IRANIAN JOURNAL OF FOREST AND POPLAR RESEARCH
RIFR

10.22092/ijfpr.2025.369846.2202
Vol. 34, No. 1, Page 98-111 (2026)

Short Article

Key soil properties and their simple field assessment in the Hyrcanian forest, Iran: From soil to vegetation

Ali Salehi

Associate Prof., Department of Forest Science & Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran. Email: asalehi@guilan.ac.ir

Received: 20.06.2025 Revised: 15.2025.2026 Accepted: 16.07.2025

Introduction: In general, when the study and analysis of soils, particularly in forest ecosystems, are considered, issues such as time, cost, and methodological complexity are among the primary challenges. A comprehensive and well-designed soil assessment inevitably involves these limitations. Nevertheless, researchers, managers, and practitioners working in natural ecosystems continuously seek approaches that maintain an acceptable level of accuracy while being cost-effective and relatively simple to implement. The main objective of this paper is based on this concept: to identify, among the wide range of soil characteristics, the key properties that can effectively provide meaningful information about soil functions and roles within forest ecosystems. Once these essential properties are identified, the secondary objective is to introduce practical field-based methods for their assessment that are affordable, feasible, and sufficiently reliable for application in forest environments.

Main structure: In soil science, soil properties and processes are generally classified into three major groups: physical, chemical, and biological characteristics. Each group includes numerous attributes that, individually or collectively, contribute to understanding soil conditions and ecosystem functions. However, based on extensive scientific research and empirical evidence, some properties within each category have been recognized as particularly important due to their strong influence on soil performance and their relationships with other soil characteristics. Therefore, evaluating these key indicators can provide valuable insights and, in many cases, allow the estimation of additional soil attributes. Among physical properties, soil texture and soil compaction are considered fundamental indicators, while soil organic matter content and soil pH are among the most important chemical properties, with soil pH also influencing biological processes and nutrient availability. These characteristics are especially important in forest soils because they directly affect soil fertility, water availability, root development, and vegetation dynamics. Although accurate measurement of these properties is typically conducted under laboratory conditions, their approximate values can also be assessed in forest environments using simpler, more accessible field methods. Beyond soil characteristics, another essential component of forest ecosystem assessment is the evaluation of vegetation cover, ranging from herbaceous ground vegetation to overstory tree species. Understanding plant communities, their ecological requirements, and their distribution patterns across different sites can provide valuable information about soil conditions and other ecosystem processes. Vegetation can therefore serve as an ecological indicator, reflecting the integrated effects of soil properties, environmental conditions, and ecosystem functioning.

Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (https://ijfpr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Conclusion: Professionals working in natural ecosystems, particularly forest environments, continually seek approaches that balance accuracy, efficiency, and cost-effectiveness. This requirement is especially important in forest soil studies, where assessments are often associated with considerable complexity, time requirements, and financial costs. Considering forest vegetation as a reflection of overall ecosystem conditions provides a valuable opportunity to improve the efficiency of soil assessment approaches. Meanwhile, for researchers, managers, and forest specialists, understanding key soil properties, including soil texture, bulk density, compaction, soil pH, and organic matter content, and identifying practical methods for their field evaluation can provide an effective strategy for reducing resource requirements while maintaining reliable and informative assessments. Such approaches can contribute to improved forest monitoring, management, and conservation planning.

Keywords: Soil compaction, soil density, soil organic matter, soil pH, soil texture, vegetation cover.

مقاله کوتاه

ویژگی‌های شاخص خاک و ارزیابی میدانی ساده آن‌ها در جنگل هیرکانی: از خاک تا پوشش گیاهی

علی صالحی

دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. پست الکترونیک: asalehi@guilan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱ تاریخ اصلاح: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵

چکیده

مقدمه: هنگامی‌که مطالعه و بررسی خاک به‌ویژه در عرصه‌های جنگلی مطرح باشد، بحث زمان، هزینه‌ها و سختی کار، اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. واقعیت آن است که برای دستیابی به نتایج دقیق و قابل‌اتکا در ارزیابی خاک، این ملاحظات اجتناب‌ناپذیرند. در عین حال، افرادی که در عرصه‌های طبیعی فعالیت می‌کنند، به‌دنبال روش‌هایی هستند که در عین دقت قابل‌قبول، سهولت لازم و هزینه‌های کمتری را به‌همراه داشته باشند. هدف اصلی مقاله پیش‌رو، مبتنی‌بر همین رویکرد است. یعنی شناسایی و معرفی آن دسته از ویژگی‌های خاک که بتوانند با دقتی قابل‌قبول، اطلاعات ضروری برای درک عملکردها و وظایف خاک در عرصه‌های جنگلی را فراهم کنند. در ادامه، روش‌هایی معرفی خواهند شد که سنجش این ویژگی‌ها را به‌صورت میدانی، با سهولت و صرف هزینه کمتر ممکن می‌کند.

