Gonbad Kavous University
Journal of Plant
Ecosystem Conservation
Volume 14, Issu 28
http://pec.gonbad.ac.ir

Evaluation Some Biological Indicators of Soil under *Paulownia* Wood Cultivation (Case study: Malayer County)

Hasan Zangeneh bidkorpeh [1], Iman Pazhouhan [*2], Mazyar Heydari [3]

[1]MSc. Forest Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Department of Natural Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.
[2]Assistant Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.
[3]Associate Professor., Forests and Rangelands Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran.

Received: 2025/10/01; Accepted: 2026/01/01

Abstract

Given the limited wood-production capacity of natural forests and their long rotation periods, fast-growing species are considered suitable alternatives for meeting timber demand. Studying the effects of cultivation with different tree species on soil biological indicators, understory regeneration, and soil physicochemical properties is essential for understanding ecological succession, ecosystem restoration, and biodiversity conservation. In this study, the effects of *Paulownia* cultivation, as one of the controversial species considered for meeting Iran's wood demand, on soil biological properties were investigated. For this purpose, a Paulownia plantation in Malayer County was selected, and a complete inventory of the trees was conducted. Ten soil samples were collected from a depth of 0–15 cm to assess soil biological indicators. The mean tree diameter and height were 15.41 cm and 3.38 m, respectively. Prior to statistical analysis, data normality was assessed using the Kolmogorov–Smirnov test. An independent-samples t-test was then used to compare soil biological indicators between the *Paulownia* plantation and the control site. The results showed that basal respiration, with mean values of 2.31 in the *Paulownia* stand and 1.73 in the control, and substrate-induced respiration, with corresponding means of 25.8 and 23.6, did not differ significantly between the two sites. In contrast, nitrification potential, with mean values of 217.7 and 80.7, respectively, and microbial biomass carbon, with mean values of 6.37 and 3.17, respectively, *differed significantly at the 1% significance level.* Accordingly, microbial biomass carbon and nitrification potential were higher in the *Paulownia* plantation than in the control stand. Overall, the findings of this study, reported for the first time in this context, indicate that *Paulownia* cultivation can improve certain soil biological parameters. However, further complementary studies are recommended to achieve a more comprehensive understanding, strengthen the findings, and determine whether they can be generalized to large-scale afforestation programs.

***Keywords*:** Nitrification, Soil chemical properties, Microbial biomass, Soil basal respiration.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره چهاردهم، شماره بیست و هشتم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

ارزیابی برخی شاخص‌های زیستی خاک تحت زراعت چوب پالونیا (مطالعه موردی: شهرستان ملایر)

حسن زنگنه بیدکرپه[1]، ایمان پژوهان[2]*، مازیار حیدری[3]

[1] کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر
[2] استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر، ملایر
[3] دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

چکیده

با توجه به محدودیت توان تولید چوب در جنگل‌ها و دورهٔ برداشت طولانی آن، گونه‌های تندرشد گزینهٔ مناسبی جهت رفع نیازهای چوبی هستند. مطالعه اثرات زراعت با گونه‌های مختلف بر روی شاخص‌های زیستی و زادآوری زیراشکوب و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به منظور بررسی چگونگی روند توالی، بازسازی بوم‌شناختی و حفاظت از تنوع زیستی رویشگاه امری ضروری و شناخته شده است. در این تحقیق نیز تلاش گردیده است که زراعت گونه پالونیا به عنوان یکی از گونه‌های بحث برانگیز مورد نظر در تامین نیازهای چوبی کشور بر ویژگی‌ها زیستی خاک مورد بررسی قرار گیرد. بدین‌منظور پارامترهای زیستی خاک در یک منطقه تحت زراعت چوب پالونیا در شهرستان ملایر انتخاب و کلیه اطلاعات درختان با آماربرداری صد در صد اندازه‌گیری شدند. برای بررسی وضعیت شاخص‌های زیستی تعداد ۱۰ نمونه خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری گرفته شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-سمیرنوف بررسی شد. مقایسه شاخص‌های زیستی خاک در دو منطقه تحت کشت پالونیا و منطقه شاهد از آزمون تی‌مستقل انجام استفاده شد. میانگین قطری درختان ۱۵/۴۱سانتی‌متر و میانگین ارتفاعی ۳/۳۸ متر اندازه‌گیری شد. نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که از میان شاخص‌های زیستی، تنفس پایه با میانگین ۲/۳۱ در توده پالونیا و ۱/۷۳ در شاهد و تنفس برانگیخته با میانگین ۲۵/۸ در توده پالونیا و ۲۳/۶ در شاهد فاقد اختلاف معنی‌دار و شاخص‌های پتانسیل نیتریفیکاسیون با میانگین ۲۱۷/۷ در توده پالونیا و ۸۰/۷ در شاهد و بیومس میکروبی کربن با میانگین ۶/۳۷ در توده پالونیا و ۳/۱۷ در شاهد دارای اختلاف معنی دار در سطح ۹۹ درصد بود. بر طبق نتایج شاخص زیستی بیومس میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون در توده پالونیا بیشتر از توده شاهد است. به طور کلی نتایج این تحقیق برای اولین بار در این زمینه نشان داد که زراعت پالونیا باعث بهبود برخی از پارامترهای زیستی شده است. با این حال، برای درک جامع‌تر و تقویت نتایج به‌دست‌آمده و تعمیم آن‌ها به مقیاس جنگل‌کاری گسترده، انجام مطالعات تکمیلی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: **نیتریفیکاسیون، خصوصیات شیمیایی خاک، بیومس میکروبی، تنفس پایه خاک**

مقدمه

نیاز فزاینده به چوب و کاهش منابع چوبی سبب ایجاد و تشدید یک رویکرد جدید به انجام جنگلکاری با گونه‌های تند رشد شده است. با توجه به محدودیت توان تولید چوب در جنگل‌ها و دورهٔ برداشت طولانی آن و همچنین هزینه زیاد عملیات کاشت و برداشت محصولات کشاورزی در اراضی کم بازده و شیبدار، گونه‌های تندرشد جنگلی گزینهٔ مناسبی برای کاشت در این نوع اراضی هستند. درخت پالونیا که یکی از گونه‌های تندرشد غیربومی است از سال‌ها پیش وارد ایران شده و مراحل سازگاری خود را طی کرده و در تولید چوب کاربرد دارد. همچنین از نهال این گونه برای فضای سبز و زیباسازی شهر استفاده می‌شود (معیری و همکاران، ۱۳۹۷). شناخت ویژگی‌های خاک یکی از نیازهای

*نویسنده مسئول: imanpazhouhan@malayeru.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

اساسی مدیریت اصولی زراعت چوب است. به‌طور کلی خاک به عنوان یکی از ارکان اکوسیستم نقش عمده‌ای در ایجاد تغییر و تنوع پوشش گیاهی ایفا می‌کند و از طرف دیگر پوشش گیاهی نیز نقش قابل توجهی در تغییر و تحول خصوصیات خاک‌ها دارد (Xiang et al., 2023; Moreno et al., 2017). تحول خاک و توسعه آن همچنین ارتباط آن با پوشش گیاهی فرآیند پیچیده‌ای است که نتیجه تأثیر پوشش گیاهی بر خصوصیات خاک است و ویژگی‌های خاک تحت تأثیر پوشش گیاهی است. گونه‌های درختی متفاوت، می‌توانند با ترکیبات شیمیایی متفاوت برگ و لاشبرگ، سبب تغییر در خاک عرصه و توده‌های جنگلی شوند (مسلمی و همکاران، ۱۳۹۸).

