گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان مراتب تشکر و امتنان خود را از همهٔ کسانی که در فرایند برداشت و گردآوری داده‌های میدانی و آزمایشگاهی این پژوهش همکاری مؤثر داشته‌اند اعلام می‌دارند. به‌طور ویژه از همکاران ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمانشاه و نیز مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های کرمانشاه و کردستان بابت کمک در پیشبرد این پژوهش قدردانی می‌شود.

References

Akhavan, R., Khanhasani, M., & Khodakarami, Y. (2018). Spatial patterns and inter-specific competition of three oak species in the Baneh forests of western Iran. *Forest and Wood Products*, *71*(2), 149-159. (In Persian)

Asghari, K., Jalilvand, H., & Asadi, H. (2023). The impact of reforestation with broad-leaved and coniferous species on soil properties and carbon storage (Case study: Kolet Forest). *Environmental Sciences, 21*(4), 99-112. (In Persian)

Bagheri, S., Zare-Maivan, H., Heydari, M., & Kazempour Osaloo, S. (2020). Relationship between broadleaved mixed forest understory species groups with soil and elevation in a semi-arid Persian oak (*Quercus brantii* L.) *ecosystem. Caspian Journal of Environmental Sciences*, *18*(2), 157-170. (In Persian)

Balabandi, H., Abrari Vajari, K., & Shabanian, N. (2024). Effects of different silvicultural systems on oil characteristic indices of beech (*Fagus orientalis* L.) forest stands (Case study: Alandan forest, Mazanrdan). *Journal of Plant Ecosystem Conserva*tion, *12*(24), 136-150. (In Persian)

Bazgir, M., Menati, T., Rostaminya, M., & Mahdavi, A. (2020). Soil microbial biomass and activity of oak forest in three different regions in Ilam province. *Journal of Sol Biology, 8*(2), 155-164. (In Persian)

Brady, N.C., & Weil, R. (2010). *Elements of the Nature and Properties of Soils.* 3rd Edition, Pearson Education Inc, Upper Saddle River, NJ, 396-420.

Brookes, P., Pewlson, D., & Jenkinson, D. (1984). Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry, 16*(2), 169-175.32.

Bugmann, H. (1997). Sensitivity of forest in the european Alps to future climatic change. *Climate Research, 8,* 35-44.

Cotrufo, M.F., Wallenstein, M.D., Boot, C.M., Denef, K., & Paul, E. (2013). The M icrobial E fficiency-M atrix S tabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter. *Global change biology*, *19*(4), 988-995.

Davidson, E., & Janssen, L. (2006)**.** Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, *440*(7081), 165-173.

Demir, M., Makineci, E., & Yilmaz, E. (2007). Investigation of timber harvesting impacts on herbaceous cover, forest floor and surface soil properties on skid road in an oak (*Quercus petrea* L.) stand. *Building and En*vironment, *42*(3), 1194-1199.

Esfandiari, H., Sefidi, K., Ghavidel, A., Esmaeilpour, M., Amanzadeh, B., & Sadeghi, S.M.M. (2023). Effect of forestry practices on the biological characteristics of soils (Case study: Beech Forest of Asalem). *Water and Soil Management and Modeling*, *3*(4), 16-28. (In Persian)

Farooq, T.H., Chen, X., Shakoor, A., Rashid, M.H.U., Kumar, U., Alhomrani, M., & Yan, W. (2022). Unraveling the importance of forest structure and composition driving soil microbial and enzymatic responses in the subtropical forest soils. *Forests*, *13*(10), 1535.

Hegyi, F. (1974). A simulation model for managing jack-pine stands. In: Fries, J. (Ed.), Growth Models for Tree and Stand Simulation. Royal College of Forestry, Stockholm, 74–90P.

Jenkinson, D.S., & Powlson, D.S. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry, 8*(3), 209-213.

Jobbagy, E., & Jackson, R. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications, 10*(2), 423-436.

Habashi, H. (2015). Microbial respiration and microbial biomass C relationship with soil organic matter in different types of mixed beech forest. *Forest Research and Development*, 1(2), 135-114. (In Persian)

Hamzeh'ee, B., Khanhasani, M.S., Khodakarami, Y., & Peykani, M.N. (2008). Floristic and phytosociological study of Chaharzebar forests in Kermanshah. *Journal of Forest and Poplar Research*, *16*(2), 211-229. (In Persian)

Hans, p. (2009). Forest dynamics, growth and yield, 671p.

Haidari, M., Teimouri, M., Pourhashemi, M., & Alizadeh, T. (2022). Study Changes in Biological Indicators in Forest Stands with Different Structure in Kurdistan Province. *Ecology of Iranian Forest*, *10*(20), 64-72. (In Persian)

Hernandez, R., Koohafkan, P., & Antoine, J. (2004). Assessing Carbon Stocks and modeling win-win Scenarios of carbon sequestration through land-use change, 166p.