بدنه: در علم خاک‌شناسی، ویژگی‌های خاک اغلب در سه گروه اصلی فیزیکی، شیمیایی و زیستی طبقه‌بندی می‌شوند. در هریک از این گروه‌ها، مجموعه‌ای از ویژگی‌ها وجود دارند که می‌توانند به‌طور مؤثری ماهیت و نقش عملکردی خاک را تبیین کنند. براساس پژوهش‌های متعدد، برخی از این ویژگی‌ها به‌عنوان «شاخص» قابل‌شناسایی هستند. به این معنا که از یک‌سو، خود نماینده عملکردهای خاک هستند و از سوی دیگر با بسیاری از ویژگی‌های دیگر، رابطه آماری و بوم‌شناختی دارند. بافت خاک و فشردگی خاک از میان ویژگی‌های فیزیکی، مواد آلی و اسیدیته خاک از میان ویژگی‌های شیمیایی که تاحدی می‌توانند به‌عنوان معرف ویژگی‌های زیستی و تغذیه‌ای خاک نیز مطرح باشد، را می‌توان به‌عنوان ویژگی‌های شاخص در سه گروه یادشده به‌ویژه در خاک‌های جنگلی معرفی کرد. اگرچه مقدار این ویژگی‌های شاخص می‌تواند در آزمایشگاه و به‌طور دقیق تعیین شود، اما می‌توان با امکان‌پذیرترین روش‌ها در عرصه جنگلی نیز آن‌ها را اندازه‌گیری کرد. در کنار ویژگی‌های خاک، موضوع بسیار مهم دیگر در بررسی خاک‌های جنگلی و در اصل در بوم‌سازگان‌های جنگلی، توجه به مجموعه پوشش‌های رستنی از گونه‌های علفی کف تا درختان است. شناخت مناسب از این گیاهان و نیاز آن‌ها و ظهور و عدم حضورشان در مناطق مختلف، آیینه‌ای از ویژگی‌های خاک و اجزای دیگر بوم‌سازگان جنگلی می‌تواند باشد.

جمع‌بندی: افرادی که در طبیعت و به‌ویژه در جنگل مشغول به‌کار هستند، همواره به‌دنبال روش‌هایی هستند که علاوه‌بر دقت قابل‌قبول، در زمان و هزینه‌ها نیز صرفه‌جویی داشته باشند. این موضوع شاید در بررسی و مطالعه خاک‌های جنگلی، که با هزینه‌ها و دشواری بیشتری همراه است، بیشتر مورد توجه قرار گیرد. نگاه دقیق به جنگل و شناخت عمیق پوشش گیاهی موجود در آن می‌تواند مبنایی مناسب برای دستیابی به اهداف فوق قرار گیرد. در عین حال، برای پژوهشگران، مدیران و کارشناسان جنگل که به بررسی خاک جنگل می‌پردازند، آگاهی از ویژگی‌های کلیدی مانند بافت، چگالی، فشردگی، نوع و میزان ماده آلی و اسیدیته خاک که بتوان آن‌ها را با روش‌های ساده‌تر تعیین کرد، راهکاری مناسب برای صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها است که باید به آن توجه کافی داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: اسیدیته خاک، بافت خاک، پوشش گیاهی، چگالی خاک، فشردگی خاک، ماده آلی خاک.

مقدمه

کارهای اجرایی و مطالعاتی در طبیعت و به‌ویژه در جنگل همواره با چالش‌های متعددی همراه هستند که سختی شرایط محیطی، هزینه زیاد و زمان‌بر بودن در صدر آن‌ها قرار دارند. افرادی که با طبیعت سروکار دارند، همواره به‌دنبال روش‌هایی برای کاهش این چالش‌ها هستند. شناخت بهتر طبیعت، داشتن تجربه، حضور مداوم در عرصه و انجام کار میدانی در اغلب موارد، کمک بسیار بزرگ برای کسانی است که در طبیعت مشغول به فعالیت هستند. به همین ترتیب، بررسی و مطالعه خاک‌های جنگلی نیز ازجمله مواردی است که علاوه‌بر زمان‌بر بودن، هزینه‌های متعدد برای برداشت خاک و آزمایش‌های مربوطه را به‌همراه دارد. براساس عرف‌های فعلی و معمول علاوه‌بر هزینه‌های کارشناسی و تردد، هزینه‌های کارگری برای نمونه‌برداری خاک در جنگل، سهم قابل‌توجهی از بودجه را به‌خود اختصاص می‌دهند. علاوه‌براین، هزینه آزمایش‌های مربوط به تعیین ویژگی‌های رایج و کلیدی خاک نیز در حال حاضر بسیار زیاد است. براساس تعرفه ارائه خدمات مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع در سال ۱۴۰۳، به‌طور متوسط برای تعیین ویژگی‌های معمول خاک مانند بافت، جرم مخصوص‌های خاک، رطوبت، میزان ماده آلی، اسیدیته خاک و عناصری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم که بتوانند فقط یک دیدگاه عمومی از خاک را بیان کنند، برای هر نمونه خاک باید حداقل ۱۰۰۰۰۰۰۰ ریال (یک میلیون تومان) هزینه شود (AREEO, 2024). به‌تبع با ازدیاد تعداد نمونه‌های خاک، هم هزینه‌های برداشت و هم هزینه‌های آزمایش‌ها، بسیار زیاد خواهند بود.