در مطالعات اکولوژیکی و علوم خاک، شاخص‌های زیستی خاک نقش کلیدی در ارزیابی کیفیت اکوسیستم و عملکرد خاک دارند، زیرا این شاخص‌ها بازتاب‌دهنده فعالیت‌های بیولوژیکی زنده در خاک هستند و می‌توانند تغییرات عملکردهای اکوسیستم را نشان دهند. شاخص‌های زیستی مانند بیومس میکروبی، فعالیت تنفسی خاک، فعالیت آنزیمی و تنوع جامعه میکروارگانیسم‌ها مستقیماً با فرآیندهای مهمی مانند تجزیه ماده آلی، چرخه عناصر غذایی و پایداری اکوسیستم ارتباط دارند و می‌توانند به‌عنوان ابزارهای حساس برای ارزیابی سلامت و بهبود یا تخریب اکوسیستم به‌کار روند، زیرا نسبت به تغییرات مدیریتی و محیطی سریعاً پاسخ می‌دهند (Bhaduri et al., 2022). مطالعات نشان داده است که جنگل کاری با ایجاد تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سبب تغییر در حاصلخیزی رویشگاه می‌شود (Abliz et al., 2015) و پوشش گیاهی زیراشکوب بر پویایی جامعه و چرخه مواد غذایی نیز اثر گذار خواهد بود (Bass, 2004). خاک نیز به عنوان بخش مهمی از بوم نظام می‌تواند پوشش گیاهی جنگلی را توسعه داده و موجب افزایش تنوع زیستی شود (Li et al., 2012). در ایران در سال‌های اخیر به منظور جنگل‌کاری و تولید چوب علاقه‌مندی به گونهٔ پالونیا به‌خصوص در اراضی شیبدار و کمبازده که هزینهٔ آماده‌سازی آن‌ها بالا است افزایش یافته است. به این منظور پژوهش‌های زیادی در زمینهٔ رشد و تعیین ویژگی‌ها و خصوصیات گونهٔ پالونیا و سازگاری آن با شرایط ایران انجام شده است. بنابر این بحث در مورد روابط بین خاک و پوشش گیاهی همواره از موضوعاتی بوده که در علم مدیریت جنگل و علوم مربوط به خاکشناسی جنگل مورد توجه بوده است. معیری و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی با عنوان ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی زراعت پالونیا (*Paulownia fortunei*) در اراضی شیب‌دار منطقه توسکستان-گرگان به این نتیجه رسیدند که میانگین قطر توده ۱۰/۹ سانتی‌متر، میانگین ارتفاع، ۹/۱۳ متر، رویه زمینی توده ۱۶/۷ مترمربع در هکتار، دانسیته چوب پالونیا ۰/۲۴ و ۶۴/۹ درصد درختان توده وضعیت پایدار دارند. تعیین ویژگی‌های کمی و کیفی عرصه-های جنگل‌کاری بستر مناسبی را برای شناخت دقیق‌تر تأثیر این عرصه‌ها بر روند تکامل اکوسیستم و نحوهٔ مدیریت بهینه آن‌ها برای تأمین چوب مورد نیاز منطقه و بهره‌گیری از خدمات زیست‌محیطی آن‌ها فراهم خواهد کرد. در مطالعه‌ای تو و همکاران (Tu et al, 2017) ارزیابی کیفیت خاک تحت کشت پالونیا فورچونی در مناطق نیمه گرمسیری چین را بررسی کردند نتایج نشان داد که کشت مخلوط با کلزا و کشت خالص پالونیا به طور کلی منجر به ویژگی‌های بهتر خاک نسبت به کشت مخلوط با *Camellia oleifera*، orange trees و *Cunninghamia lanceolate* می‌شود. در پژوهشی دیگر Woźniak et al. (2024) تغییرات میکروبیولوژیکی در محیط خاک در طول کشت مخلوط پالونیا با گندم سیاه را بررسی می‌کند، فراوانی میکروارگانیسم‌ها، ساختار جامعه میکروبی و قارچی، فعالیت دهیدروژناز (DHA) و کل پروتئین‌های خاک مرتبط با گلومالین (T-GRSP) را اندازه‌گیری می‌کند. نتایج نشان داد که سیستم کشت مخلوط پالونیا و گندم سیاه به طور مثبت بر خواص میکروبی خاک تأثیر گذاشته است، که به عنوان یک شاخص حساسیت بالا برای کیفیت خاک عمل می‌کند. شاخص‌های آلفای محاسبه شده برای تنوع و فراوانی میکروبیوم باکتریایی در نمونه‌های کشت مخلوط در مقایسه با محل کنترل بیشتر بود، که نشان می‌دهد کشت مخلوط تنوع باکتریایی را افزایش می‌دهد. در تحقیقی دیگر مسلمی و همکاران (۱۳۹۸) اثر توده‌های مختلف جنگلی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و تنوع زیستی پوشش علفی کف و زادآوری در سری الندان- ساری را مورد بررسی قرار دادند. به طور کلی نتایج نشان داد که کابری جنگل آمیخته از نظر شاخص‌های زیستی گیاهی و مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت به دیگر کاربری‌ها دارای بهترین عملکرد می‌باشد. مقایسه فعالیت زیستی خاک در جنگل با درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در منطقه بیستون

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

کرمانشاه نشان داد که در منطقه بیستون جنگ کاری با گونه‌های پهن‌برگ و به خصوص سوزنی‌برگ باعث بهبود کیفیت خاک نسبت به پوشش‌های کشاورزی و چراگاه شده است که می‌تواند وابسته به انباشتگی لاشبرگ فراوان و خاستگاه کربن آلی برای ریزجانداران در این پوشش‌ها باشد (مهرنوش و همکاران، ۱۴۰۱). فعال‌خواه و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی برای بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی درختان تبریزی در فواصل کاشت مختلف، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان و مشخصه‌های کیفی را اندازه‌گیری کرده و همچنین ضرایب شکل طبیعی و مصنوعی توده‌ها را بررسی و روابط بین پهنای دوایر سالیانه و فاصلهٔ کاشت را با تهیه دیسک بررسی کرده‌اند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بوده است که بیشترین میانگین قطر برابر سینه و ارتفاع درختان در فواصل کاشت ۱× ۳ متر و ۱ × ۱/۵ متر بود ولی میانگین حجم محاسبه شده در فواصل کاشت مختلف اختلاف معنی‌دار نداشته‌اند. Zhao et al. (2020) در بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر ویژگی‌های خاک در امتداد مناطق ساحلی رودخانه بیجیانگ در جنوب چین به این نتیجه رسیدند که ارتباط معنی‌داری را بین مقدار کربن آلی خاک و ازت نیتراتی با نوع پوشش گیاهی وجود دارد و بین پوشش درختان و درختچه‌ها با خواص شیمیایی خاک ارتباط معنی‌داری وجود داشت. در پژوهشی دیگر تفاوت ویژگی‌های خاک بین توده‌های صنوبر خالص و مخلوط صنوبر و*Cunninghamia lanceolata* در جنوب چین نشان داد که ماده آلی خاک و نیتروژن در توده‌های آمیخته صنوبر و سرو بهطور معنی‌داری بیشتر از سایر توده‌ها بود و جنگلکاری آمیخته صنوبر و *C. lanceolata* سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی می‌شود (Zhou et al., 2020).

پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد تاکنون مطالعات اندکی در ارتباط با شاخص‌های زیستی انجام گرفته است و در ارتباط با اثرات کاشت گونه پالونیا بر خصوصیات زیستی خاک تاکنون تحقیقی به انجام نرسیده است. از طرفی شهرستان ملایر به عنوان یکی از قطب‌های تولید مبلمان کشور است و به عنوان شهر جهانی مبل و منبت نیز ثبت شده است و نیاز مبرم به چوب و محصولات چوبی جهت رفع نیازهای صنعت مبلمان دارد، یکی از روش‌های رفع نیازهای چوبی زراعت گونه‌های تند رشد مانند پالونیا است. لذا این تحقیق با هدف بررسی اثر و رابطه متقابل بین گونه پالونیا و خصوصیات زیستی خاک انجام می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان ملایر بین عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی قرار دارد و از شمال به همدان، از شرق به اراک، از جنوب به بروجرد و از طرف غرب به شهرستان تویسرکان و نهاوند محدود شده است. ارتفاع از سطح دریا ۱۷۸۰ است. پوشش گیاهی شهرستان ملایر از نوع استپ کوهپایه ای است. ملایر از نظر آب و هوایی در مرز آب و هوای معتدل کوهستانی و آب و هوای نیمه بیابانی ایران قرارگرفته و خصوصیات هر دو نوع آب و هوا را داراست و متوسط بارندگی سالیانه آن به ۲۴۲/۲ میلی‌متر می‌رسد. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، اراضی روستای ورچق شهرستان ملایر، از توابع بخش مرکزی شهرستان ملایر در استان همدان ایران است (شکل ۱).