Hedley, M. J., Stewart, J. W. B., & Chauhan, B. S. (1982). Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Science Society of *America Journal*, 46(5), 970-976.

Hegyi, F. (1974). A simulation model for managing jack-pine stands. In: Fries, J. (Ed.), Growth Models for Tree and Stand Simulation. Royal College of Forestry, Stockholm, 74–90P.

Jangid, K., Williams, M.A., Franzluebbers, A.J., Schmidt, T.M., Coleman, D.C., & Whitman, W.B. (2011). Land-use history has a stronger impact on soil microbial community composition than aboveground vegetation and soil properties. *Soil Biology & Biochemistry*, *43*(10), 2184–2193.

Johnson, D.W., & Curtis, P.S. (2001). Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. Forest Ecology and Management, *140*, 227-238.

Kooch, Y., & Feizabadi, M.T. (2018). Study on soil detritivors and microbial activity in understory of broad-leaved pure and mixed stands in Caspian forests. *Iranian Journal of Forest*, *10*(1), 89-100. (In Persian)

Lang, A.K., LaRue, E.A., Kivlin, S.N., Edwards, J.D., Phillips, R.P., Gallion, J., & Fei, S. (2023). Forest structural diversity is linked to soil microbial diversity. *Ecosphere*, *14*(11), 1-16.

Paul, E.A. (2014). *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (4th Edition). Academic Press**.**

Maleki, S., Pilehvar, B., & Mahmoodi, M.A. (2023). Response of soil microbial respiration to environmental factors of temperature and moisture in five forest types of Zagros (case study: Armardeh Baneh forests). *Forest Research and Development*, *9*(2), 275-289P. (In Persian)

Mazaheri, M., & Bazgir, M. (2019). The effect of climate and land uses on soil microbial biomass and activities. *Iranian Journal of Forest, 11*(2), 179-194. (In Persian)

Mehrnoosh, S., Beheshti Ale Agha, A., Rakhsh, F., Pourreza, M., & Safari Sinegani, A.A. (2022). Comparison of soil biological activity in forest with coniferous and broadleaf trees in Biston region of Kermanshah. *Water and Soil*, *36*(5), 593-610. (In Persian)

Meurisse, R.T., Robbie, W.A., Niehoff, J., & Ford, G. (1991). Dominant soil formation processes and properties in western-montane forest types and landscapes—some implications for productivity and management. Proceedings—management and productivity of western-montane forest soils. Gen. Tech. Rep. INT-280. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 7-19.

Mirzaei, J., Seidi, F., Sobhan Ardakani, S., & Bazgir, M. (2013). Effects of native and exotic tree plantation on carbon sequestration at arid areas of Zagros region (Case study: Abgarm forest park, Dehloran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *21*(3), 506-516. (In Persian)

Namirian, M., Maleknia, R., & Faghei, J. (2009). Investigation of factors affecting the spatial distribution of coppice and seed-origin forest stands in traditional forestry of the Central Zagros (Case study: customary management systems of Sarableh and Cheshmeh Khazaneh, Ilam Province). *Journal of Forest and Wood Products, Faculty of Natural Resources, 62*(4), 429–441. (In Persian)

Paul, E.A. (2014). Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry (4th Edition). Academic Press**.**

Pourhashemi, M. (2015). Structural characteristics of oak coppice stands of Marivan Forests. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *27*(5), 766-776. (In Persian)

Prescott, C.E., & Grayston, S.J. (2013). Tree species influence on microbial communities in litter and soil: current knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*, *309*, 19–27.

Prescott, C.E. (2010). Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils. *Biogeochemistry, 101*, 133–149.

Rafiee Jazi, F., Habashi, H., & Rahmani, R. (2021). Annual variability of soil, microbial, and root respiration rates in a mixed oriental beech-hornbeam stand (Case study: Shast-Kalateh forest of Gorgan). *Forest and Wood Products*, *74*(1), 43-55. (In Persian)

Samadi, B., Rezaei, A., & Valizadeh, M. (2004). Statistical designs in agricultural research. Tehran, Iran, 764p. (In Persian)

Sparling, G.P., & West, A.W. (1988). A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and 14C labelled cells. *Soil Biology and Biochemistry*, *20*(3), 337-343.

Soleymani, N., Abrarivajaari, K., & Pourreza, M. (2025). Eation of competition and structural characteristics of trees and sprout clump crown in Iranian oak stands (*Quercus brantii* Lindl Var.*persica*) Zagros forests (case study of Kalaje forests, Kermanshah province). *Journal of Plant Ecosystem Conservation, 12*(25) 1-17. (In Persian)

Teimouri, M., Alizadeh, T., Iranmanesh, Y., Sadgezdeh Hallaj, M.H., & Pourhashemi, M. (2023). The eation of changes in the chemical and biological properties of soil in Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests of Chaharmahal & Bakhtiari Province, Iran. *Iranian Journal of Forest & Poplar Research*, *31*(1). (In Persian)

Vance, E.D., Brookes, P.C., & Jenkinson, D.S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, *19*(6), 703-707.

