مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال هفدهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۴
ص ۳۰۸-۲۹۳
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2025.446800.1978
CC BY 4.0

تغییرات ویژگی‌های زیستی خاک در توده‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) با شدت‌های مختلف خشکیدگی

نسیم قلاوند[۱]، مسعود بازگیر[۲*]، مهناز کرمیان[۳] و محمود رستمی‌نیا[۲]

[۱]دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب و خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران
[۲]دانشیار، گروه مهندسی آب و خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران
[۳]دکتری علوم جنگل، گروه علوم جنگل، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵)

چکیده

مقدمه: جنگل‌های زاگرس یکی از پنج منطقهٔ اکولوژیکی ایران و از گسترده‌ترین رویشگاه‌های بلوط در جهان است. این جنگل‌ها در سال‌های اخیر با پدیدهٔ خشکیدگی بلوط ایرانی مواجه شده است که هر روز بر وسعت آن افزوده می‌شود. این تحقیق با هدف مقایسهٔ برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک و محاسبهٔ شاخص کیفیت خاک در درجه‌های مختلف خشکیدگی تاج درختان بلوط ایرانی در بخشی از رویشگاه طبیعی آنها در زاگرس جنوبی و استان ایلام انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها: با توجه به اهداف پژوهش، نمونه‌برداری خاک در قالب طرح فاکتوریل [چهار طبقهٔ خشکیدگی تاج (زیر ۱۵ درصد، ۳۵-۱۵ درصد، ۶۰-۳۵ درصد، بیشتر از ۶۰ درصد) × دو فرم رویشی (بلوط دانه‌زاد و بلوط شاخه‌زاد) × دو عمق نمونه‌برداری (۱۰-۰ سانتی‌متر و ۳۰-۱۰ سانتی‌متر) × سه تکرار] انجام گرفت. از تجزیهٔ واریانس دوطرفه (GLM) برای بررسی اثرهای اصلی طبقات خشکیدگی، فرم رویشی، عمق نمونه‌برداری و همچنین اثرهای متقابل بین آنها بر مشخصه‌های خاک، استفاده شد و مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد و نرم‌افزار SPSS 23 انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج تجزیهٔ واریانس دوطرفه نشان داد که اثر خشکیدگی، فرم گونه، عمق نمونه‌برداری و اثرهای متقابل آنها بر تنفس برانگیخته و آنزیم فسفاتاز قلیایی معنادار نیست، اما بر نیتروژن کل، آنزیم اوره‌آز، کربن زی‌تودهٔ میکروبی و بهرهٔ میکروبی معنی‌دار است. مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت خشکیدگی درختان، شاخص‌های حاصلخیزی و کیفیت خاک مانند کربن آلی، نیتروژن کل، تنفس پایه و آنزیم اوره‌آز کاهش پیدا می‌کنند، به‌طوری که مقدار کربن آلی خاک درختان سالم و درختان خشکیده به‌ترتیب ۱/۵ و ۰/۷۴ درصد بود. نیتروژن کل از خاک درختان سالم به خشکیدهٔ بلوط دانه‌زاد ۰/۱۶ به ۰/۰۶ درصد و در بلوط شاخه‌زاد ۰/۱۲ به ۰/۰۷ درصد کاهش یافت. تنفس پایه از ۱۹/۵۸ به ۱۵/۹۵ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر گرم، آنزیم اوره‌آز از ۱۳۳/۵۶ به ۷۵/۴۲ میکروگرم آمونیوم آزادشده در هر گرم خاک بلوط دانه‌زاد و ۱۹۹/۰۸ به ۵۰/۴۰ میکروگرم آمونیوم آزادشده در هر گرم خاک در بلوط شاخه‌زاد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج، در تحقیق حاضر نمی‌توان الگوی معینی برای تمام مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده (مانند کربن زی‌تودهٔ میکروبی و بهرهٔ میکروبی) پیدا کرد، اما با توجه به بیشتر بودن کربن آلی، نیتروژن کل، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، بهرهٔ میکروبی و شاخص کیفیت خاک در فرم رویشی دانه‌زاد، باید به‌منظور مقابله با پدیدهٔ خشکیدگی بلوط ایرانی و اثر آن بر حاصلخیزی خاک، با جنگلکاری و دیگر اقدامات مدیریتی این فرم رویشی بیشتر مدنظر قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: ایلام، بلوط دانه‌زاد، بلوط شاخه‌زاد، خشکیدگی تاج، شاخص کیفیت خاک، عمق خاک.

* نویسنده مسئول
شماره تماس: ۰۸۴۵۹۲۴۱۰۰۰
ایمیل: m.bazgir@ilam.ac.ir

مقدمه

جنگل‌های ایران ۷/۴ درصد از مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهند و جنگل‌های زاگرس با توزیع گسترده در دامنه‌های زاگرس در حدود ۴۰ درصد این جنگل‌ها را شامل می‌شوند و نقش مهمی در حفاظت از آب و خاک و جلوگیری از بیابان‌زایی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایفا می‌کنند (Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi, 2013). در این جنگل‌ها سه گونهٔ بلوط *Quercus brantii* Lindl.، *Quercus libani* Oliv. و *Quercus infectoria* Oliv. وجود دارند که ۸۵ درصد پوشش گیاهی را تشکیل می‌دهند و گاهی با گونه‌های پسته وحشی (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام کوهی (*Amygdalus reuteri* Boiss.) آمیخته می‌شوند. گونهٔ بلوط ایرانی در دوران هولوسن غالب بوده و تا کنون نیز پایدار باقی مانده است. جنگل‌های زاگرس از دیرباز برای تولید هیزم جوامع روستایی به‌طور سنتی و به روش شاخه‌زاد مدیریت می‌شدند که این راهبرد موجب تشکیل ساختار شاخه‌زاد در بیشتر از ۹۰ درصد جنگل‌های خشک زاگرس شده است (Erfanifard et al., 2009; Pourreza et al., 2014; Sagheb-Talebi et al., 2014). در نتیجه در طی سالیان طولانی افزون‌بر شکننده‌تر شدن ساختار توده‌ها، حاصلخیزی خاک نیز کاهش می‌یابد و مجموعهٔ این عوامل کاهش توان تولیدی جنگل را در پی دارد (Mehdifar et al., 2021).

در سال‌های اخیر خشکیدگی‌های مختلفی در جنگل‌های زاگرس به وجود آمده که هر روز بر وسعت آن اضافه شده و در بسیاری از مناطق سبب نابودی درختان شده است، به‌طوری که در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳، سطحی معادل ۲۵ درصد این جنگل‌ها با وسعت ۱ میلیون و ۳۵۰ هزار هکتار در گزارش‌های مربوط به آمارهای رسمی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور به‌عنوان گسترهٔ زوال بلوط ذکر شده است (Attarod et al., 2016). Karamian & Mirzaei (2020) با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به‌ترتیب خشکسالی و تغییر اقلیم، آفات و بیماری‌ها، عوامل انسانی و دام، آلودگی هوا، کیفیت رویشگاه، مشخصات کمی و کیفی درخت و ویژگی‌های جنگل‌شناسی درختان را مهم‌ترین عوامل مؤثر بر خشکیدگی بلوط ایرانی در استان ایلام بیان کردند؛ اما نوسان عوامل متعددی در بروز پدیدهٔ خشکیدگی، تعیین اثرگذارترین عامل را مشکل ساخته است. Hosseini et al. (2012) کاهش ۱۵/۷ درصد از تراکم اشکوب درختی و درختچه‌ای را بر اثر بحران زوال بلوط در استان ایلام که ۹۷/۷ درصد آن مربوط به بلوط ایرانی بوده است گزارش کردند. Imanyfar & Hasanlou (2017) وسعت و شدت پدیدهٔ زوال بلوط در جنگل‌های شهرستان ملکشاهی را با استفاده از ماهوارهٔ لندست بررسی کرده و اعلام کردند که ۱۶ درصد مناطق جنگلی در وضعیت سالم است و ۵۸ درصد خشکیدگی خفیف و ۲۶ درصد نیز خشکیدگی شدید دارند. با توجه به آنچه گفته شد، استان ایلام به‌عنوان یکی از استان‌های واقع در منطقهٔ رویشی زاگرس از نظر خشکیدگی درختان بلوط در شرایط بحرانی قرار دارد.