روش تحقیق

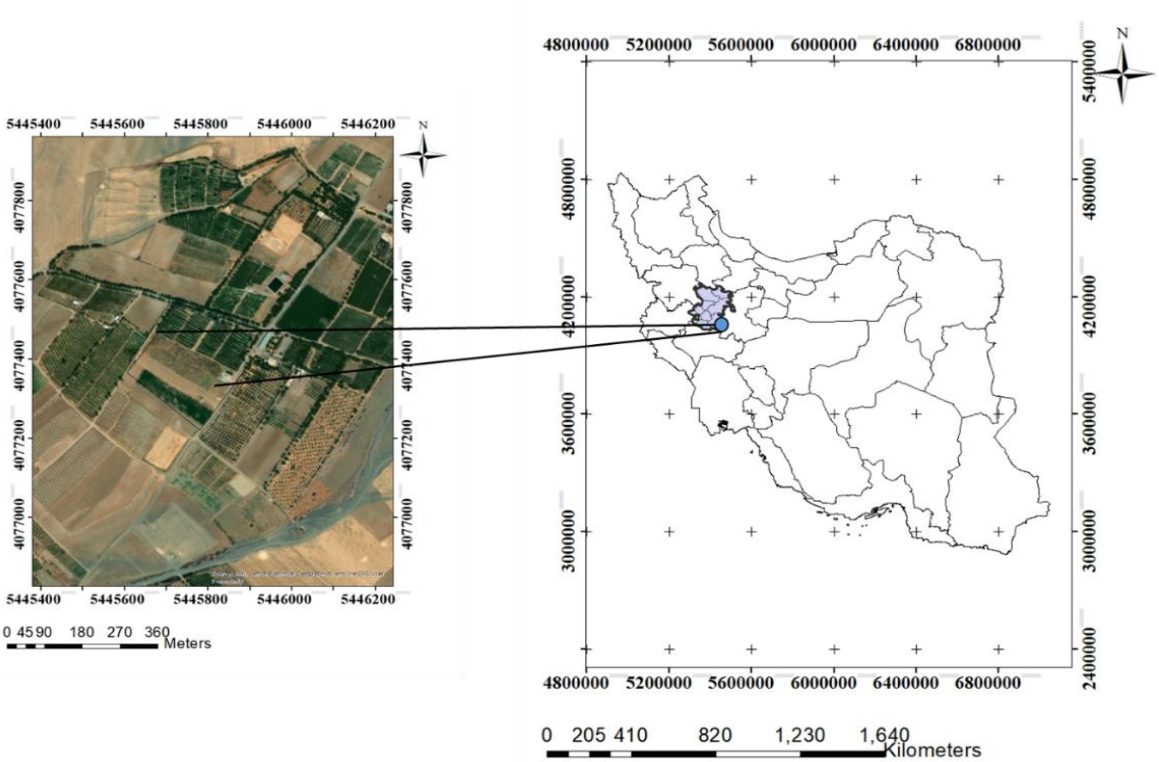
در این پژوهش مشخصات توده و پارامترهای زیستی خاک تحت زراعت چوب گونه پالونیا مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور یک توده ۷ ساله تحت زراعت چوب پالونیا انتخاب و کلیه اطلاعات درختان با آماربرداری صد در صد اندازه‌گیری شدند. لازم به ذکر است که زمین مورد نظر سابقه کشت داشته ولی سال‌ها بدون استفاده باقی مانده بوده است، لذا قسمتی از آن به کشت پالونیا اختصاص یافت و قسمتی هم از آن به عنوان منطقه شاهد در نظر گرفته شد. برای بررسی وضعیت شاخص‌های زیستی تعداد ۱۰ نمونه خاک (پنج نمونه توده پالونیا و پنج نمونه توده شاهد) از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری گرفته شد (Juhos, et al ۲۰۲۴). قابل ذکر است که نمونه‌های خاک برای شاخص‌های زیستی می‌بایست بعد از برداشت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و برای آزمایشگاه موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ارسال شدند. علاوه بر بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و شاخص زیستی آن، تمامی درختان موجود در قطعه‌نمونه یک هکتاری آماربرداری صددر صد شده و ویژگی‌های مختلف درختان شامل مبدأ (دانه‌زاد، شاخه‌زاد)، قطر برابر سینه، قطر یقه (پایه‌های شاخه‌زاد)، ارتفاع کل درخت، قطر بزرگ و کوچک تاج درختان برداشت شد و پراکنش درختان در

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

طبقات قطری (پنج سانتی‌متری)، میانگین قطر برابر سینه (میانگین‌گیری از قطر برابر سینه تمامی درختان)، رویه زمینی (مجموع سطح مقطع برابر سینه تمامی درختان به متر مربع)، میانگین سطح تاج درختان (میانگین‌گیری از سطح تاج تمامی درختان) و درصد تاج‌پوشش رویشگاه محاسبه شد. سطح تاج درختان (متر مربع) براساس رابطه یک و با استفاده از D1 (قطر بزرگ تاج) و D2 (قطر کوچک تاج) محاسبه شد (رابطه ۱).

رابطه ۱ $\frac{\pi}{4}((D1+D2)/2)^2$

مجموع تاج درختان در قطعه نمونه محاسبه و بر سطح هکتار (۱۰۰۰۰ متر مربع) تقسیم می‌شود و درصد تاج پوشش قطعه نمونه محاسبه می‌گردد (بر حساب هکتار). برای تعیین بافت خاک و درصد اجزا تشکیل دهنده آن از روش هیدرومتری استفاده می‌شود (Toogood, 1958). قابل ذکر است که در هر محل دو نمونه (هر نمونه نیم‌کیلوگرم) برداشت شد و یک نمونه برای آزمایش‌های فیزیکی- شیمیایی خاک و یک نمونه برای اندازه گیری شاخص‌های زیستی خاک (نگهداری در دمای چهار درجه سانتی‌گراد) برداشت شد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

برای تعیین بافت خاک و درصد اجزا تشکیل دهنده آن از روش هیدرومتری استفاده شد (Toogood، ۱۹۵۸). درصد وزن خشک و میزان رطوبت خاک، با استفاده از تفاوت وزن خاک خشک‌شده در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت محاسبه شد. اسیدیته و هدایت الکتریکی نمونه‌ها در سوسپانسیون تهیه شده از خاک به ترتیب با دستگاه pH متر (Schott- CG 825) و EC متر (JENWAY) اندازه‌گیری شدند (McLean, 1982). برای فسفر در دسترس از روش السن (Sommers and Olsen1982) استفاده شد. مقدار پتاسیم در نمونه‌های خاک پس از استخراج با استات آمونیوم (pH= 65/4)، با فلیم فتومتر (JENWAY-PFP7) اندازه‌گیری شد. جرم مخصوص خشک و تر را به دو روش سیلندر و کلوخه‌ای اندازه‌گیری می‌نمایند. آزمایش درصد رطوبت خاک با هدف تعیین درصد وزنی آب در خاک نسبت به دانه های خاک صورت می گیرد. این آزمایش در بسیاری از آزمایش های دیگر مکانیک خاک همچون آزمایش حدود اتربرگ، آزمایش تراکم خاک و ... کاربرد دارد. استاندارد انجام این آزمایش ASTM D 2216-90 و AASHTO T 265-81 است. درصد رطوبت به صورت درصدی از وزن خشک خاک بیان می شود و به صورت زیر تعریف شد (رابطه ۲).

رابطه ۲ $W = (Mcws - Mcds/Mcds - Mc) * 100$

میزان کربن میکروبی خاک از فرمول زیر استفاده شد. که در آن C میزان کربن نمونه‌های کنترل (تیمار نشده)، S میزان کربن نمونه‌های مورد آزمایش (تیمار شده) و ۰/۳۵ ثابت است (رابطه ۳).

رابطه ۳ $S - C/0.35$

برای اندازه‌گیری کربن زی‌توده میکروبی خاک از روش Fumigation- extraction استفاده شد. برای این منظور نمونه ها با کلروفرم به مدت ۱۸ تا ۲۴ ساعت تیمار شده و میزان کربن آلی پس از استخراج با سولفات پتاسیم با روش والکلی- بلاک اندازه گیری شد. برای اندازه‌گیری تنفس پایه خاک به ۲۰ گرم خاک مرطوب، ۲۰ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از این مدت و به دنبال اضافه کردن دو میلی‌لیتر کلرور باریم، هیدروکسید سدیم باقیمانده با استفاده از اسیدکلریدریک تیتر شد و میزان تنفس براساس تنفس براساس رابطه ۴ محاسبه شد.