زمانی‌که بررسی خاک با هر هدفی چه در منابع طبیعی و چه در کشاورزی مدنظر باشد، بررسی ویژگی‌هایی از خاک مورد توجه قرار می‌گیرد که بتواند ماهیت و عملکردهای خاک را بهتر بیان کند. به‌طور معمول، در علم خاک‌شناسی، ویژگی‌های خاک را در سه گروه اصلی و کلیِ ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی طبقه‌بندی می‌کنند (FAO, 2006; Vasu *et al.*, 2024). در این سه گروه، ویژگی‌های متعددی وجود دارند که هرکدام می‌توانند ذات و عملکردهای خاک را بهتر توصیف کنند.

بافت، ساختمان، چگالی ظاهری و واقعی، تخلخل، وضعیت‌های مختلف رطوبتی و عمق خاک (به‌ویژه در مورد خاک‌های جنگلی) ازجمله مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک به‌شمار می‌روند (Shahouei, 2006; Jafari & Rostampour, 2018). در خصوص ویژگی‌های شیمیایی خاک نیز می‌توان به واکنش یا اسیدیته خاک (pH)، ماده آلی، موجودی و شکل‌های مختلف عناصر غذایی، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی‌ها اشاره کرد (Shahouei, 2006; Jafari & Rostampour, 2018). همچنین، میزان و نوع مواد آلی خاک، بررسی روند تجزیه مواد آلی و آزاد سازی عناصر، در بسیاری از موارد با ریزموجودات و درشت‌موجودات خاک‌زی و نقش و عملکردها آن‌ها وابسته هستند، بنابراین مواد آلی خاک در تبیین ویژگی‌های زیستی خاک‌ها، نقش اساسی دارند (Murphy, 2014; Grigal & Vance, 2000).

برمبنای پژوهش‌ها و یافته‌های علمی و تجربی فراوان از بین ویژگی‌های هر سه گروه ذکرشده، یک یا چند ویژگی شاخص‌تر هستند. به‌طوری‌که این ویژگی‌ها با بسیاری از ویژگی‌های دیگر خاک، رابطه و همبستگی قابل‌توجهی دارند. برای مثال در گروه ویژگی‌های فیزیکی، بافت خاک ازجمله ویژگی‌هایی است که می‌توان با تعیین آن، بسیاری از رفتارها و آثار ویژگی‌های دیگر خاک را پیش‌بینی کرد (Hazbavi & Sadeghi, 2016; Liu, 2022; Lull *et al.*, 2023). همچنین چگالی و فشردگی خاک که اغلب ارتباط تنگاتنگی باهم دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. این ویژگی‌ها با نفوذ آب در خاک، وضعیت ریشه‌دوانی گیاهان، تهویه و تبادلات حرارتی و گازی خاک مرتبط هستند (Tian *et al.*, 2022).

در برآورد ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک، میزان و نوع ماده آلی و اسیدیته خاک، نقش مهمی در پیش‌بینی نوع، نحوه و شدت عملکرد بسیاری از ریزموجودات و درشت‌موجودات خاک‌زی دارند (Zhou *et al*., 2023; Kooch, 2025). همچنین، با در نظر گرفتن شرایط محیطی و نوع تجزیه می‌توان برآورد مناسبی از میزان عناصر آزادشده حاصل از تجزیه این مواد را ارائه داد و درنهایت به ارزیابی قابل‌قبولی از حاصلخیزی خاک به‌ویژه در خاک‌های جنگلی دست یافت (Eremeev *et al*., 2020; Zhou *et al*., 2023).