درختان و تاج‌پوشش آنها با تولید مقادیر مختلفی از مواد آلی، لاشبرگ‌هایی با ترکیبات شیمیایی متفاوت و ترشحات ریشه‌ای گوناگون بر محیط اطراف (اقلیم و خاک) اثر می‌گذارند و متقابلاً از محیط نیز می‌توانند تأثیر بپذیرند (Mazza et al., 2021). Owliaie et al.(2011) افزایش معنی‌دار کربن آلی، نیتروژن کل و دیگر عناصر غذایی (فسفر، پتاسیم، هدایت الکتریکی، آهن، منگنز و روی) را از اثرهای درخت بلوط ایرانی بر خاک بیان کردند که در پژوهش Karamian et al. (2023) مقدار دو عنصر کربن آلی و نیتروژن در بلوط دانه‌زاد بیشتر از بلوط شاخه‌زاد به‌دست آمد. از طرفی خاک از مهم‌ترین عوامل استقرار، حفاظت و احیای درختان است که همهٔ فرایندهای جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان تحت تأثیر مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه قرار

می‌گیرد و در صورت کاهش رطوبت، تنش خشکی به‌صورت مستقیم با بر هم زدن روابط آبی گیاه یا به‌صورت غیرمستقیم با شدت بخشیدن به دیگر تنش‌ها (García -Tejera et al., 2017) مقدار جذب عناصر غذایی را تغییر خواهد داد و در برخی موارد روند جذب آنها را منفی خواهد کرد (Chandler & chappell, 2008) در نتیجه ارتباط تنگاتنگ خاک و درخت سبب شده که نتوان یک مؤلفه را بدون مؤلفهٔ دیگر بررسی کرد، به‌طوری که Shahrezei et al. (2021) بیشترین مقدار کربن آلی و نیتروژن خاک را در درختان سالم بلوط ایرانی نسبت به درختان خشکیده و Soleimani & Pourhashemi. (2020) خشکیدگی شدید درختان بلوط ایرانی در شرایط کاهش نیتروژن و مادهٔ آلی خاک را گزارش دادند، اما Azimnejad et al. (2021) نبود ارتباط معنی‌دار ویژگی‌های خاک با خشکیدگی درختان بلوط ایرانی را نتیجه گرفتند.

ضرورت حفظ کیفیت خاک موجب استفاده از معیارهای مختلفی برای ارزیابی آن شده است، اما تغییر برخی ویژگی‌های خاک ممکن است کند و تدریجی باشد که برای ارزیابی کیفیت خاک مناسب نیستند. با توجه به حساسیت بسیار زیاد جوامع میکروبی و عملکردهای مرتبط با چرخهٔ عناصر غذایی به تغییرات شرایط ریز اقلیمی (Sardans & Peñuelas, 2005; Curiel Yuste et al., 2007; Curiel Yuste et al., 2017)، برخی از ویژگی‌های زیستی و بیوشیمیایی خاک شامل تنفس پایه و برانگیخته، زی‌توده‌های میکروبی، سهم میکروبی و آنزیم‌های خاک که با تراکم و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک و تجزیهٔ ترکیبات آلی مرتبط هستند (Gil-Sotres et al., 2005; Gorobtsova et al., 2016; Allegrini et al., 2017) برای تعیین اثر متغیرهای محیطی و پاسخ اکوسیستم‌ها به تنش‌ها (Muñoz-Rojas, 2018) استفاده می‌شوند. Shahrezei et al.(2021) بیشترین تنفس پایه و برانگیخته را در خاک درختان سالم بلوط ایرانی نسبت به درختان خشکیده گزارش دادند. در پژوهش Karamian et al. (2023) شاخص کیفیت خاک بلوط دانه‌زاد نسبت به بلوط شاخه‌زاد بیشتر بود که دلیل آن را پتانسیل بیشتر بلوط دانه‌زاد در ایجاد یک میکرواقلیم مرطوب‌تر از نظر رطوبت و عناصر غذایی بیان کردند که سبب افزایش فعالیت‌های زیستی خاک مثل تنفس (پایه و برانگیخته)، کربن زی‌تودهٔ میکروبی و آنزیم فسفاتاز قلیایی شده است.

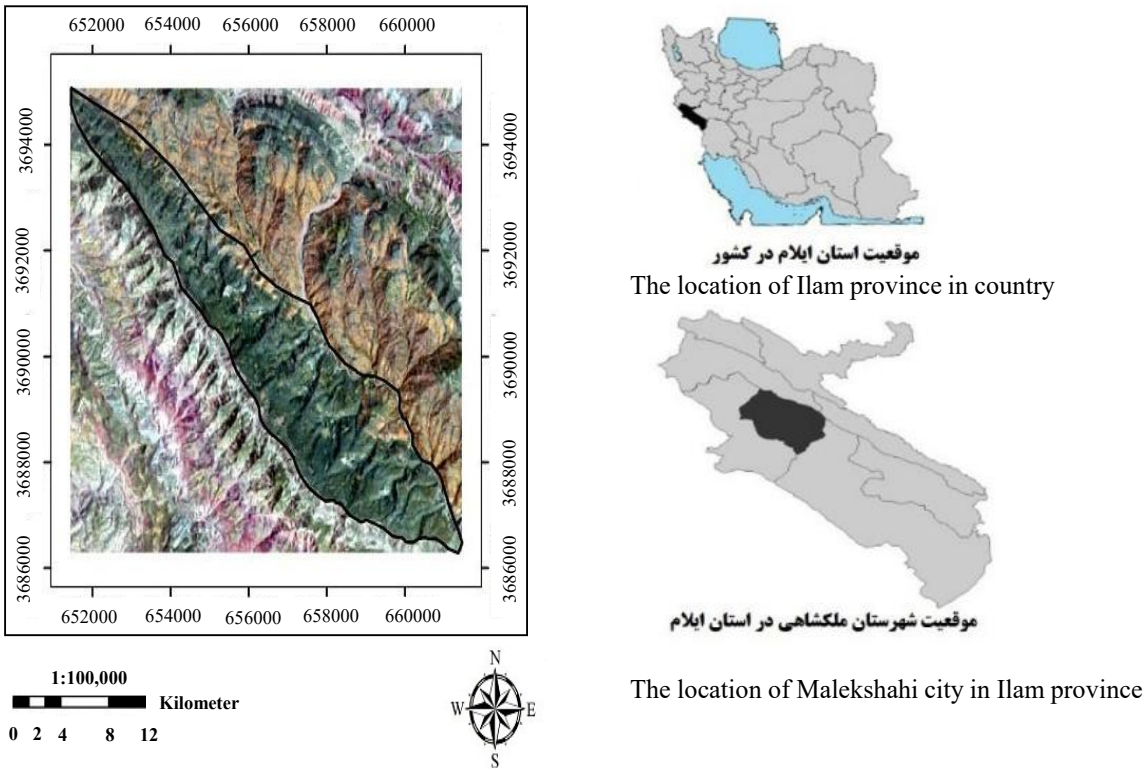
با توجه به اهمیت جنگل‌های زاگرس و وضعیت فعلی آن انتظار می‌رود که افزایش شدت خشکیدگی درختان و خاک تأثیر زیادی بر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک داشته باشد. همان‌طور که بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند، در سراسر جهان هنوز ابهامات زیادی دربارهٔ مقدار خشکیدگی و مرگ‌ومیر درختان وجود دارد که بر عملکرد خاک و توانایی آنها در جداسازی عناصر غذایی تأثیر می‌گذارد. این موضوع به‌دلیل وجود موجودات زندهٔ خاک (Schlesinger et al., 2016) و عملکرد خاک (Curiel Yuste et al., 2007; Chen et al., 2011; Moyano et al., 2012) نسبت به تغییراتی مانند تغییرات اقلیمی، مقدار آب در دسترس، عناصر غذایی و ... است (Sardans & Peñuelas, 2005; Xu et al., 2016; Curiel Yuste et al., 2017). تا کنون پژوهش‌هایی برای درک فراوانی و شدت خشکیدگی درختان انجام گرفته که در برخی موارد به‌علت همپوشانی خشکیدگی درختان و شیوع عوامل بیماری‌زا این موارد را با هم در نظر گرفته‌اند، اما دیگر اثرهای بالقوهٔ خشکیدگی درختان مانند اثر بر اکوسیستم‌های خاک در آنها حذف شده است؛ از این‌رو عملکرد این وضعیت بر اکوسیستم‌های خاکی هنوز هم ناشناخته است (Anderegg et al., 2012). بنابراین پر کردن این شکاف اطلاعاتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا خشکیدگی درختان بلوط و اثر آن بر اکوسیستم‌های جنگلی نیمه‌خشک در مناطق زاگرس به‌ویژه استان ایلام، به

پدیدهٔ نگران‌کننده‌ای تبدیل شده است. پژوهش حاضر، ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک زیراشکوب دو فرم رویشی بلوط (دانه‌زاد و شاخه‌زاد) در چهار طبقهٔ خشکیدگی مختلف را با هدف درک اثر خشکیدگی بر فعالیت میکروبی، شاخص کیفیت و حاصلخیزی خاک بررسی کرده است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