رابطه ۴ $(C - S) * 2.2 * 100/Sw * \%d.m$

در این فرمول میزان C اسید کلریدریک مصرفی برای نمونه‌های کنترل، S میزان اسید کلریدریک مصرفی برای نمونه‌های مورد آزمایش، SW وزن خشک و d.m میزان وزن خشک نمونه است. برای اندازه‌گیری تنفس برانگیخته خاک، به نمونه‌ها پنج گرم گلوکز اضافه شد و سپس مقدار دی اکسید کربن تولیدی پس از چهار ساعت اندازگیری شد و تنفس برانگیخته بر حسب mg CO2 100 g -1 dm. h-۱ ارائه می‌شود.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS۲۰ انجام شد و برای انجام تحلیل‌های آماری، ابتدا از آزمون کولموگروف- سمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. باتوجه به اینکه داده‌ها نرمال بودند، از آزمون‌های تی مستقل بررسی معنی‌دار بودن و مقایسه میانگین شاخص‌های زیستی و فیزیکی و شیمیایی خاک در در منطقه زراعت چوب و شاهد استفاده شد. همچنین ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel انجام گرفت.

نتایج

خواص کمی- کیفی توده پالونیا: ویژگی‌های ساختاری شامل میانگین‌های قطر برابر سینه، رویه زمینی، ارتفاع کل، سطح تاج، تراکم درختان در هکتار توده دست‌کاشت درخت پالونیا در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که میانگین قطر درختان اندازه‌گیری شده ۱۵/۴۱ سانتی‌متر است. نتایج به‌دست آمده از بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای کیفیت درختان نشان داد که کیفیت ۹۷ درصد از تنهٔ درختان در توده موردنظر از نوع درجه یک و سالم بوده و تنها کیفیت دو درصد از درختان از نوع درجه دو و ناسالم بوده‌اند. جزئیات آمارهای توصیفی در جدول ۱ نشان داده شده است.

مقایسه ویژگی‌های پوشش سطحی خاک در شدت‌های مختلف چرایی: نمودار پراکنش تعداد درختان در طبقات ارتفاعی یک متری تشکیل شد که در شکل ۲ نشان داده شده است. میانگین و انحراف معیار ارتفاع توده با سطح اطمینان ۹۵ درصد، برابر ۰/۵۵± ۳/۳۸ متر است و

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

میانگین حداقل و حداکثر ارتفاع درخت برابر ۲/۱۰ و ۴/۶۰ می‌باشد. نتایج اندازه‌گیری سطح مقطع برابرسینه درختان جنگلی نشان داد که سطح مقطع در کلاسه دو سانتی‌متری در هکتار توده ۱۵/۴۱ مترمربع در هکتار به‌دست آمد. نتایج آماری سطح مقطع در شکل ۳ نشان داده شده است.

نتایج پراکنش درختان در کلاسه‌های سطح تاج درختان برای توده مورد پژوهش با سطح اطمینان ۹۵ درصد، برابر ۶/۱۵ در متر مربع می باشد. که در شکل ۴ نشان داده شده است.

خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک: مشخصات آماری برای بررسی و مقایسه برخی پارامترهای فیزیکی- شیمیایی خاک در توده پالونیا و شاهد در جدول ۲ نشان داده شده است. مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توده‌های پالونیا و منطقه شاهد در شکل ۵ نشان داده شده است. یافته‌های تحقیق نشان داد که مقادیر اسیدیته خاک در توده شاهد به طور معنیداری بیشتر از توده پالونیا است. از طرفی میزان هدایت الکتریکی در توده پالونیا نیز به طور معنیداری بیشتر از توده شاهد است. بنابراین اینگونه می‌توان بیان نمود که تغییرات مقدار هدایت الکتریکی به گونه‌ای با پوشش گیاهی مرتبط است. همچنین میزان درصد شن خاک تقریبا در هر دو توده یکسان و میزان درصد لومی خاک در توده شاهد بیشتر از توده پالونیا است و میزان درصد رس خاک توده پالونیا بیشتر از توده شاهد است ولی هیچدام از این پارامترها دارای تفاوت معنیدار بین توده نمی‌باشند. وزن مخصوص ظاهری خاک در توده پالونیا کمتر از توده شاهد ولی فاقد تفاوت معنیدار می‌باشد. مقادیر بالای اسیدیته خاک تاثیر زیادی در افزایش فسفر خاک دارد. به طوری که یافته‌های تحقیق در این بخش نشان داد توده پالونیا با دارا بودن خاک قلیایی از مقادیر بالای فسفر برخوردار است. خاک‌هایی که به طور طبیعی دارای مواد آلی بالایی هستند حاوی مقادیر قابل توجهی فسفر آلی هستند و معدنی شده‌اند (همانند نیتروژن آلی)، فسفر قابل دسترس برای رشد گیاه را فراهم می کنند. بر اساس شکل ۵ مشاهده می‌شود که میزان فسفر خاک در توده پالونیا بیشتر از توده شاهد و بدون اختلاف معنیدار است. بر اساس نتایج وزن خشک خاک به طور معنیداری در توده شاهد بیشتر از توده پالونیا و در نهایت رطوبت خاک در توده پالونیا با اختلاف معنیداری بیشتر از توده شاهد است (شکل ۵).

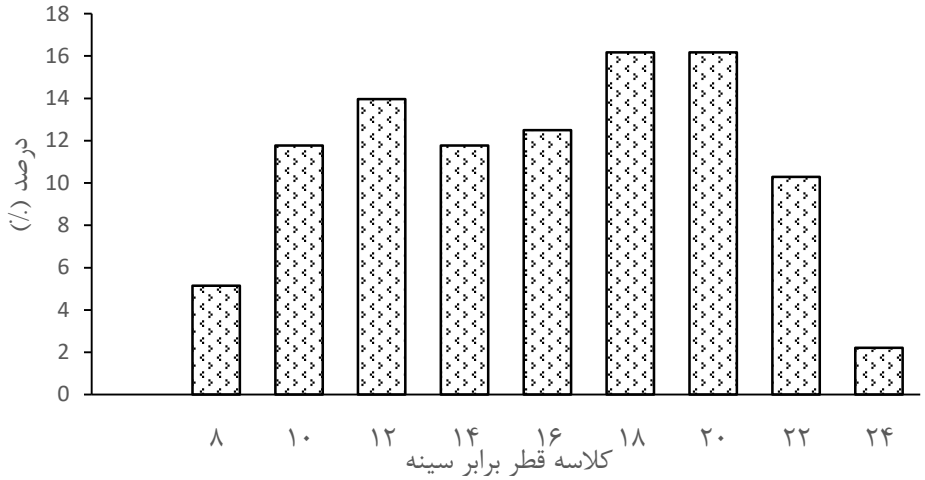
جدول ۱- میانگین مشخصه‌های کمی توده پالونیا مورد پژوهش

پارامتر توده	میانگین ±انحراف معیار	حداقل	حداکثر
ارتفاع درخت	۳/۳۸ ± ۰/۵۵	۲/۱۰	۴/۶۰
تعداد پایه	۲/۷۰ ± ۱/۷۷	۱/۰۰	۸/۰۰
قطر برابر سینه	۱۵/۴۱ ۴±/۳۳	۷/۵۰	۲۵/۰۰
سطح تاج	۶/۱۵ ۱±/۱۱	۰/۷۹	۶/۱۵
تراکم درخت در هکتار	۱۵۰۰± ۴۵	۱۴۲۰	۱۵۷۵



شکل ۲- پراکنش درختان در کلاسه‌های ارتفاع درختان برای توده مورد پژوهش

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۳- پراکنش درختان در طبقات قطر برابر سینه درختان برای توده مورد پژوهش بر حسب سانتی‌متر