به‌طور معمول، تعیین و برآورد ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌تواند در آزمایشگاه و به‌طور دقیق انجام شود. در کنار هزینه‌های قابل‌توجهی که برای انجام این آزمون‌ها به آزمایشگاه پرداخت می‌شود، نتایج حاصل، در صورت اجرای صحیحِ دستورالعمل‌های مربوطه می‌توانند قابل‌اطمینان باشند. در عین حال برای افرادی که با طبیعت مأنوس هستند و علاوه‌بر برخورداری از دانش و معلومات کافی، یافته‌های میدانی و تجربی خود را نیز به‌کار می‌گیرند، می‌توان روش‌هایی ساده‌تر، کم هزینه‌تر و سریع‌تر با قابلیت اجرایی را برای تعیین برخی از ویژگی‌های کلیدی و کاربردی خاک در نظر گرفت. برخی از این روش‌ها برگرفته از دانش تجربی در ارتباط با بررسی خاک‌های جنگلی هستند. بر این اساس، با به‌کارگیری برخی روش‌های ساده در تعیین برخی ویژگی‌های کلیدی خاک می‌توان بقیه ویژگی‌های اصلی خاک را با اطمینان قابل‌قبولی پیش‌بینی و برآورد کرد.

در کنار ویژگی‌های خاکی یادشده، موضوع بسیار مهم دیگر در بررسی خاک‌های جنگلی و در اصل در بوم‌سازگان‌های جنگلی، توجه به پوشش گیاهی از گونه‌های علفی کف جنگل تا درختان موجود در یک عرصه جنگلی است (Pordel *et al*., 2025). پژوهشگران بسیاری در داخل و خارج از کشور به اهمیتِ رابطه پوشش‌های مختلف گیاهی و ویژگی‌های خاک و عوامل بوم‌شناختی دیگر پرداخته‌اند و بر نقش مؤثر این ارتباط در شناخت و ارزیابی شرایط محیطی تأکید کرده‌اند (Eshaghi Rad *et al*., 2009; Pourbabaei *et al*., 2020).

هدف اصلیِ نوشتار پیش‌رو بر این ایده استوار است که از میان ویژگی‌های متعدد خاک، نخست، ویژگی‌هایی معرفی شوند که بتوانند اطلاعات مورد نیاز برای بررسی وظایف و عملکردهای خاک را در سطحی قابل‌قبول و متناسب با اهداف مورد نظر در عرصه‌های جنگلی در اختیار قرار دهند. پس از شناسایی این ویژگی‌ها، هدف دوم این مقاله، معرفی روش‌های ساده و بدون نیاز به آزمایشگاه است که بتوان این ویژگی‌ها را با کمترین هزینه، به‌آسانی و با دقت قابل‌قبول برآورد کرد. همچنین، در این مقاله با ارائه مثال‌هایی، اهمیت قابل‌توجه پوشش گیاهی در تبیین و پیش‌بینی ویژگی‌های خاک مورد توجه قرار خواهد گرفت. باتوجه‌به گستردگی موضوع، تمرکز اصلی این مقاله بر جنگل‌های هیرکانی است. اگرچه کلیات موضوعات را می‌توان در بوم‌سازگان‌های جنگلی دیگر نیز مدنظر قرار داد.

بدنه

به‌طور معمول در علم خاک‌شناسی، ویژگی‌های خاک را در سه گروه اصلی و کلی شامل ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی قرار می‌دهند. ویژگی‌های فیزیکی خاک در چگونگی ایفای نقش خاک در یک بوم‌سازگان، بسیار مؤثر هستند. استقرار گیاه، نفوذ ریشه، زهکشی، هوادهی، حفظ رطوبت و مواد مغذی گیاه با وضعیت فیزیکی خاک مرتبط هستند. خواص فیزیکی خاک که بر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک تأثیر می‌گذارند، به‌طورکلی به مقدار، اندازه، شکل، آرایش و ترکیب معدنی ذرات آن بستگی دارند (Shahouei, 2006; Jafari & Rostampour, 2018; Vasu *et al*., 2024).

ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل مواد غذایی، نمک‌ها، عناصر معدنی و ترکیبات مواد آلی هستند که تأثیر زیادی بر رشد و تغذیه گیاهان دارند و ظهور گونه‌های خاص را

در رویشگاه موجب می‌شوند. مواد آلی، اسیدیته، موجودی عناصر غذایی خاک، چگونگی آزاد شدن و در اختیار قرار گرفتن آن‌ها برای گیاه از مهم‌ترین عوامل شیمیایی هستند (Jafari & Rostampour, 2018).

ویژگی‌های زیستی خاک به موجودات زنده خاک، وظایف و عملکردها و نقش آن‌ها در خاک مربوط می‌شود. تعداد، تنوع و ترکیب نسبی موجودات خاک‌زی، تابعی از مشخصه‌های خاک (رطوبت، تهویه، واکنش خاک و عناصر غذایی)، عمق خاک، ویژگی‌های اقلیمی و پوشش‌های گیاهی هستند (Kooch, 2025).