این منطقهٔ جنگلی، بخشی از جنگل‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) بیوره به مساحت ۴۱۶۷ هکتار در شهرستان ملکشاهی استان ایلام با مختصات جغرافیایی "۱۵ ´۱۶ °۴۶ تا "۴۸ ´۵۲ °۴۶ طول شرقی و " ۴ ´۰۵ °۳۲ تا "۵۴ ´۳۰ °۳۳ عرض شمالی است. میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۴۰۰ متر، بارندگی سالیانه ۳۳۰ میلی‌متر و میانگین دما ۱۹/۴ درجهٔ سانتی‌گراد است. تیپ غالب جوامع جنگلی منطقه، گونهٔ بلوط ایرانی است که ۹۰ درصد پوشش جنگلی را به خود اختصاص داده و بقیهٔ آن گونهٔ پستهٔ وحشی (۶ درصد) و گونه‌های بادام کوهی (ارژن)، داغداغان، کیکم، بادامک، زالزالک و ... (۴ درصد) است. اقلیم منطقه به روش آمبرژه نیمه‌خشک معتدل و pH خاک بین ۷/۲۰ تا ۷/۸۰ است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ پژوهش در کشور و استان ایلام
Figure 1. The location of the study area in Iran and Ilam province

شیوهٔ اجرای پژوهش

در ابتدا با جنگل‌گردشی در منطقهٔ پژوهش، درختان خشکیدهٔ بلوط در فصل رویش در دو فرم رویشی شاخه‌زاد و دانه‌زاد و تقریباً از یک طبقهٔ قطری (۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متری) شناسایی و نشانه‌گذاری شدند. سپس طبقه‌بندی درختان بلوط برحسب مقدار خشکیدگی تاج در چهار طبقهٔ خشکیدگی شامل ۱- خشکیدگی تاج‌پوشش کمتر از ۱۵ درصد یا سالم؛ ۲-

خشکیدگی بین ۳۵-۱۵ درصد؛ ۳- خشکیدگی ۶۰-۳۵ درصد؛ و ۴- خشکیدگی بیش از ۶۰ درصد انجام گرفت. نمونه‌برداری از خاک با در نظر گرفتن دو فرم رویشی (شاخه‌زاد و دانه‌زاد)، چهار طبقهٔ خشکیدگی، دو عمق سطحی (۱۰-۰ سانتی‌متری) و زیرین (۳۰-۱۰ سانتی‌متری) و با سه تکرار (در مجموع ۴۸ نمونه) در قالب طرح فاکتوریل و در اواخر فصل زمستان انجام گرفت. به همین منظور در مرحلهٔ اول، برای هر تیمار سه نقطهٔ تصادفی در زیر تاج درختان انتخاب شد سپس نمونه‌های خاک استخراج‌شده برای تهیهٔ یک نمونهٔ مرکب برای آنالیزهای آزمایشگاهی ترکیب شدند (در واقع هر نمونهٔ خاک شامل سه نمونه‌برداری ترکیب شده است) (Wang et al., 2019; Yang et al., 2022). سپس نمونه‌های خاک به دو بخش تقسیم شدند که یک بخش بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و به‌منظور آزمایش‌های زیستی در یخچال و دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد. بخش دیگر خاک بعد از عبور از الک ۲ میلی‌متری برای آزمایش‌های شیمیایی در شرایط آزمایشگاه هوا خشک شد.

کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (Walkley & Black, 1934)، نیتروژن کل به روش کجلدال (Bremner, 1996)، اندازه‌گیری تنفس پایه و تنفس برانگیخته (با افزودن گلوکز ۲ درصد) به روش انکوباسیون (Anderson, 1982)، کربن زی‌تودهٔ میکروبی به روش تدخین با کلروفرم و عصاره‌گیری با سولفات پتاسیم (Aliasgharzad, 2011) و آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اوره‌آز به ترتیب از روش‌های (1969) Tabatabai & Bremner و (1972) Tabatabai & Bremner اندازه‌گیری شدند. بهرهٔ میکروبی (q_{mic}) از نسبت کربن زی‌تودهٔ میکروبی به کربن آلی خاک (Dilly & Munch, 1996) و شاخص کیفیت خاک با ایجاد مجموعهٔ حداقل داده‌ها (MDS) از ویژگی‌های خاک (Taghipour et al., 2022) محاسبه شد.

روش تحلیل

آزمایش در قالب طرح فاکتوریل (دو فرم رویشی × چهار طبقهٔ خشکیدگی × دو عمق نمونه‌برداری × سه تکرار) انجام گرفت و پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف، همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد. سپس به‌منظور بررسی اثر فرم رویشی، عمق نمونه‌برداری، درجهٔ خشکیدگی و اثرهای متقابل آنها از تجزیهٔ واریانس دوطرفه (GLM) و برای مقایسهٔ میانگین‌های ویژگی‌های خاک در بین تیمارهای تحت بررسی از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد و نرم‌افزار SPSS 23 استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیهٔ واریانس دوطرفه مشخصه‌های شیمیایی و زیستی خاک مشخص کرد که از بین اثرهای اصلی، عامل عمق خاک با اثر گذاشتن بر مقدار کربن آلی، نیتروژن کل، آنزیم اوره‌آز، بهرهٔ میکروبی و شاخص کیفیت خاک بیشترین اثر بر مشخصه‌های خاک منطقهٔ پژوهش را داشته است. عامل خشکیدگی تاج در درجهٔ دوم اهمیت قرار گرفته و بر نیتروژن کل، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، آنزیم اوره‌آز و بهرهٔ میکروبی اثرگذار بوده است. فرم رویشی نیز با تأثیر بر کربن زی‌تودهٔ میکروبی و بهرهٔ میکروبی به‌عنوان سومین عامل مؤثر بر مشخصه‌های خاک در پژوهش حاضر شناخته شد. اثرهای متقابل عمق در خشکیدگی نسبت به دیگر اثرهای متقابل اهمیت بیشتری داشته و بر نیتروژن کل، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، آنزیم اوره‌آز و بهرهٔ میکروبی اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). تنفس برانگیخته و آنزیم فسفاتاز قلیایی تحت تأثیر منابع تغییرات قرار نگرفتند.

جدول ۱- تجزیهٔ واریانس دوطرفهٔ مشخصه‌های شیمیایی و زیستی خاک (اعداد پررنگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است)

Table 1. Two-way analysis of variance (GLM) of soil chemical and biological properties (Bold numbers indicate a significant difference at the 5% level)

منبع تغییرات Source of variation	کربن آلی (درصد) Organic carbon (percent)			نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (percent)			تنفس پایه (میلی‌گرم دی‌اکسید کربن بر گرم) Basal Respiration (mg CO_2 g^{-1})		
	درجهٔ آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value
فرم رویشی Form	1	0.003	0.012	0.914	0.000	0.175	0.678	48.040	3.530	0.069
عمق Depth	1	2.803	9.880	**0.004**	0.032	18.728	**0.000**	32.604	2.396	0.131
خشکیدگی Drought	3	0.597	2.104	0.119	0.008	4.771	**0.007**	3.753	0.276	0.842
فرم رویشی × عمق Form × Depth	1	0.224	0.790	0.381	0.001	0.487	0.490	4.037	0.297	0.590
فرم رویشی × خشکیدگی Form × Drought	3	0.467	1.647	0.198	0.004	2.543	0.074	48.708	3.579	**0.024**
عمق × خشکیدگی Depth × Drought	3	0.293	1.031	0.392	0.008	4.492	**0.010**	2.249	0.165	0.919
فرم رویشی ×عمق × خشکیدگی Form × Depth×Drought	3	0.094	0.333	0.802	0.002	1.387	0.265	7.905	0.581	0.632