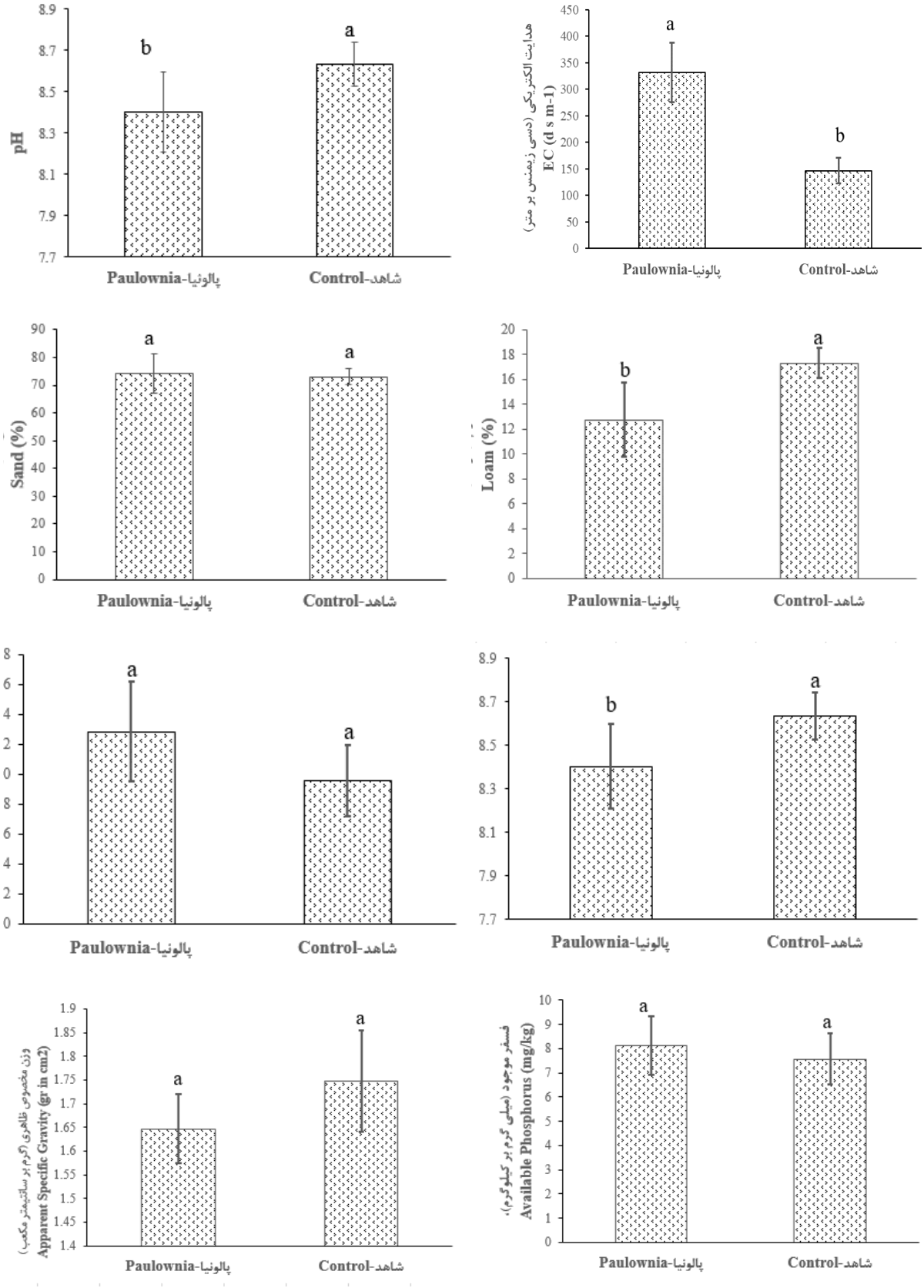
شکل ۴-پراکنش درختان در کلاسه‌های سطح تاج درختان برای توده مورد پژوهش

جدول ۲- نتایج آزمون تی مستقل برای بررسی و مقایسه برخی پارامترهای فیزیکی – شیمیایی خاک در توده پالونیا و شاهد

پارامتر	آماره t	درجه آزادی	Sig.
اسیدیته	-۳/۲۶۱	۱۸	**۰/۰۰۴
هدایت الکتریکی	۴/۵۲۹	۱۸	**۰/۰۰۰
شن	۰/۵۳۲	۱۸	ns۰/۶۰۱
لوم	-۳/۳۷۴	۱۸	**۰/۰۰۳
رس	۱/۵۷۲	۱۸	ns۰/۱۳۳
وزن مخصوص ظاهری	۱/۷۱۱	۱۸	ns۰/۱۰۴
وزن خشک (درصد)	-۲/۴۴۰	۸	**۰/۰۴۱
رطوبت (درصد)	-۲/۴۴۰	۸	**۰/۰۴۱
فسفر	۱/۱۰	۱۸	ns۰/۸۲

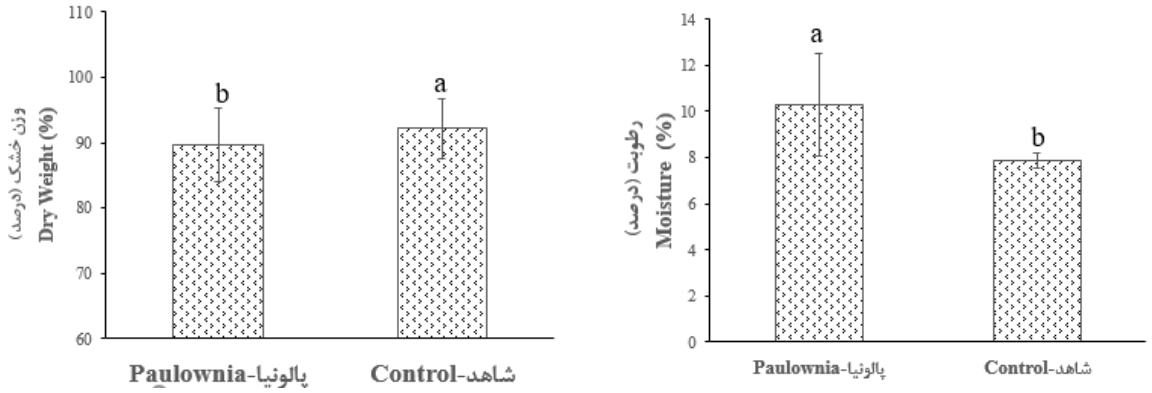
ns فاقد اختلاف معنی‌دار و ** دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۵- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توده‌های پالونیا و منطقه شاهد

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]



ادامه شکل ۵

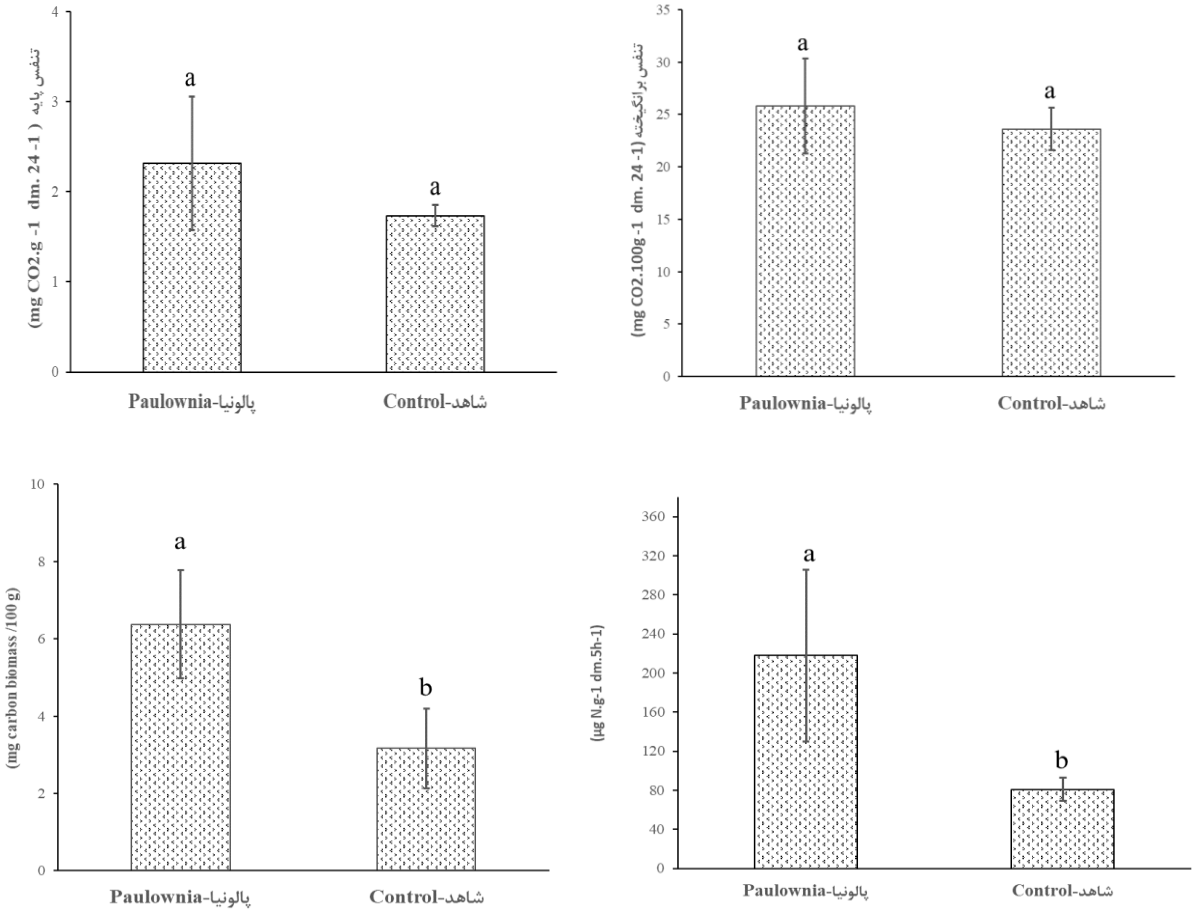
شاخص‌های زیستی خاک: آمار توصیفی شاخص‌های زیستی خاک در دو توده پالونیا و شاهد در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج آزمون T مستقل نشان داد که از میان شاخص‌های زیستی، تنفس پایه و تنفس برانگیخته فاقد اختلاف معنی‌دار و شاخص های پتانسیل نیتریفیکاسیون و بیومس میکروبی کربن‌دار اختلاف معنی دار در سطح ۹۹ درصد است. بر اساس شکل ۶ مشاهده می‌شود که میزان شاخص زیستی تنفس پایه خاک در توده پالونیا بیشتر از توده شاهد ولی این اختلاف معنیدار نیست. همچنین مشاهده می‌شود که میزان شاخص زیستی تنفس برانگیخته خاک در توده پالونیا بیشتر از توده شاهد است. شاخص زیستی بیومس میکروبی کربن در توده پالونیا به طور معنیداری بیشتر از توده شاهد است. بر اساس نتایج مشاهده می‌شودکه میزان شاخص زیستی پتانسیل نیتریفیکاسیون در توده پالونیا به طور معنیداری بیشتر از توده شاهد است (شکل ۶)