در سه گروه ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، ویژگی‌های متعددی قرار گرفته‌اند که هرکدام می‌توانند ماهیت و کارکردهای خاک را بهتر و بیشتر توصیف کنند. در عین حال در میان انبوه این ویژگی‌ها، برخی ویژگی‌های خاک دارای نقش کلیدی هستند (ویژگی‌های کلیدی) که می‌توانند وظایف اصلی هریک از دسته‌های مذکور را بهتر نمایان کنند.

ویژگی‌های کلیدی خاک

از بین ویژگی‌های فیزیکی خاک، بافت خاک یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین ویژگی‌های است که بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی دیگر و حتی شیمیایی و زیستی خاک با آن ارتباط و همبستگی قابل‌توجهی دارند. Shahouei (۲۰۰۶) بیان می‌کند که بافت خاک، اولین و مهم‌ترین ویژگی خاک است که باید تعیین شود. زیرا خاک‌شناس می‌تواند نتایج بی‌شماری از این اطلاعات به‌دست آورد. علاوه‌براین، بافت خاک به‌راحتی دچار تغییر نمی‌شود، بنابراین به‌عنوان یک ویژگی اساسی و به‌نسبت پایدار مورد توجه قرار می‌گیرد.

پژوهش‌های بسیاری با به‌کارگیری روش‌های چندمتغیره و روش‌های دیگرِ تحلیل آماری، تأثیر بافت خاک بر بقیه ویژگی‌های خاک را تأیید کرده‌اند. بسیاری از ویژگی‌های خاک مانند نفوذپذیری آب در خاک، میزان ذخیره آب، قابلیت جذب آب توسط گیاه، مقاومت خاک نسبت به نفوذ ریشه، قابلیت جذب عناصر غذایی، ریشه‌دوانی بذرها و نهال‌های جنگلی و دمای خاک به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به بافت خاک وابسته هستند (Jafari & Rostampour, 2018). به‌علاوه، بافت خاک به‌عنوان یکی از عوامل اصلیِ کنترل پراکنش پوشش گیاهی در جنگل‌ها و مراتع به‌شمار می‌رود (Riestra *et al.*, 2012; Eshaghi Rad *et al.*, 2009).

از ویژگی‌های دیگر فیزیکی خاک‌ها می‌توان به فشردگی و چگالی آن‌ها اشاره کرد که اهمیت زیادی به‌ویژه در خاک‌های جنگلی دارند. فشردگی خاک با چگالی به‌ویژه چگالی ظاهری، ارتباط معنی‌داری دارد و در بسیاری از موارد می‌توان با اطلاع از یکی، دیگری را تخمین زد. مطالعه و شناخت میزان فشردگی خاک‌های جنگلی از جنبه‌های مختلف مفید است. از یک‌سو، اطلاع از این ویژگی می‌تواند در پیش‌بینی دیگر ویژگی‌های خاک و نیز فرایندهای بوم‌شناختی جنگل مؤثر باشد. در واقع، میزان فشردگی خاک بر تعداد و اندازه روزنه‌ها، نفوذپذیری آب، میزان رطوبت سطحی، رشد ریشه بذرها و نهال‌ها و درنتیجه بر تجدیدحیات طبیعی، تبادلات حرارتی و فعالیت موجودات خاک‌زی اثرگذار است (Salehi *et al.*, 2012). ازسوی دیگر، خاک‌های جنگلی به‌ویژه در لایه‌های سطحی ممکن است به دلایل گوناگون، درجه‌های مختلفی از فشردگی را تجربه کنند. تردد ماشین‌آلات، چرای دام، رفت‌وآمد انسان و دام، تخریب جنگل و عملیات بهره‌برداری و چوب‌کشی ازجمله عواملی هستند که می‌توانند بر فشردگی خاک تأثیرگذار باشند (Jourgholami *et al.*, 2013; Hashemi *et al.*, 2021).