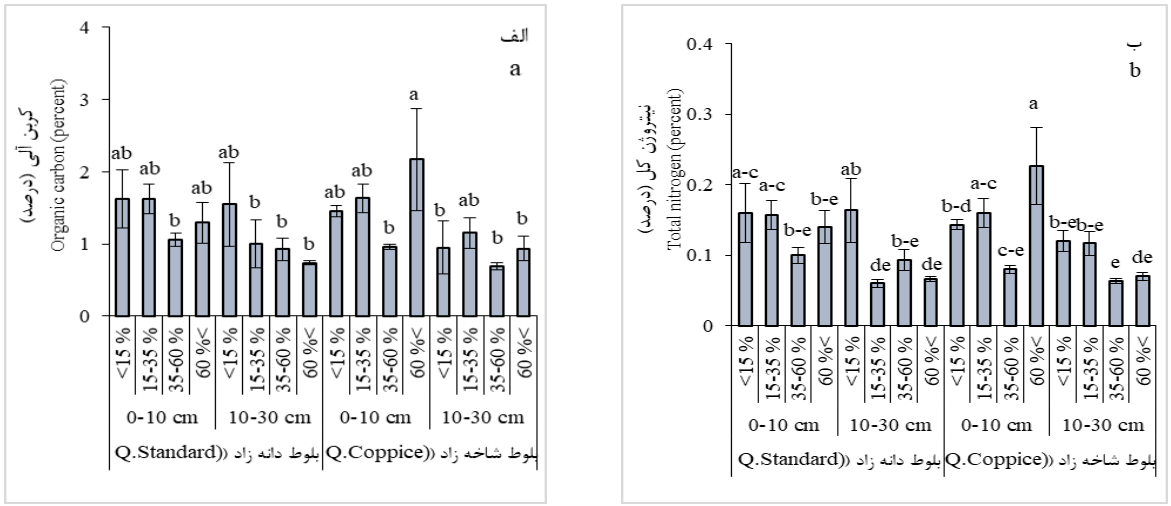
منبع تغییرات Source of variation	تنفس برانگیخته (میلی‌گرم دی‌اکسید کربن بر گرم) Substrate Induced Respiration (mg CO_2 g^{-1})			کربن زی‌تودهٔ میکروبی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Microbial Biomass Carbon (mg kg^{-1})			فسفاتاز قلیایی (میکرومول پارانیتروفنیل بر گرم) Alkaline Phosphatase (µmol PNP g^{-1})		
	درجهٔ آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value
فرم رویشی Form	1	0.293	0.021	0.885	1408.008	13.722	**0.001**	6.564	2.254	0.143
عمق Depth	1	4.820	0.353	0.557	21.614	0.211	0.649	0.133	0.046	0.832
خشکیدگی Drought	3	11.171	0.817	0.494	3874.806	37.763	**0.000**	3.339	1.147	0.345
فرم رویشی × عمق Form × Depth	1	0.983	0.072	0.790	16.626	0.162	0.960	3.950	1.357	0.253
فرم رویشی × خشکیدگی Form × Drought	3	6.387	0.467	0.707	2716.834	26.478	**0.000**	1.745	0.599	0.620
عمق × خشکیدگی Depth × Drought	3	1.268	0.093	0.964	841.711	8.203	**0.000**	1.365	0.469	0.706
فرم رویشی ×عمق × خشکیدگی Form × Depth×Drought	3	9.176	0.671	0.576	1051.912	10.252	**0.000**	1.911	0.656	0.585

منبع تغییرات Source of variation	اوره‌آز (میکروگرم آمونیوم آزادشده در هر گرم خاک) Urease (µgrNH4-N/gr^{-1} soil dry. $2h^{-1}$)			بهرهٔ میکروبی (درصد) q_{mic} (percent)			شاخص کیفیت خاک Soil Quality Index (SQI)		
	درجهٔ آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value

ادامهٔ جدول ۱.

	درجهٔ آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value
فرم رویشی Form	1	682.596	1.693	0.203	3497.814	16.640	**0.000**	0.003	0.733	0.398
عمق Depth	1	101143.342	25.080	**0.000**	3690.942	17.559	**0.000**	0.024	6.371	**0.017**
خشکیدگی Drought	3	13502.037	33.481	**0.000**	12471.466	59.331	**0.000**	0.003	0.764	0.523
فرم رویشی × عمق Form × Depth	1	9053.288	22.449	**0.000**	574.844	2.735	0.108	0.021	5.641	**0.024**
فرم رویشی × خشکیدگی Form × Drought	3	1993.767	4.944	**0.006**	375.318	1.786	0.170	0.009	2.449	0.082
عمق × خشکیدگی Depth × Drought	3	13363.119	33.136	**0.000**	972.569	4.627	**0.008**	0.009	2.410	0.085
فرم رویشی ×عمق × خشکیدگی Form × Depth×Drought	3	831.971	2.063	0.125	227.879	1.084	0.370	0.000	0.096	0.962

نتایج مقایسهٔ میانگین‌های مشخصه‌های شیمیایی خاک نشان داد که مقدار کربن آلی و نیتروژن کل در فرم رویشی دانه‌زاد بیشتر از شاخه‌زاد است و در هر دو فرم رویشی، در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک (با میانگین ۱/۳ درصد) از عمق ۳۰-۱۰ سانتی‌متری خاک (با میانگین ۱/۰۵ درصد) در فرم دانه‌زاد و میانگین ۱/۵۶ درصد به میانگین ۰/۹۱ درصد در فرم شاخه‌زاد بیشتر بوده است. همچنین با افزایش شدت خشکیدگی تاج، مقدار کربن آلی خاک از درختان سالم (۱/۵ درصد) به درختان خشکیده (۰/۷۴ درصد) به‌ویژه در عمق دوم بلوط دانه‌زاد کاهش پیدا کرده است (شکل ۲ الف). نیتروژن کل هم با الگویی مشابه کربن آلی در عمق سطحی بیشتر از عمق تحتانی نمونه‌برداری به‌دست آمده و با افزایش شدت خشکیدگی، مقدار آن با اختلاف معنی‌داری در عمق زیرین دانه‌زاد کاهش پیدا می‌کند (کاهش نیتروژن از درختان سالم به خشکیدهٔ بلوط دانه‌زاد ۰/۱۶ درصد به ۰/۰۶ درصد و در بلوط شاخه‌زاد ۰/۱۲ درصد به ۰/۰۷ درصد) (شکل ۲ ب).



شکل ۲- مقایسهٔ میانگین ویژگی‌های شیمیایی خاک (میانگین ± خطای معیار) با توجه به فرم رویشی بلوط ایرانی، عمق نمونه‌برداری از خاک و درجهٔ خشکیدگی درختان (بارهای روی ستون‌ها خطای معیار و حروف الفبای مشترک نشان‌دهندهٔ نداشتن اختلاف معنی‌دار است)

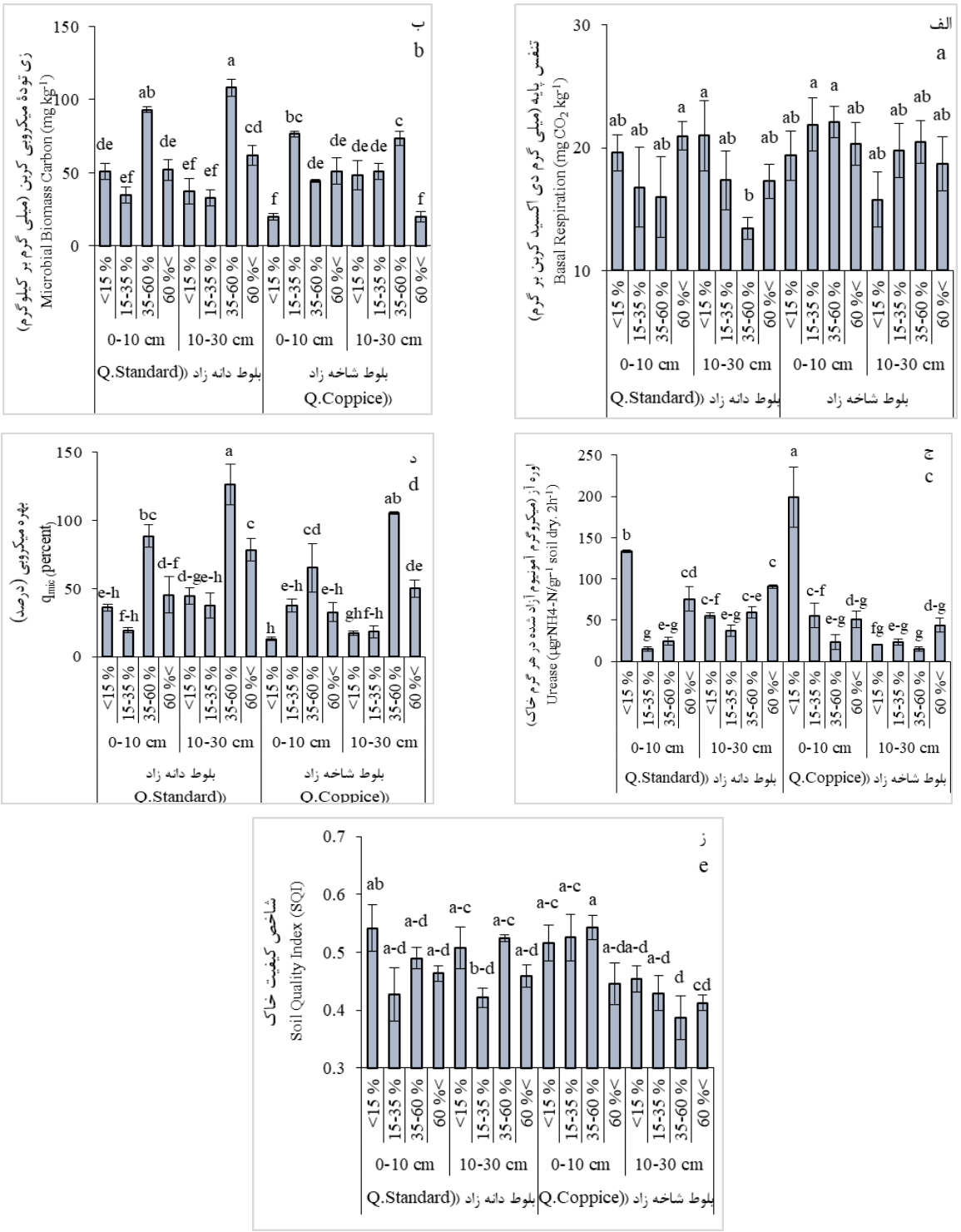
Figure 2. Mean comparison of soil chemical properties (mean ± standard error) with growth form of *Q.brantii*, soil depth and rate of oak trees decline (Bars on columns indicate error bars and the same alphabet letters indicate no significant statistical difference)