جدول ۳- نتایج آزمون تی مستقل برای بررسی و مقایسه شاخص‌های زیستی و برخی پارامترهای زیستی خاک در توده پالونیا و شاهد

پارامتر	آماره t	درجه آزادی	Sig.
تنفس پایه (mg CO2.g -1 dm. 24 -1)	۱/۷۳۷	۸	ns۰/۱۲۱
تنفس برانگیخته (mg CO2.100g -1 dm. 24 -1)	۰/۵۸۸	۸	ns۰/۵۷۳
بیومس میکروبی کربن (mg carbon biomass /100 g)	۴/۱۲۰	۸	** ۰۰۳/
پتانسیل نیتریفیکاسیون (µg N.g-1 dm.5h-1)	۳/۴۵۱	۸	** ۰۰۹/

ns فاقد اختلاف ns فاقد اختلاف معنی‌دار و ** دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۶- نمودار شاخص‌های زیستی خاک پارامترهای زیستی خاک در توده پالونیا و شاهد

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نقش اساسی گیاهان در تعادل اکوسیستم-ها، ضرورت شناخت روابط بین گیاهان و عوامل محیطی جهت حفظ ثبات و پایداری آن‌ها امری اجتناب ناپذیر است. گیاهان براساس ویژگی‌ها و خصوصیات رویشگاهی، نیازهای زیست بومی و دامنه بردباری خود با برخی از مشخصه‌های خاک رابطه دارند. فاکتورهای خاکی هم به-صورت مستقیم و هم غیرمستقیم، بیشترین تأثیر را نسبت به سایر عوامل بر روی پوشش گیاهی دارند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد نوع گونه های درختی می‌تواند برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک را تحت تاثیر قرار دهد. تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارزیابی کیفیت آن مؤثر است. تحقیقات نشان می دهد که کاشت گونه‌های پهن‌برگ مانند پالونیا نسبت به سوزنی برگ اثرات مثبت بیشتری به خصوصیات خاک دارد. به عنوان مثال در تحقیقی رفیقی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که توده‌های پهن‌برگ (با گونه‌های درختی افرا پلت، آزاد، انجیلی، بلوط بلند مازو و ممرز) در مقایسه با توده‌های سوزنی‌برگ (با گونه کاج تدا) باعث بهبود ویژگی‌های خاک می‌شوند. نتایج تحقیق نشان داد که میزان اسیدیته در توده تحت کاشت پالونیا کمتر از شاهد است، به دلیل بیومس بیشتر ریشه و ترشح اسیدهای آلی و مقدار دی‌اکسیدکربن آزاد شده از ریشه و فعالیت میکروارگانیسم‌ها سبب کاهش اسیدیته در توده شاهد شده است (Wu et al., 2024). ترشح اسیدهای ارگانیک از ریشه‌ها و دی‌اکسیدکربن که از ریشه‌ها و میکروارگانیسم‌ها انتشار می‌یابد، می‌تواند اسیدیته خاک را کاهش دهد. بر اساس شکل ۴ مشاهده می‌شود که میزان شاخص اسیدیته خاک در توده شاهد بیشتر از توده پالونیا است. از طرفی میزان هدایت الکتریکی در توده پالونیا نیز به طور معنیداری بیشتر از توده شاهد است. بنابراین اینگونه می‌توان بیان نمود که تغییرات مقدار هدایت الکتریکی به گونه‌ای با پوشش گیاهی مرتبط است. پژوهش‌ها حاکی از آن هستند که منشا اصلی یون‌های

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

خاک بارش‌های اتمسفری، تجزیه بقایای گیاهی و آزاد شدن یون‌های موجود در آن‌ها و تخریب شیمیایی کانی-های خاک است. پس می‌توان انتظار داشت به دلایلی مثل افزایش پوشش گیاهی، افزایش لاشبرگ در سطح زمین، رطوبت کافی جهت ایجاد شرایط مناسب برای کنش‌های میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه تجزیه بقایای گیاهی و تخریب شیمیایی کانی‌ها، غلظت املاح محلول در خاک و هدایت الکتریکی افزایش یابد. افزایش نفوذ ریشه و فعالیت‌های بیولوژیکی باعث تسهیل هوادهی و نفوذ آب به داخل خاک و در نتیجه سبب کاهش وزن مخصوص ظاهری در آن‌ها می‌شود. به نظر می‌رسد دلیل پایین بودن وزن مخصوص ظاهری خاک در توده‌های پالونیا همین مساله باشد. در توده‌های پالونیا جمعیت فون خاک بیشتر است (Woźniak et al., 2022). به‌طورکلی یک رابطه دو طرفه بین وزن‌مخصوص ظاهری و کربن آلی وجود دارد، به نحوی که افزایش ماده آلی، باعث کاهش وزن مخصوص و افزایش خلل و فرج و بهبود نفوذپذیری خواهد شد که خود باعث کاهش رواناب و کاهش فرسایش می-گردد. این فرآیند نیز خود باعث کاهش هدر رفتن کربن از طریق فرسایش می‌شود. این مساله به وضوح در مورد توده پالونیا مشاهده می‌شود. بر اساس شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که وزن مخصوص ظاهری خاک در توده پالونیا بیشتر از توده شاهد است.