ماده آلی خاک به‌ویژه در خاک‌های جنگلی، اهمیت زیادی دارد. به‌طوری‌که یکی از تفاوت‌های اساسی میان خاک‌های جنگلی و خاک‌های کشاورزی، کمیت و کیفیت ماده آلی موجود در آن‌ها است (Meshki & Kianian, 2014). بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به این ماده وابسته هستند. فعالیت‌های ریزموجودات

و درشت‌موجوداتِ خاک‌زی، آزادسازی بخش مهمی از عناصر غذایی به‌ویژه در خاک‌های جنگلی و تأمین منابع مهمی از نیتروژن، همگی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با ماده آلی در ارتباط هستند (Meshki & Kianian, 2014; Jafari & Rostampour, 2018; Zhou *et al*., 2023). همچنین، ماده آلی خاک از طریق اثرگذاری بر تشکیل خاک‌دانه‌ها، تغییر در چگالی واقعی، افزایش جذب آب و بهبود نفوذپذیری، نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، به‌ویژه در خاک‌های جنگلی دارد (Shahouei, 2006; Salehi *et al*., 2012; Ruehlmann, 2020). علاوه‌براین، وجود مقادیر مناسب ماده آلی همراه با ویژگی‌هایی مانند بافت مطلوب، ساختار مناسب و تخلخل کافی، نقش بسزایی در تجدیدحیات طبیعی جنگل، ریشه‌دوانی بذرها و نهال‌ها و استقرار نهال‌ها دارد (Salehi *et al*., 2012). در میان این عوامل، ایجاد ساختمان مناسب و تخلخل مطلوب خاک به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به ماده آلی و بافت خاک وابسته است (Ruehlmann, 2020).

یکی دیگر از ویژگی‌های شیمیایی خاک، pH است که نقش تعیین‌کننده‌ای در فراهم‌سازی عناصر غذایی، فعالیت میکروبی و پویایی عناصر فلزی در خاک‌های جنگلی دارد. در شرایط اسیدی، عناصر سمی مانند آلومینیوم به‌راحتی به‌شکل محلول درمی‌آیند و ممکن است به گیاه آسیب برسانند، درحالی‌که عناصر ضروری مانند کلسیم، منیزیم و فسفر کمتر در دسترس قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، در خاک‌های قلیایی، فراهم‌سازی ریزمغذی‌هایی مانند آهن، روی و مس، کاهش چشم‌گیری می‌یابد، بنابراین دامنه مناسب pH برای تعادل تغذیه‌ای و کارکرد پایدار بوم‌سازگان‌های جنگلی ضروری است (FAO, 2006; Shahouei, 2006).

تعیین ویژگی‌های کلیدی خاک در طبیعت و بدون نیاز به آزمایشگاه

براساس مطالب بیان‌شده در زیربخش قبل و پذیرش این موضوع که از میان ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های جنگلی، بافت، فشردگی و چگالی خاک و از میان ویژگی‌های شیمیایی، ماده آلی و اسیدیته خاک، مهم‌ترین و کلیدی‌ترین ویژگی‌ها به‌شمار می‌روند، در این زیربخش، چگونگی تعیین این ویژگی‌ها در طبیعت و بدون نیاز به آزمایشگاه بیان می‌شود.

تعیین مهم‌ترین کلاسه‌های بافت خاک به روش صحرایی (لمسی)

روش‌های هیدرومتریِ بایکاس و پی‌پت که به تعیین درصد ذرات تشکیل‌دهندهٔ خاک و درنهایت، بافت خاک منجر می‌شوند، روش‌های معتبری هستند که البته به آزمایشگاه و صرف هزینه و زمان نیاز دارند. در کنار این روش‌ها، روش لمسی یا صحرایی در یک زمان بسیار کوتاه می‌تواند مهم‌ترین کلاس‌های بافت خاک را مشخص کند (FAO, 2006). تعیین بافت خاک، یکی از مهارت‌های صحرایی است که ارزش عملی زیادی دارد و خاک‌شناس باید آن را یاد بگیرد! در این روش، نمونه‌ای چندگرمی از خاک که بتوان با آن و مقداری آب، نمونه‌ای گِلی آماده کرد، کافی است. این نمونه را باید با دست لمس کرد. سپس، آن را به شکل گلوله، نوار و یا لوله درآورد. درنهایت، برخی از کلاسه‌های مهم خاک را می‌توان براساس جدول ۱ تشخیص داد یا حداقل شناخت لازم را از بافت خاک به‌دست آورد. نمونه‌گیری از خاک بسته به هدف می‌تواند از عمق‌های مختلف خاک صورت گیرد.

جدول ۱- نوع کلاس بافت خاک، توصیف لمسی و ویژگی مختصر کلاس بافت خاک در تعیین بافت خاک به‌روش صحرایی

Table 1. Soil texture class type, tactile description, and brief characteristics of soil texture classes in the field method for soil texture determination