مقایسهٔ میانگین‌ها در مشخصه‌های زیستی خاک نشان داد که مقدار تنفس پایه در هر دو فرم رویشی در لایهٔ سطحی خاک بیشتر بود و در بلوط دانه‌زاد و هر دو عمق با افزایش شدت خشکیدگی تا طبقهٔ سوم (۶۰-۳۵ درصد) از ۱۹/۵۸ به ۱۵/۹۵ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر گرم کاهش یافت، اما در بلوط شاخه‌زاد اختلاف معنی‌داری بین طبقات مختلف خشکیدگی در هر دو عمق یافت نشد (شکل ۳ الف). کربن زی‌تودهٔ میکروبی در بلوط دانه‌زاد بیشتر از بلوط شاخه‌زاد بود و حداکثر مقدار آن با اختلاف معنی‌دار در بلوط دانه‌زاد و در هر دو عمق اندازه‌گیری‌شده در طبقهٔ خشکیدگی متوسط ۳۵-۶۰ درصد نسبت به دیگر طبقات خشکیدگی به دست آمد (به‌ترتیب ۹۳/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۱۰۸/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به ۳۴/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۳۲/۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق‌های سطحی و زیرین). در بلوط شاخه‌زاد حداقل کربن زی‌تودهٔ میکروبی در عمق تحتانی و درجهٔ خشکیدگی شدید به مقدار ۱۹/۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد (شکل ۳ ب). بیشترین مقدار آنزیم اوره‌آز در هر دو فرم رویشی دانه‌زاد و شاخه‌زاد در عمق سطحی خاک و در درختانی با مقدار خشکیدگی کمتر از ۱۵ درصد و به مقدار ۱۹۹/۰۸ و ۱۳۳/۵۶ میکروگرم آمونیوم آزادشده در هر گرم خاک نسبت به ۷۵/۴۲ و ۵۰/۴۰ میکروگرم آمونیوم آزادشده در هر گرم خاک در طبقهٔ چهارم خشکیدگی به دست آمد (شکل ۳ ج). بیشترین درصد بهرهٔ میکروبی در هر دو فرم رویشی بلوط و هر دو عمق نمونه‌برداری‌شده در طبقهٔ سوم خشکیدگی یعنی طبقهٔ ۳۵-۶۰ درصد (به‌ترتیب ۸۸/۳۹ درصد و ۱۲۶/۴۳ درصد در هر دو عمق بلوط دانه‌زاد و ۶۵/۲۶ و ۱۰۵/۳۶ درصد در هر دو عمق بلوط شاخه‌زاد) بود و همچنین مقدار آن در عمق تحتانی خاک بیشتر از عمق سطحی به دست آمد (شکل ۳ د). شاخص کیفیت خاک در فرم رویشی دانه‌زاد بیشتر از شاخه‌زاد، در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری بیشتر از عمق ۳۰-۱۰ سانتی‌متری و در درختان با خشکیدگی کمتر از ۱۵ درصد حداکثر مقدار بود (شکل ۳ ز).

بحث

نتایج نشان داد که با افزایش شدت خشکیدگی درختان، مقدار کربن آلی و نیتروژن کل خاک به‌ویژه در عمق زیرین (۳۰-۱۰ متری) بلوط دانه‌زاد کاهش پیدا می‌کند. افزایش خشکیدگی تاج، سبب کاهش ورود مواد آلی به خاک خواهد شد، در نتیجه مقدار کربن آلی و نیتروژن (که منشأ اصلی آن در خاک و بخش اعظم آن از منشأ آلی است) که هر دو از شاخص‌های حاصلخیزی خاک‌اند (Brady & Weil, 2015) کاهش می‌یابد. بنابراین کاهش مقدار کربن و نیتروژن خاک با افزایش شدت خشکیدگی در هر دو فرم رویشی دانه‌زاد و شاخه‌زاد می‌تواند نشان‌دهندهٔ حاصلخیزی و کیفیت ضعیف خاک در شرایط خشکیدگی درختان باشد؛ زیرا در این حالت مقدار لاشبرگ اضافه‌شده به خاک به‌عنوان منبع انرژی اضافی برای متابولیسم و سنتز میکروبی (Wang et al., 2020) کاهش یافته و پس از کاهش تاج در اثر افزایش دما، فعالیت‌های میکروبی خاک کاهش پیدا کرده و در نتیجه بر فرایند تجزیه و سطح عناصر غذایی مانند نیتروژن خاک اثر منفی گذاشته است (Peng & Tian, 2008). چرخهٔ نیتروژن در خاک به‌طور ویژه‌ای به تغییرات رطوبت و میکرواقلیم ناشی از زوال و مرگ‌ومیر درختان حساس است (Chen et al., 2011; Xu et al., 2016)، به‌طوری‌که افزایش چشمگیری در معدنی شدن نیتروژن خاک به‌دلیل زوال و مرگ درختان بلوط همیشه‌سبز (*Quercus ilex*) در اثر خشکسالی گزارش شده است (Rodríguez et al., 2017). افزون‌بر این، کاهش غلظت نیتروژن خاک در طبقات بیشتر خشکیدگی تاج می‌تواند به سازوکارهای دفاعی بلوط ایرانی مرتبط باشد که برای مقابله با تنش و ممانعت از خشکی بیشتر تاج، مقدار بیشتری از عنصر نیتروژن را از خاک

جذب کرده است (Hosseini, 2017). کاهش نیتروژن خاک درختان خشکیدهٔ بلوط در نتایج تحقیقات Rozas & Sampedro (2013) و Shahrezei (2021) et al. نیز تأیید شده است.



شکل ۳- مقایسهٔ میانگین ویژگی‌های زیستی خاک (میانگین ± خطای معیار) با توجه به فرم رویشی بلوط ایرانی، عمق نمونه‌برداری از خاک و درجهٔ خشکیدگی درختان (بارهای روی ستون‌ها خطای معیار و حروف الفبای مشترک نشان‌دهندهٔ نداشتن اختلاف معنی‌دار است).

Figure 2. Mean comparison of soil biological properties (mean ± standard error) with growth form of *Q.brantii*, soil depth and rate of oak trees decline (Bars on columns indicate error bars and the same alphabet letters indicate no significant statistical difference)

تنفس پایه در هر دو عمق نمونه‌برداری در بلوط دانه‌زاد با افزایش شدت خشکیدگی تاج (۶۰-۳۵ درصد) روند کاهشی داشت و در بلوط شاخه‌زاد تحت تأثیر خشکیدگی قرار نگرفت. افزایش خشکیدگی و زوال درختان بلوط در شرایط کاهش رطوبت خاک که یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کنندهٔ آب برای رشد و زنده‌مانی درختان است در بسیاری از پژوهش‌های داخل و خارج از کشور (مانند Fan et al., 2008; Solla et al., 2009; Corcobado et al., 2013; Hosseini, 2017; Mozafari et al., 2019) تأیید شده است. از طرفی حساسیت بسیار زیاد فعالیت‌های میکروبی به تغییرات آب در دسترس نیز موضوع شناخته‌شده‌ای است که در یافته‌های بسیاری از پژوهشگران به آن پرداخته شده است (Curiel Yuste et al., 2007; Bazgir et al., 2020; Karamian et al., 2023; Sardans & Peñuelas, 2005). تغییرات رطوبت خاک نشان می‌دهد که کاهش مقدار آب موجود در خاک، ظرفیت جامعهٔ میکروبی را برای تجزیهٔ مواد آلی خاک محدود می‌کند و با افزایش تدریجی رطوبت به همراه ورود مادهٔ آلی مقدار تنفس میکروبی یا همان معدنی شدن کربن آلی افزایش می‌یابد که موجب افزایش فعالیت میکروبی می‌شود (Curiel Yuste et al., 2007; Moyano et al., 2012). بنابراین تنفس بیشتر، بیانگر عناصر غذایی بیشتر و در دسترس بودن آن برای میکروارگانیزم‌ها و در نتیجه فعال بودن جمعیت میکروبی خاک است (Bazgir et al., 2020). در نتیجه درختان سالم به‌علت داشتن تاج گسترده‌تر و همچنین عرضهٔ کافی کربن و لاشبرگ استفاده‌شده توسط میکروارگانیسم‌های خاک که از عوامل مؤثر در افزایش تنفس میکروبی خاک هستند (Kara & Bolat, 2008; Eslaminejad et al., 2020)، شرایط دمایی و رطوبتی مناسب‌تری را برای فعالیت‌های زیستی خاک فراهم می‌کنند که این شرایط موجب افزایش تنفس پایه می‌شود و در شرایطی با خشکیدگی تاج بیشتر و کاهش رطوبت خاک، مقدار تنفس کاهش می‌یابد که همسو با نتایج Shahrezei et al. (2021) است.