معیری و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیق با عنوان ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی زراعت پالونیا (*Paulownia fortunei*) به این نتیجه رسیدند که تعیین ویژگی‌های کمی و کیفی عرصه‌های جنگل‌کاری بستر مناسبی را برای شناخت دقیق‌تر تأثیر این عرصه‌ها بر روند تکامل اکوسیستم و نحوهٔ مدیریت بهینه آنها برای تأمین چوب مورد نیاز منطقه و بهره‌گیری از خدمات زیست‌محیطی آن‌ها فراهم خواهد کرد. بر طبق نتایج کاربری جنگل آمیخته از نظر شاخص‌های زیستی گیاهی و مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت به دیگر کاربری‌ها دارای بهترین عملکرد می‌باشد (مسلمی و همکاران، ۱۳۹۸). ژائو و همکاران (Zhao et al., 2020) در بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر ویژگی‌های خاک در امتداد مناطق ساحلی رودخانه بیجیانگ در جنوب چین به این نتیجه رسیدند که ارتباط معنی‌داری را بین مقدار کربن آلی خاک و ازت نیتراتی با نوع پوشش گیاهی وجود دارد و بین پوشش درختان و درختچه‌ها با خواص شیمیایی خاک ارتباط معنی‌داری وجود داشت. جنگل کاری با گونه‌های پهن‌برگ و به خصوص سوزنی‌برگ باعث بهبود کیفیت خاک نسبت به پوشش‌های کشاورزی و چراگاه شده است که می‌تواند وابسته به انباشتگی لاشبرگ فراوان و خاستگاه کربن آلی برای ریزجانداران در این پوشش‌ها باشد. بررسی‌ها نشان داد که تودهٔ موردنظر وضعیت پایداری خوبی دارد و می‌توان در زراعت چوب بر روی پرورش دوباره جست‌ها و تشکیل یک توده در این گونه سرمایه‌گذاری کرد. مدیررحمتی و همکاران (۱۳۹۴) میانگین قطر این گونه را در یک دوره پنجساله ۷/۱ سانتی متر و میانگین ارتفاع را ۴/۲۶ متر، میانگین قطر را در ۱۴ سالگی ۴۱ سانتی‌متر در فاصلهٔ کاشت ۷×۷ متر، میانگین ارتفاع را در دورهٔ ۱۴ ساله ۲۱/۶۶ متر، حجم تک‌درخت را در این سن ۱/۵۱ مترمکعب در فاصله کاشت ۵×۶ متر، حجم در هکتار در سال را ۲۴/۶۵ مترمکعب برآورد کرده‌اند و محمدی و معیری (۱۳۹۵) میانگین قطر را در فاصله کاشت ۵×۸ متر ۳۹/۹ سانتی‌متر در دورهٔ ۱۸ ساله و میانگین ارتفاع را در این دوره ۱۹/۶ متر برآورد کرده‌اند. برگمن (Bergman, 2003) میانگین قطر را در ۵-۶ سالگی ۳۰-۴۰ سانتی‌متر، (Jimenez et al., 2005)، حجم تک‌درخت پالونیا را در سن ۵-۷ سالگی یک مترمکعب و (Rao, 1986) میانگین قطر را در ده‌سالگی ۳۰-۴۰ سانتی‌متر و حجم تک‌درخت پالونیا را در این سن ۰/۳ –۰/۵ مترمکعب برآورد کرده‌اند. ریاحی فر و همکاران (۱۳۸۷) برای بررسی رویش دو گونهٔ صنوبر و پالونیا در یک جنگلکاری پنج ساله در حوزهٔ شرکت چوب و کاغذ مازندران با اندازه‌گیری مشخصه‌های قطر برابر سینه و ارتفاع این دو گونه را از نظر میزان رویش قطری و ارتفاعی مورد بررسی و مقایسه قرار داده‌اند که در نتیجهٔ آن متوسط رویش سالانه ارتفاعی پالونیا ۱/۲۳ متر برای فواصل کاشت مختلف و متوسط رویش قطری در فواصل سه، چهار و پنج متری به ترتیب ۲/۵، ۲/۷ و ۲/۲ سانتی‌متر گزارش شده است. فعال-خواه و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی برای بررسی ویژگی-های کمی و کیفی درختان تبریزی در فواصل کاشت مختلف، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان و مشخصه‌های کیفی را اندازه‌گیری کردند نتایج این پژوهش حاکی از آن بوده است که بیشترین میانگین قطر برابر سینه و ارتفاع درختان در فواصل کاشت ۱× ۳ متر و ۱ × ۱/۵ متر بود ولی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

میانگین حجم محاسبه شده در فواصل کاشت مختلف اختلاف معنی‌دار نداشته‌اند.

تنفس میکروبی خاک در بایوم‌های مختلف متفاوت است که تاثیر گیاهان بر تنفس میکروبی خاک را نشان می دهد (Sche dlbauer and Miller, 2022). عوامل محیطی مانند فصل، دما و رطوبت خاک نیز بر تنفس میکروبی خاک تاثیر می‌گذارد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد تنفس میکروبی خاک در منطقه زراعت چوب پالونیا به طور معنی‌داری بالاتر از منطقه شاهد است. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که تغییرات کاربری باعث تغییر در تنفس میکروبی خاک می‌شود (به علت تغییر در خصوصیات خاک و میکروارگانیسم‌های خاک)، در این مطالعه نیز تغییر کاربری از زمین بایر به زراعت چوب پالونیا باعث تغییر در خصوصات خاک و افزایش تنفس میکروبی شده است (زندی و همکاران، ۱۳۹۹).

با وجود اینکه میزان تنفس پایه و برانگیخته تحت زراعت چوب بیشتر از منطقه شاهد می‌باشد ولی این مقدار معنی‌دار نمی‌باشد. حیدری و همکاران (۱۴۰۱) به این نتیجه رسیدن که نوع مدیریت جنگل در تنفس میکروبی خاک تاثیرگذار است به طوری که بیشترین میانگین تنفس پایه و برانگیخته در توده با ساختار شاخه زاد ناهمسال نامنظم دواشکوبه مشاهده شد. علت اصلی بیشتر بودن تنفس پایه و برانگیخته در این قطعه نمونه‌ها مربووط به بازگشت بیشتر بقایای درختی خاک است و این دو قطعه نمونه از نظر رویه زمینی، میانگین قطر برابر سینه و درصد تاج پوشش نسبت به دیگر رویشگاه‌ها بیان شد. این نتایج منطبق با محقیقین مختلفی مانند (Gömöryová et al., 2011; Cortez et al., 2014) است. بالابودن شاخص‌های زیستی خاک تحت زراعت چوب پالونیا نسبت به منطقه شاهد بیانگر اینست که کاشت این گونه باعث ایجاد پویایی بیشتر و افزایش میکروارگانیسم‌ها در خاک شده است.

پتانسیل نیتریفیکاسیون در خاک‌های مختلف متفاوت است و بستگی به جمعیت (فروانی و تنوع) باکتری‌های نیترات‌ساز (nitrifying) و همچنین شرایط محیطی مانند pH خاک، میزان رطوبت، غلظت سوبسترا و میزان اکسیژن در دسترس دارد (Krave et al., 2002). نتایج تحقیق نشان می‌دهد پتانسیل نیتریفیکاسیون در منطقه کاشت پالونیا نسبت به منطقه شاهد به طرز معنی‌داری بیشتر است که نشان دهنده این مطلب است که کاشت پالونیا باعث افزایش رطوبت خاک، تعدیل pH و میزان اکسیژن در دسترس خاک و در نهایت پتانسیل نیتریفیکاسیون شده است (Krave et al., 2002; Guo et al., 2023).

درمجموع، پژوهش حاضر نشان داد که ساختار جنگل (پراکنش درختان در طبقه‌های قطری، تاج‌پوشش و تراکم) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر داشته و رویشگاه‌های با ساختار شاخه‌زاد کم‌قطر (با تاج‌پوشش و تراکم بیشتر) سبب افزایش هدایت الکتریکی، فسفر قابل جذب و میزان رطوبت وزنی شدند. نتایج آزمون تی مستقل برای بررسی و مقایسه شاخص‌های زیستی و برخی پارامترهای فیزیکی خاک در توده پالونیا و شاهد نشان داد که از میان شاخص‌های زیستی، تنفس پایه و تنفس برانگیخته فاقد اختلاف معنی دار و شاخص های پتانسیل نیتریفیکاسیون و بیومس میکروبی کربن دارا اختلاف معنی دار در سطح ۹۹ درصد است. همچنین بر طبق نتایج میزان شاخص زیستی تنفس پایه خاک ، شاخص زیستی بیومس میکروبی کربن، شاخص زیستی پتانسیل نیتریفیکاسیون در توده پالونیا بیشتر از توده شاهد است. به طور کلی نتایج نشان داد که کاشت پالونیا تأثیرات مثبتی بر بهبود برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارد. با این حال، برای درک جامع‌تر و تقویت نتایج به‌دست‌آمده و تعمیم آن‌ها به مقیاس جنگل‌کاری گسترده، انجام مطالعات تکمیلی پیشنهاد می‌شود. از جمله می‌توان به اجرای پژوهش‌های چندساله برای ارزیابی پایداری تغییرات در طول زمان، نمونه‌برداری از اعماق بیشتر خاک به‌منظور بررسی تأثیر ریشه‌های عمیق پالونیا و مطالعه دقیق‌تر تنوع و ترکیب میکروارگانیسم‌های خاک اشاره کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، کاشت پالونیا به‌صورت تلفیقی با گونه‌های بومی بررسی شود تا ضمن بهره‌مندی از اثرات اصلاحی این درخت، پایداری اکولوژیکی و تنوع زیستی نیز حفظ گردد.

منابع

حیدری، م.، تیموری، م.، پورهاشمی، م.، علی زاده، ط. ۱۴۰۱. تغییرات تنفس میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون خاک در توده‌های جنگلی با ساختار متفاوت در استان کردستان. بوم شناسی جنگل های ایران، ۱۰ (۲۰) :۷۲-۶۴.