Vesterdal, L., Clarke, N., Sigurdsson, B., & Gundersen, P. (2013). Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management, 309*(1), 4-18.

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.

Wardle, D.A. (2006). The influence of biotic interactions on soil biodiversity. *Ecology Letters, 9*(7), 870–886.

Ungaro, F., Maienza, A., Ugolini, F., Lanini, G.M., Baronti, S., & Calzolari, C. (2022). Assessment of joint soil ecosystem services supply in urban green spaces: A case study in Northern Italy. *Urban Forestry & Urban Greening*, *67*, 127455.

Iranian Journal of Forest
Vol. 18, No. 2, Summer 2026
pp. 201-217
Research Article

DOI: 10.22034/ijf.2026.556918.2083
CC BY 4.0

Assessment of Changes in Soil Biological Properties and Their Effects on the Structure of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.) Stands in the Zagros Forests (Case Study: Ghalajeh Forests, Kermanshah Province)

N. Soleymani[1], K. Abrarivajari [2*], and M. Pourreza[3]

[1]Ph.D. student of Silviculture and Forest Ecology, Forestry Dept. of Natural Resources Faculty, Lorestan University, khoramabad. Iran.
[2]Prof., Dept. of Forestry, Forestry Dept. of Natural Resources Faculty, Lorestan University, khoramabad, Iran.
[3]Assistant Prof., Dept. of Forestry, Forestry Department of Natural Resources Faculty, Razi University, Kermanshah, Iran.

(Received: 5 November 2025; Accepted: 21 December 2025)

Abstract

Introduction: The study of forest soils in ecology and silviculture is particularly important due to the critical role of soil in the biological, physical, and chemical processes of forest ecosystems. Soil, as the primary substrate for the growth of trees and other plants, greatly influences forest health, biodiversity, and sustainability. Detailed investigation of forest soil characteristics can enhance understanding of the interactions between soil, plants, and other living organisms, providing guidelines for more effective forest management.

This research aimed to investigate some key properties influencing soil biological processes, to identify differences and similarities among them in Persian oak stands, and to examine the relationships of these important properties with the structural characteristics of protected forests in the Ghalajeh mountainous region of Kermanshah Province.

Materials and Methods: Three types of forest Coppice stand, Coppice – High stand, and High stand—were randomly selected. In each stand, three one-hectare plots were sampled. Within each plot, structural characteristics of all trees and sprout clump were recorded, including species name, growth form, and number of shoots, diameter at breast height (DBH), tree height, dominant shoot height, and two perpendicular crown diameters. "Then, in order to examine the effects of competition, in each sample plot, 10 target trees and adjacent trees with the minimum distance between them were selected, and all their structural attributes were recorded. To obtain soil characteristics, four soil samples were taken from the four cardinal directions of each competing tree up to a depth of 15 cm, and then combined. Accordingly, 30 composite samples were prepared for each stand and a total of 90 samples for all stands, which were then transferred to the laboratory. The competition index for the target and neighboring trees was calculated using the Hegyi method. Organic carbon was measured using the Walkley and Black method, bulk density using the cylinder method, microbial respiration using the closed-jar method, and microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus were determined using the fumigation method. To compare the stands in terms of soil biological properties, one-way analysis of variance (ANOVA) was applied. The relationships between variables were eated using Pearson's correlation coefficient, and Duncan's multiple range test at the 5% significance level was used for grouping the stands.

Results: The results showed that soil organic carbon in the Coppice stand stand (3.28%) was significantly higher than in other stand types. The mean bulk density in Coppice, Coppice – High stand, and High stands was 1.31, 1.4, and 1.41 g/cm³, respectively. The amounts of microbial biomass carbon (MBC) were 169.3, 176, and 158.9 mg C/kg soil, microbial biomass nitrogen (MBN) was 44.18, 113, and 83.37 mg N/kg soil, and microbial biomass phosphorus (MBP) was 12.7, 15, and 8.82 mg P/kg soil, respectively. Soil microbial respiration was 0.172, 0.16, and 0.129 mg CO_2/g soil, and soil carbon sequestration was 643, 468.01, and 391.8 kg/ha for them, respectively. ANOVA results indicated significant differences among Persian oak stands. Analysis of correlations between key forest structural parameters and soil biological properties showed that their interactions varied among stands.

Conclusion: The results of this study indicated that the biological properties of soil in Persian oak forest stands show significant differences. These differences may arise from variations in stand characteristics, including tree morphology, sprout-group structure, and differing silvicultural systems. The assessment of structural attributes further revealed that the influence of these factors varies according to the ecological nature of each stand. For example, in seed-origin and seed–sprout-origin stands, soil organic carbon was significantly affected by tree crown area, whereas in coppice stands, no significant relationship was observed between these variables.

Keywords: Hegyi competition index, Persian oak, Soil biological properties, Stand structure, Zagros forest.

[*]Corresponding author Tel: 09113441571 Email: kambiz_abrari2003@yahoo.com