دربارهٔ کربن زی‌تودهٔ میکروبی و بهرهٔ میکروبی نتایج نشان داد که مقدار آنها در خاک بلوط دانه‌زاد بیشتر از بلوط شاخه‌زاد بوده و در هر دو عمق اندازه‌گیری‌شدهٔ بلوط دانه‌زاد در دو طبقهٔ اول خشکیدگی تاج (کمتر از ۱۵ درصد و ۳۵-۱۵ درصد) روند کاهشی داشته، اما در طبقهٔ خشکیدگی سوم (۶۰-۳۵ درصد) به حداکثر رسیده و سپس کاهش پیدا کرده است. در بلوط شاخه‌زاد نمی‌توان الگوی مشخصی از نظر کربن زی‌تودهٔ میکروبی یافت، اما از نظر بهرهٔ میکروبی در هر دو عمق اندازه‌گیری‌شده تا طبقهٔ سوم خشکیدگی روند افزایشی و سپس روند کاهشی داشته است. در تحقیق حاضر، مشخصه‌های کربن زی‌تودهٔ میکروبی و بهرهٔ میکروبی تحت تأثیر فرم رویشی قرار گرفتند که همسو با نتایج Bazgir et al. (2020) است. فرم رویشی دانه‌زاد به‌دلیل داشتن شبکهٔ ریشه‌های گسترده‌تر، قطر برابرسینهٔ بیشتر و در نهایت حجم تاج‌پوشش بزرگ‌تر، لاشبرگ بیشتری را نسبت به فرم شاخه‌زاد تولید کرده و تأثیر بیشتری بر مقدار کربن زی‌تودهٔ میکروبی و بهرهٔ میکروبی داشته است، به‌طوری که در پژوهش Bazgir et al. (2020) کربن زی‌تودهٔ میکروبی در فرم رویشی دانه‌زاد را ۱/۷۱ برابر و سهم میکروبی را ۲۰ درصد بیشتر از فرم رویشی شاخه‌زاد به‌دست آوردند. افزایش هر دو مشخصهٔ کربن زی‌تودهٔ میکروبی و بهرهٔ میکروبی همزمان با افزایش کربن آلی در خاک اتفاق می‌افتد و ارتباط مثبت و معنادار آنها در نتایج پژوهش‌های برخی پژوهشگران (Saggar et al., 2001; Kara & Bolat, 2008; Bazgir et al., 2020; Karamian et al., 2023) آمده است، اما تغییرات کربن زی‌تودهٔ میکروبی به‌شدت به رطوبت، دما، اسیدیته، مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و دیگر عوامل محیطی وابسته است (Mori et al., 2016). به همین دلیل در نتایج ما، روند افزایشی یا کاهشی مشخصی در درجات مختلف خشکیدگی تاج برای این دو مشخصه به دست نیامد.

در نتایج تجزیهٔ واریانس، اثر عوامل تحت بررسی (فرم رویشی، عمق اندازه‌گیری و درجهٔ خشکیدگی تاج) بر آنزیم فسفاتاز قلیایی معنی‌دار نبود، اما اثر عمق و درجهٔ خشکیدگی تاج بر آنزیم اوره‌آز معنی‌دار و بیشترین مقدار آن در هر دو فرم رویشی دانه‌زاد و شاخه‌زاد در درختان با خشکیدگی کمتر از ۱۵ درصد بود. افزایش فعالیت‌های آنزیمی ممکن است سبب تجزیهٔ سریع و چرخهٔ عناصر غذایی در اکوسیستم‌های جنگلی شود. پژوهشگران نشان داده‌اند که فعالیت آنزیم اوره‌آز به جمعیت میکروبی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک وابسته است و فعالیت آنزیم اوره‌آز با کاهش ۱۰ درصدی رطوبت خاک، ۱۰ تا ۶۷ درصد و با کاهش ۲۱ درصدی رطوبت خاک، ۴۲ تا ۶۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. بنابراین بیشترین تأثیر خشکی خاک بر فعالیت آنزیم‌های درگیر در چرخهٔ نیتروژن است (Sardans & Peñuelas, 2005) و همین امر بیشتر بودن آنزیم اوره‌آز را در خاک درختان سالم توجیه می‌کند، ازآنجا که فعالیت‌های آنزیمی به دما حساس‌اند، در شرایط خشکیدگی بیشتر تاج، نور بیشتر خورشید موجب کاهش رطوبت خاک شده و عاملی منفی برای فعالیت این آنزیم محسوب می‌شود. Bayranvand et al. (2017) بیان می‌کنند که در جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده، فعالیت‌های زیستی خاک توسط تغییرات فصلی هدایت می‌شوند که حداقل این فعالیت‌ها در فصل زمستان بوده است ازآنجا که بلوط ایرانی یک گونهٔ پهن‌برگ خزان‌کننده است و نمونه‌برداری خاک تحقیق حاضر در اواخر فصل زمستان انجام گرفته است، ممکن است یکی از دلایل کنترل‌کنندهٔ فعالیت‌های آنزیمی و معنی‌دار نبودن آنزیم فسفاتاز در این تحقیق، فصل نمونه‌برداری باشد.

حداکثر شاخص کیفیت خاک در فرم رویشی دانه‌زاد، عمق سطحی خاک و درختان با خشکیدگی کمتر از ۱۵ درصد به دست آمد. علی‌رغم نبود تفاوت معنی‌دار در برخی مشخصه‌های شیمیایی و زیستی خاک (مانند کربن آلی، نیتروژن کل، تنفس پایه، تنفس برانگیخته، آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اوره‌آز) بین فرم‌های رویشی (دانه‌زاد و شاخه‌زاد)، می‌توان گفت که فرم رویشی دانه‌زاد با حفظ رطوبت خاک و افزایش مادهٔ آلی موجب افزایش فعالیت‌های شیمیایی و زیستی می‌شود و چرخهٔ عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد که در نهایت سبب افزایش کیفیت و حاصلخیزی خاک خواهد شد. نتایج این تحقیق همسو با یافته‌های Karamian et al. (2023) در بررسی مشخصه‌های شیمیایی و زیستی بین فرم‌های رویشی بلوط ایرانی است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش که در مقیاس خشکیدگی‌های موجود در منطقهٔ ایلام صورت گرفته است نشان می‌دهد که ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک به تغییرات میکرو اقلیم ایجادشده در زیر تاج درختان که به‌واسطهٔ طبقات مختلف خشکیدگی تاج ایجاد شده حساس است و همین موضوع سبب نتایج متفاوت محققان شده است. نتیجه‌گیری کلی اینکه اگرچه در تحقیق حاضر نمی‌توان برای همهٔ مشخصه‌های شیمیایی و زیستی اندازه‌گیری‌شده الگوی مشخصی را در شدت‌های مختلف خشکیدگی تاج پیدا کرد که ممکن است به‌دلیل اجرای پژوهش در سطحی محدود و دورهٔ زمانی خاص باشد، با افزایش شدت خشکیدگی درختان، شاخص‌های حاصلخیزی و کیفیت خاک مانند کربن آلی، نیتروژن کل، تنفس پایه و آنزیم اوره‌آز کاهش پیدا می‌کند و با توجه به تأثیر بیشتر بلوط دانه‌زاد در چرخهٔ عناصر غذایی و کیفیت خاک باید در برنامه‌های مدیریتی، کاهش خشکیدگی این فرم رویشی در اولویت قرار بگیرد.

سپاسگزاری

مراتب قدردانی و سپاسگزاری خود را از حوزهٔ معاونت پژوهش و فناوری و دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه ایلام بابت تأمین بودجه این پروژه اعلام می‌داریم.

Reference

Aliasgharzad, N. (2011). Laboratory Methods in Soil Biology (translation). University of Tabriz Publications, Tabriz, 546p. (In Persian).