فعال خواه، ا.، رمضانی کاکرودی، ا.، علیجانپور، ا.، بانج شفیعی، ع. ۱۳۹۵. تأثیر فاصله کاشت بر ویژگی‌های کمی و کیفی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

درختان صنوبر تبریزی (*Populus nigra* L). پژوهش و توسعه جنگل، ۲(۴): ۳۳۷-۳۵۱.

محمدی، ع.، معیری، م.ه. ۱۳۹۵. تعیین مناسب ترین سن بهره‌برداری اقتصادی توده‌های همسال پالونیا (مطالعه موردی طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا استان گلستان). پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۳(۲)، ۲۰۳-۲۲۴.

معیری، م.، حاتمی، ن.، طبرسا.، ت. ۱۳۹۷. ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی زراعت پالونیا (*Paulownia fortunei*) در اراضی شیب‌دار (تحقیق موردی: منطقه توسکستان-گرگان). پژوهش و توسعه جنگل، ۴(۱): ۹۱-۱۱۲.

مدیررحمتی، ع.، قاسمی، ر.، کلاگری، م، باقری، ر. ۱۳۹۴. بررسی ارقام مناسب صنوبر و پالونیا در ارتفاعات مناطق کوهستانی شمال کشور (پژوهش موردی: منطقه رستم آباد گیلان) .تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۲(۴)۷۳۶-۷۴۸.

مسلمی. س.م.، جلالی س.غ.، حجتی، س.م، کوچ، ی. ۱۳۹۸. اثر توده های مختلف جنگلی بر خصوصیات خاک، تنوع زیستی پوشش علفی کف و زادآوری در سری الندان- ساری، بوم شناسی جنگل های ایران، ۷ (۱۴)،۲۱-۱۰.

مهرنوش، س.، بهشتی، ع.، رخش، فاطمه.، پوررضا، م.، صفری سنجانی، ع. ۱۴۰۱. مقایسه فعالیت زیستی خاک در جنگل با درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در منطقه بیستون کرمانشاه. *آب و خاک*، ۳۶(۵): ۶۱۰-۵۹۳.

رفیقی، م.ر.، اکبری، م.، فخارنیا، م.ح.، وحیدنی، م.ح. ۱۴۰۱. مقایسه ی تاثیر درختان سوزنی برگ و پهن برگ در تغییرات دمای سطح زمین (مطالعه ی موردی پارک شهید چمران کرج و پارک چیتگر تهران). جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۶ (۸۲)، ۹۵-۱۱۲.

ریاحی‌فر، ن، فلاح، ا، محمدی سمانی، ک، گرجی مهلبانی، ی. ۱۳۸۷. مقایسه رویش دو گونه صنوبر و پالونیا در فواصل کاشت مختلف در شمال ایران. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۶ (۳)، ۴۴۴-۴۵۴.

زندی، ل.، عرفان‌زاده، ر.، جنیدی، ح. ۱۳۹۹. مطالعه تأثیر نوع کشت گونه‌های زراعی و باغی در مراتع طبیعی بر فاکتورهای کیفی خاک با تاکید بر تنفس میکروبی. *مرتع* ۱۴ (۱) :۱-۱۱.

Abliz, A., Halik, U., M. Welp, M., Zhang, X. 2015. Effects of shelterbelt afforestation on soil properties in Kökyar, NW China. International Journal of Applied Environmental Sciences 10 (6), 2017-2036.

Bass, J. 2004. Mooretrees intheropics, Area, 36, 19-32.

Bending, G.D., Turner, M.K. Jones, J.E. 2002. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. Soil Biology and Biochemistry, 34 (8):1073-1082.

Bergmann, B. A. 2003. Five years of Paulownia field trials in North Carolina. New forests, 25: 185-199.

Bhaduri, D., Sihi, D., Bhowmik, A., Verma, B. C., Munda, S., Dari, B. 2022. A review on effective soil health bio-indicators for ecosystem restoration and sustainability. Frontiers inMicrobiology, 13, 938481.

Cortez, C.T., Nunes, L.A.P.L., Rodrigues, L.B., Eisenhauer, N., Araújo, A.D. 2014. Soil microbial properties in *Eucalyptus grandis* plantations of different ages. Journal of soil science and plant nutrition, 14(3): 734-742.

Gömöryová, E., Střelcová, K., Fleischer, P., Gömöry, D. 2011. Soil microbial characteristics at the monitoring plots on windthrow areas of the Tatra National Park (Slovakia): their assessment as environmental indicators. Environmental Monitoring and Assessment, 174 (1): 31-45.

Guo, L., Tóth, T., Yang, F., Wang, Z. 2023. Effects of different types of vegetation cover on soil microorganisms and humus characteristics of soda-saline land in the Songnen Plain. Frontiers in Microbiology, 14: 1163444.

Jiménez, L., Rodríguez, A., Ferrer, J.L., Pérez, A., Angulo, V. 2005. Paulownia, a fast-growing plant, as a raw materialfor paper manufacturing. Afinidad, 62 (516): 100-105.

Juhos, K., Nugroho, P.A., Jakab, G., Prettl, N., Kotroczó, Z., Szigeti, N., Szalai, Z., Madarász, B. 2024. A comprehensive analysis of soil health indicators in a long-term conservation tillage experiment. Soil Use and Management, 40(1): 12942.

Krave, A.S., Van Straalen, N.M., van Verseveld, H.W. 2002. Potential nitrification and factors influencing nitrification in pine forest and agricultural soils in Central Java, Indonesia. Pedobiologia, 46(6): 573-594.

Li, D., Niu, S., Luo, Y. 2012. Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: a meta-analysis. New Phytologist, 195 (1): 172-181.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

Toogood, J.A.1958. A simplified textural classification diagram. Canadian Journal of Soil Science, 38 (1):.54-55.

Woźniak, M., Gałązka, A., Siebielec, G. Frąc, M. 2022. Can the biological activity of abandoned soils be changed by the growth of Paulownia elongata× Paulownia fortunei? Preliminary study on a young tree plantation. Agriculture, 12 (2): 128.

Woźniak, M., Jama-Rodzeńska, A., Gębarowska, E., Liszewski, M., Siebielec, S., Kaczmarek-Pienczewska, A., Bąbelewski, P. 2024. Effect of intercropping of paulownia and buckwheat on soil microbial biodiversity and enzymatic activity, 15(4):888. https://doi.org/10.3390/agronomy15040888

Wu, D., He, X., Jiang, L., Li, W., Wang, H. Lv, G. 2024. Root exudates facilitate the regulation of soil microbial community function in the genus Haloxylon. Frontiers in plant science, 15: 1461893.

Xiang, T., Qiang, F., Liu, G., Liu, C., Liu, Y., Ai, N. Ma, H. 2023. Soil quality evaluation of typical vegetation and their response to precipitation in loess hilly and gully areas. *Forests*, *14*(9):1909.

Zhao, Q., Ding, S., Liu, Q., Wang, S., Jing, Y., Lu, M. 2020. Vegetation influences soil properties along riparian zones of the Beijiang River in Southern China. PeerJ, *8*: e9699.

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

Mclean, E.O. 1982. Soil pH and Lime Requirement. *In: Page, A.L., Ed.*, Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, 199-224.

Moreno, J.L., Bastida, F., Ondono, S., Garcia, C., Andres-Abellan, M., Lopez-Serrano, F.R.. 2017. Agro-forestry management of Paulownia plantations and their impact on soil biological quality: The effects of fertilization and irrigation treatments. Applied Soil Ecology, 117: 46-56.

Olsen, S.R., Sommers L.E. 1982. Phosphorous. In: Methods of soil analisis (2nded) part2. Soil Science Society of America, Madison, WI.: 423-424.

Rafiei Jahed, R., Hosseini, M., Koch, Y. 2016. The effect of upper soil on soil properties in hand-planted and natural forest ecosystems. Wood and Forest Science and Technology Research, 23 (4): 1-24.

Rao, A. N. 1986. *Paulownia* in China: Cultivation and Utilization. Singapore: Asian Network for Biological Sciences & International Development Research Centre (IDRC), 65 pp.

Riahifar, N., Fallah, A., Mohammadi Samani, K., Gorji Mahlebani, Y. 2008. Comparing the growth of *Paulownia fortunei* and Populus deltoides plantations under different spacing in northern Iran, Iranian Journal of Forest and Poplar Research**,** 16 (3): 444-454.

Schedlbauer, J.L. Miller, J. 2022. Edge effects increase soil respiration without altering soil carbon stocks in temperate broadleaf forests. Ecosphere, 13(6): 4092.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]