Allegrini, M., Gomez, E.D.V., & Zabaloy, M.C. (2017). Repeated glyphosate exposure induces shifts in nitrifying communities and metabolism of phenylpropanoids. *Soil Biology and Biochemistry*, *105*, 206-215. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.11.024

Anderegg, W.R., Kane, J.M., & Anderegg, L.D. (2012). Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress. *Nature climate change*, *3*(1), 30-36. DOI: https://doi.org/10.1038/nclimate1635

Anderson, J.P.E. (1982). Soil respiration. AL Page et al.(ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. Soil respiration. p. 831–871.

Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Sarteshnizi, F.T., Saroyi, S., Abbasian, P., Masihpoor, M., Kordrostam, F., & Dirikvandi., A. (2016). Meteorological parameters and evapotranspiration affecting the Zagros forests decline in Lorestan province. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 13*(2), 97-112. DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijfrpr.2016.106018.(In Persian).

Azimnejad, Z., Badehian, Z., Rezaei Nejad, A., & Ahmadi, S.H. (2021). Effect of soil properties on oak tree dieback (*Quercus brantii* Lindi.) and its ecophysiological responses to different degrees of dieback (case study: Dadabad in Lorestan Province). *Journal of Forest Research and Development*, *7*(2), 263-278. DOI: 10.30466/jfrd.2021.121027. (In Persian).

Bayranvand, M., Kooch, Y., & Rey, A. (2017). Earthworm population and microbial activity temporal dynamics in a Caspian Hyrcanian mixed forest. *European Journal of Forest Research*, *136*, 447-456. DOI:10.1007/s10342-017-1044-5

Bazgir, M., Matini, T., Rostaminya, M., & Mahdavi, A. (2020). Soil microbial biomass and activity of oak forest in three different regions in Ilam province. *Journal of soil biology, 8*(2), 155-165. (In Persian).

Brady, N.C., & Weil, R.R. (2015). The nature and properties of soils. 13th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

Bremner, J.M. (1996). Nitrogen-total. Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods, *5*, 1085–1121 DOI: https://doi.org/10.2136/sssab ookser5.3.c3

Chandler, K.R., & Chappell, N.A. (2008). Influence of individual oak (*Quercus robur*) trees on saturated hydraulic conductivity. *Forest Ecology and Management*, *256*(5), 1222-1229. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.06.033

Chen, Y.T., Borken, W., Stange, C.F., & Matzner, E. (2011). Effects of decreasing water potential on gross ammonification and nitrification in an acid coniferous forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *43*(2), 333-338. DOI:https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.10.020

Corcobado, T., Cubera, E., Moreno, G., & Solla, A. (2013). Quercus ilex forests are influenced by annual variations in water table, soil water deficit and fine root loss caused by Phytophthora cinnamomi. *Agricultural and Forest Meteorology*, *169*, 92-99. DOI:https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.017

Curiel Yuste, J., Baldocchi, D.D., Gershenson, A., Goldstein, A., Misson, L., & Wong, S. (2007). Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. *Global Change Biology*, *13*(9), 2018-2035. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01415.x

Curiel Yuste, J., Hereş, A.M., Ojeda, G., Paz, A., Pizano, C., García-Angulo, D., & Lasso, E. (2017). Soil heterotrophic CO2 emissions from tropical high-elevation ecosystems (Páramos) and their sensitivity to temperature and moisture fluctuations. *Soil Biology and Biochemistry*, *110*, 8-11. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.02.016

Dilly, O., & Munch, J.C. (1996). Microbial biomass content, basal respiration and enzyme activities during the course of decomposition of leaf litter in a black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) forest. *Soil Biology and Biochemistry, 28*(8), 1073–1081. DOI: https://doi.org/10.1016/0038-0717(96)00075-2

Erfanifard, Y., Feghhi, J., Zobeiri, M., & Namiranian, M. (2009). Spatial pattern analysis in Persian oak (*Quercus brantii* var. persica) forests on B &W aerial photographs. *Environmental monitoring and assessment*, *150*, 251-259. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-008-0227-4

Eslaminejad, P., Heydari, M., Kakhki, F.V., Mirab-balou, M., Omidipour, R., Muñoz-Rojas, M., & Lucas-Borja, M.E. (2020). Plant species and season influence soil physicochemical properties and microbial function in a semi-arid woodland ecosystem. *Plant and Soil*, *456*, 43-59. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-020-04691-1

Fan, Z., Kabrick, J.M., Spetich, M.A., Shifley, S.R., & Jensen, R.G. (2008). Oak mortality associated with crown dieback and oak borer attack in the Ozark Highlands. *Forest ecology and management*, *255*(7), 2297-2305. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.041

García-Tejera, O., López-Bernal, Á., Testi, L., & Villalobos, F.J. (2017). A soil-plant-atmosphere continuum (SPAC) model for simulating tree transpiration with a soil multi-compartment solution. *Plant and Soil*, *412*, 215-233. DOI: 10.1007/s11104-016-3049-0

Gil-Sotres, F., Trasar-Cepeda, C., Leirós, M.C., & Seoane, S. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil biology and biochemistry*, *37*(5), 877-887. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.10.003

Gorobtsova, O.N., Gedgafova, F.V., Uligova, T.S., & Tembotov, R.K. (2016). Ecophysiological indicators of microbial biomass status in chernozem soils of the Central Caucasus (in the territory of Kabardino-Balkaria with the Terek variant of altitudinal zonation). *Russian journal of ecology*, *47*, 19-25. DOI: https://doi.org/10.1134/S1067413616010069

Hosseini, A. (2017). Variability of nitrogen and phosphorous in Persian oak trees and soil of dieback affected stands in Ilam. *Forest and Wood Products, 70*(2), 231-240. DOI: 10.22059/JFWP.2017.62480. (In Persian)

Hosseini, A., Hosseini, S.M., Rahmani, A., & Azadfar, D. (2012). Effect of tree mortality on structure of Brant'soak (*Quercus brantii*) forests of Ilam province of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *20*(4), 565-577. DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijfpr.2012.107462. (In Persian)

Imanyfar, S., & Hasanlou, M. (2017). Remote sensing analysis of the extent and severity of oak decline in Malekshahi city, Ilam, Iran. *Journal of Geospatial Information Technology, 4*(4), 1-19. DOI: 10.29252/igit.4.4.1. (In Persian)

Jazirehi, M.H., & Ebrahimi Rostaghi, M. (2013). Silviculture in zagros. *University of Tehran Press, 2end Edition.* (In Persian)

Kara, O., & Bolat, I. (2008). The effect of different land uses on soil microbial biomass carbon and nitrogen in Bartın province. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *32*(4), 281-288.

Karamian, M., & Mirzaei, J. (2020). The Most Important Factors Affecting Persian Oak ***(****Quercus brantii****)*** Decline in Ilam Province. *Ecology of Iranian Forests, 8*(15), 93-103. DOI: 10.52547/ifej.8.15.93 (In Persian)

Karamian, M., Mirzaei, J., Heydari, M., Kooch, Y., & Labelle, E.R. (2023). Seasonal effects of native and non-native woody species on soil chemical and biological properties in semi-arid forests, western Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *23*(3), 4474-4490. DOI: https://doi.org/10.1007/s42729-023-01365-6

Mazza, G., Agnelli, A.E., & Lagomarsino, A. (2021). The effect of tree species composition on soil C and N pools and greenhouse gas fluxes in a Mediterranean reforestation. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(2), 1339-1352. DOI: https://doi.org/10.1007/s42729-021-00444-w

Mehdifar, D., Taheri Abkenar, K., Pourhashemi, M., & Soosani, J. (2021). Modification of structural characteristics of coppice stands of Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.) using tending operations in the forests of Lorestan Province. *Forest and Wood Products, 74*(3), 311-319. DOI:10.22059/jfwp.2021.315924.1147. (In Persian)

Mori, T., Wachrinrat, C., Staporn, D., Meunpong, P., Suebsai, W., Boonsri, K., & Kitayama, K. (2016). Seasonal changes in soil respiration and microbial biomass in five tropical tree plantations in Thailand. *Tropics, 25*, 85–89. DOI: https://doi.org/10.3759/tropics.MSMS15-18

Moyano, F.E., Vasilyeva, N., Bouckaert, L., Cook, F., Craine, J., Curiel Yuste, J., Don, A., Epron, D., Formanek, P., Franzluebbers, A., Ilstedt, U., Kätterer, T., Orchard, V., Reichstein, M., Rey, A., Ruamps, L., Subke, J.A., Thomsen, I.K., & Chenu, C. (2012). The moisture response of soil heterotrophic respiration: interaction with soil properties. *Biogeosciences*, *9*(3), 1173-1182.DOI: https://doi.org/10.5194/bg-9-1173-2012

Mozafari, F., Karamshahi, A.A., Heydari, M., & Karami, O. (2019). Mapping Dieback Intensity Distribution in Zagros Oak Forests Using Geo-statistics and Artificial Neural Network. *Iranian Journal of Applied Ecology, 8*(3), 31-44. DOI: 10.47176/ijae.8.3.11911. (In Persian)

Muñoz-Rojas, M. (2018). Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *5*, 47-52. DOI: https:// doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007

Owliaie, H.R., Adhami, E., Faraji, H., & Fayyaz, P. (2011). Influence of Oak (*Quercus brantii* Lindl.) on selected soil properties of oak forests in Yasouj Region. *JWSS-Isfahan University of Technology*, *15*(56), 193-207. DOI: https://doi.org/20.1001.1.24763594.1390.15.56.15.5

Peng, Y., Thomas, S.C., & Tian, D. (2008). Forest management and soil respiration: implications for carbon sequestration. *Environmental Reviews*, *16*(NA), 93-111. DOI:10.1139/A08-003

Pourreza, M., Hosseini, S.M., Safari Sinegani, A.A., Matinizadeh, M., & Alavai, S.J. (2014). Herbaceous species diversity in relation to fire severity in Zagros oak forests, Iran. *Journal of Forestry Research*, *25*(1), 113-120. DOI:10.1007/s11676-014-0436-3

Rodríguez, A., Curiel Yuste, J., Rey, A., Durán, J., García-Camacho, R., Gallardo, A., & Valladares, F. (2017). Holm oak decline triggers changes in plant succession and microbial communities, with implications for ecosystem C and N cycling. *Plant and soil*, *414*, 247-263. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-016-3118-4

Rozas, V., & Sampedro, L. (2013). Soil chemical properties and dieback of Quercus robur in Atlantic wet forests after a weather extreme. *Plant and soil*, *373 (1)*, 673-685. DOI:10.1007/s11104-013-1835-5

Saggar, S., Hedley, C.B., & Salt, G.J. (2001). Soil microbial biomass, metabolic quotient, and carbon and nitrogen mineralisation in 25-year-old Pinus radiata agroforestry regimes. *Australian Journal of Soil Research*, *39*(3), 491-504. DOI:10.1071/SR00012

Sagheb-Talebi, K., Sajedi, T., & Pourhashemi, M. (2014). Forests of Iran. *A treasure from the past, a hope for the future*, *10*. DOI:https://doi.org/10.1007/978-94-007-7371-4

Sardans, J., & Peñuelas, J. (2005). Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. forest. *Soil Biology and Biochemistry*, *37*(3), 455-461. DOI:https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.08.004

Schlesinger, W.H., Dietze, M.C., Jackson, R.B., Phillips, R.P., Rhoades, C.C., Rustad, L.E., & Vose, J.M. (2016). Forest biogeochemistry in response to drought. *Global change biology*, *22*(7), 2318-2328. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.13105

Shahrezei, H., Faramarzi, M., Heydari, M., & Pourreza, M. (2021). Comparison of some Soil Physico-Chemical and Microbial Characteristics in Relation to Oak Decline in Different Elevation Classes in Southern Zagros Forest. *Ecology of Iranian Forests, 8*(16), 136-147. DOI: 10.52547/ifej.8.16.136. (In Persian)

Soleimani, R., & Pourhashemi, M. (2020). Variability of soil chemical characteristics in Oak stands with different dieback. *Journal of Plant Ecosystem Conservation, 8*(16), 265-283. (In Persian)

Solla, A., García, L., Pérez, A., Cordero, A., Cubera, E., & Moreno, G. (2009). Evaluating potassium phosphonate injections for the control of *Quercus ilex* decline in SW Spain: implications of low soil contamination by Phytophthora cinnamomi and low soil water content on the effectiveness of treatments. *Phytoparasitica*, *37 (4)*, 303-316. DOI:10.1007/s12600-009-0042-7

Tabatabai, M. A., & Bremner, J.M. (1972). Assay of urease activity in soils. *Soil biology and Biochemistry*, *4*(4), 479-487. DOI: https://doi.org/10.1016/0038-0717(72)90064-8

Tabatabai, M.A., & Bremner, J.M. (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and* Biochemistry, 1, 301– 307. DOI: https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1

Taghipour, K., Heydari, M., Kooch, Y., Fathizad, H., Heung, B., & Taghizadeh-Mehrjardi, R. (2022). Assessing changes in soil quality between protected and degraded forests using digital soil mapping for semi-arid oak forests, Iran. *Catena, 213***,** 106204. DOI:https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106204

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. DOI:http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Wang, X., Li, Y., Gong, X., Niu, Y., Chen, Y., Shi, X., & Li, W. (2019). Storage, pattern and driving factors of soil organic carbon in an ecologically fragile zone of northern China. *Geoderma*, *343*, 155-165. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.030

Wang, Y., Liu, X., Chen, F., Huang, R., Deng, X., & Jiang, Y. (2020). Seasonal dynamics of soil microbial biomass C and N of Keteleeria fortunei var. cyclolepis forests with different ages. *Journal of Forestry Research*, *31*(6), 2377-2384. DOI :https://doi.org/10.1007/s11676-019-01058-w.

Xu, Z., Jiang, Y., & Zhou, G. (2016). Nitrogen cycles in terrestrial ecosystems: climate change impacts and mitigation. *Environmental Reviews*, *24*(2), 132-143. DOI https://doi.org/10.1139/er-2015-0066

Yang, J., Wei, H., Zhang, J., Shi, Z., Li, H., Ye, Y., & Abdo, A.I. (2022). Land use and soil type exert strongly interactive impacts on the pH buffering capacity of acidic soils in South China. *Sustainability*, *14*(19), 12891. DOI: https://doi.org/10.3390/su141912891

Iranian Journal of Forest
Vol. 17, No. 2, Summer 2025
pp. 293-308
Research Article

DOI: 10.22034/ijf.2025.446800.1978
CC BY 4.0

Soil biological properties variations in Persian oak stands (*Quercus brantii* Lindl.) with different dieback intensities

N. Ghalavand[1], M. Bazgir[2*], M. Karamian[3], and M. Rostaminia[2]

[1]M.Sc Student, Dept. of Soil and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran.
[2] Associate Prof., Dept. of Soil and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran.
[3]Ph.D. in forest science, Department of forest science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran.

(Received: 15 September 2024; Accepted: 15 September 2024)

Abstract

Introduction: Zagros forests are one of the five ecological regions of Iran and are considered to be one of the largest oak habitats in the world. These forests have been facing oak decline in recent years which is expanding in extent every day. This study was conducted with the aim of comparison of some chemical and biological properties of the soil and calculating the soil quality index in different degrees of crown dieback of Persian oak trees in a part of their natural habitat in South Zagros and Ilam province.

Materials and Methods: According to the objectives of the study, soil sampling was performed in the factorial design [4 classes of crown dieback (below 15%, 15-35%, 35-60%, more than 60%) × 2 growth forms (*Quercus brantii* coppice and *Quercus brantii* standard) × 2 Sampling soil depth (0-10 cm and 10-30 cm) × 3 repetitions]. The two-way analysis of variance was used to evaluate the main impact of drought levels, forms, depth and their interactions on soil properties and Duncan test was employed to compare the means at the 5% level in SPSS software version 23.

Result: The two-way analysis of variance showed that the effect of dieback, vegetative form, soil depth and their interaction effects on substrate-induced respiration (SIR) and alkaline phosphatase enzyme were insignificant, but on total nitrogen (TN), urease enzyme, microbial biomass carbon (MBC) and microbial quotient (q_{mic}) were significant. The comparison of means showed that with the increase in the severity of the crown dieback of the trees, the fertility and soil quality indicators such as organic carbon (OC), total nitrogen (TN), basal respiration (BR) and urease enzyme decreased, so that the amount of OC in healthy trees and dried trees were equal to 1.5% and 0.74%, respectively. TN was decreased from healthy trees from 0.16% to 0.06% in dieback *Quercus brantii* standard, and 0.12% to 0.07% in *Quercus brantii* coppice. BR was decreased from 19.58 to 15.95 (mg CO_2 g^{-1}), urease enzyme was decreased from 133.56 to 75.42 (µgrNH4-N/gr^{-1} soil dry. $2h^{-1}$) under *Quercus brantii* standard and 199.08 to 40.50 (µgrNH4-N/gr^{-1} soil dry. $2h^{-1}$) under *Quercus brantii* coppice.

Conclusion: According to the results, in the current research, it is not possible to find a specific pattern for all the measured properties (e.g MBC and q_{mic}), but due to the higher OC, TN, MBC, q_{mic} and soil quality index (SQI) in *Quercus brantii* standard, it is necessary to consider this growth form more with afforestation and other management measures in order to deal with the dieback phenomenon of Persian oak and its effect on soil fertility.

Keywords: Ilam, *Quercus brantii* standard, *Quercus brantii* coppice, Crown dieback, Soil Quality Index, Soil depth.

* Corresponding author Tel: 08459241000 Email: m.bazgir@ilam.ac.ir