Soil texture class	Tactile description	Key field characteristics
Sandy	Coarse texture; does not form a ball; sand grains are distinctly felt	Excellent aeration; poor water retention; low nutrient-holding capacity; good root penetration but weak plant establishment.
Sandy Loam	Slightly cohesive but still coarse; forms a ball but not a ribbon or roll	Good aeration; poor water retention; moderately low nutrient-holding capacity; adequate root penetration and acceptable plant establishment.
Loam	Soft and smooth; slightly cohesive; difficult to form a ribbon or roll	Good aeration; acceptable water retention; acceptable nutrient-holding capacity; good root penetration and plant establishment.
Silty Loam	Soft with no grittiness; can form a short ribbon or roll (less than 2.5 cm)	Good aeration; moderate water retention; adequate nutrient-holding capacity; good root penetration and plant establishment.
Clay Loam	Smooth and sticky; forms a moderately long ribbon or roll (2.5–5 cm)	Fair aeration; good water retention; adequate nutrient-holding capacity; fair root penetration and good plant establishment.
Clay	Smooth and slick; very sticky; forms a long ribbon or roll (greater than 5 cm)	Poor aeration; high water retention; adequate nutrient-holding capacity; poor root penetration but good plant establishment.

برآورد فشردگی خاک

فشردگی خاک‌ها، پدیده‌ای است که ذرات خاک در اثر عوامل مختلف طبیعی و غیرطبیعی به‌هم نزدیک می‌شوند. درنتیجه، ضمن تأثیر بر تخلخل و چگالی ظاهری خاک، حرکت آب و هوا و رشد ریشه‌ها محدود می‌شود. برای برآورد فشردگی خاک، هم روش‌های صحرایی و مستقیم وجود دارد و هم با برآوردهای نفوذ آب و و ارزیابی مقدار و نفوذ ریشه‌ها به‌صورت صحرایی می‌توان این کار را انجام داد (FAO, 2006; Shepherd *et al*., 2008).

برآورد مستقیم فشردگی خاک به‌روش صحرایی

به‌منظور اندازه‌گیری یا برآورد فشردگی خاک، بسته به دقت مورد نظر و هزینه در دسترس، روش‌های مختلفی در آزمایشگاه و یا در عرصه ارائه می‌شود. برای این منظور در جنگل با استفاده از نفوذسنج (پنیترومتر) دستی می‌توان فشردگی خاک را با دقت قابل‌قبولی برآورد کرد (FAO, 2006; Jourgholami *et al*., 2013) (جدول ۲).

جدول ۲- طبقه‌بندی و برآورد فشردگی خاک با استفاده از پنیترومتر دستی

Table 2. Classification and estimation of soil compaction using a hand penetrometer

Penetration resistance (MPa)	Soil compaction level	Description and impact on root growth
<1	Low	Soft and permeable soil; suitable for water infiltration and root growth.
1-2	Moderate	Moderately resistant soil; infiltration and root growth may be somewhat restricted.
2-3	High	Relatively compact soil; root growth is limited.
>3	Very High	Severely compacted soil; root growth and water infiltration are significantly hindered.

در صورتی که پنیترومتر در دسترس نباشد، می‌توان با استفاده از ابزار ساده‌تر، فشردگی خاک را برآورد کرد. البته تکمیل‌کننده به‌کارگیری این ابزار ساده، بررسی تراکم و عمق نفوذ ریشه‌ها و برآورد صحرایی نفوذ آب است. بدین منظور باید چاله کوچکی به اندازه حدود ۳۰×۳۰×۳۰ سانتی‌متر مکعب حفر شود. از آنجایی که بیشترین میزان کوبیدگی اغلب در ۳۰ سانتی‌متری اول خاک اتفاق می‌افتد و به‌طور معمول، بیشترین میزان ریشه نیز در این عمق حضور دارد، برای بررسی‌های فشردگی خاک، نفوذ آب و ریشه‌ها، این عمق در نظر گرفته می‌شود. برای بررسی فشردگی خاک و میزان و پراکنش ریشه‌ها می‌توان به‌ازای هر ۱۰ سانتی‌متر، بررسی‌ها را انجام داد (عمق صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۳۰

سانتی‌متر) یا کل محدوده ۳۰ سانتی‌متر را در نظر گرفت. در این روش می‌توان از یک وسیله همراه مانند یک تکه چوب، میله یا چاقو استفاده کرد که بتوان آن را در خاک به‌صورت عمودی فرو برد. درنهایت، معیارهای موجود در جدول ۳ به‌کار برده شوند (FAO, 2006).

جدول ۳- برآورد ساده میزان فشردگی خاک با ابزار ساده

Table 3. Simple estimation of soil compaction using basic tools

Penetrometer insertion depth	Compaction class	Interpretation
Easily more than 10 cm	Low	Low soil compaction; easy root penetration and spreading.
With slight pressure, 5 to 10 cm	Moderate	Slightly compact soil; root growth may be limited.
With high pressure, less than 5 cm	High	Compacted soil; considerable restriction for root growth.
Penetrometer cannot be inserted	Very High	Highly compacted soil; severe limitation for root and water infiltration.

همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد، تکمیل کننده روش فوق، بررسی تراکم و عمق نفوذ ریشه و نفوذ آب است. برای بررسی تراکم و عمق نفوذ ریشه می‌توان همان گودال صفر تا ۳۰ سانتی‌متر را در نظر گرفت. پس از صاف کردن دیواره‌های این گودال، ریشه‌ها بررسی خواهند شد (شکل ۱-الف). در این حالت به‌ازای هر ۱۰ سانتی‌متر عمق، یک مربع ۱۰×۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. با شمارش تعداد ریشه‌ها در این سطح، تعداد و وضعیت ریشه‌ها و فشردگی خاک براساس جدول ۴ تفسیر خواهند شد.

جدول ۴- راهنمای برآورد تعداد ریشه‌ها و تفسیر وضعیت ریشه‌ها و فشردگی خاک

Table 4. Guide for estimating root density and interpreting root conditions and soil compaction

Root count per 100 cm²	Interpretation
>15	Very good – Healthy permanent roots, uncompacted soil, good drainage and water infiltration.
10–15	Good – Healthy permanent roots, slightly compacted soil, still good drainage and infiltration.
5–10	Moderate – Some restriction on root growth, moderately compacted soil, moderate water infiltration.
1–5	Weak – Weak permanent roots, compacted soil, weak drainage and infiltration.
<1	Very weak – Very weak permanent roots, severely compacted soil, very poor drainage and infiltration.

در این حالت، یکنواختی نفوذ ریشه‌ها را نیز می‌توان در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر بررسی کرد. براین‌اساس، اگر در همه اعماق مورد بررسی، تعداد ریشه‌ها تقریباً یکسان بود، یکنواختی مناسب را نشان می‌دهد. در غیر این صورت، یکنواختی مناسب نیست. یکنواختی مناسب بیانگر شرایط مناسب خاک ازنظر فشردگی و نفوذ ریشه‌ها تا عمق مورد نظر است (Hazbavi & Sadeghi, 2016; Mutuku *et al.*, 2021).

برای تکمیل موضوع فشردگی خاک می‌توان سرعت نفوذ آب را نیز در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر بررسی کرد. برای این منظور، یک حلقه سروته برش‌خورده، غیرقابل‌نفوذ به آب و با ارتفاع و قطر ۳۰ سانتی‌متر نیاز است (FAO, 2006; Shepherd *et al.*, 2008). این حلقه می‌تواند (سیلندر فلزی) و پلاستیکی (بخشی از دبه آب و یا بخشی از بطری پلاستیکی آب یا نوشابه) باشد (شکل ۱-ب). پس از قرار دادن حلقه مذکور در چاله تعبیه‌شده، نیم لیتر آب در این حلقه ریخته می‌شود. زمان جذب کامل آب به داخل خاک با زمان‌سنج ثبت می‌شود و با استفاده از جدول ۵ امتیازبندی و تفسیر سرعت نفوذ آب انجام خواهد شد.

جدول ۵- امتیازدهی و تفسیر نفوذ آب به روش صحرایی

Table 5. Scoring and interpretation of water infiltration using the field method

Complete water absorption time (min)	Interpretation	Score
<2	Very rapid infiltration; non-compacted soil, excellent drainage	3
2–5	Good infiltration; low soil compaction, good drainage	2
5–10	Moderate infiltration; moderately compacted soil, drainage somewhat limited	1
>10	Poor infiltration; compacted soil, poor drainage	0

برآورد میزان ماده آلی خاک

برای برآورد میزان ماده آلی خاک می‌توان مشخصه رنگ، وضعیت لاش‌برگ‌های کف جنگل و ساختمان خاک را مبنا قرار داد. به این منظور، هم لاش‌برگ‌های کف جنگل و هم ضخامت صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک برای تعیین رنگ و ساختمان خاک مدنظر قرار می‌گیرند. برای ارزیابی میزان ماده آلی، اطلاعات جدول ۶ می‌تواند به‌کار گفته شود.

جدول ۶- ارزیابی مقدار ماده آلی خاک با ویژگی‌های مختلف

Table 6. Assessment of soil organic matter based on various characteristics

Soil property	Very low (<1.5%)	Low (1.5–3%)	Medium (3–5%)	High (>5%)
Soil Color	Light or yellowish to brown	Brown	Dark brown	Very dark brown or black
Litter Thickness	Less than 0.5 cm	0.5–1.5 cm	1.5–3 cm	More than 3 cm
Soil Surface Cover	Less than 20%	Between 20% and 50%	Between 50% and 75%	More than 75%
Soil Structure	Cloddy or indistinct fine-grained	Fine and indistinct particles	Medium to fine granular	Clearly visible and coarse-grained

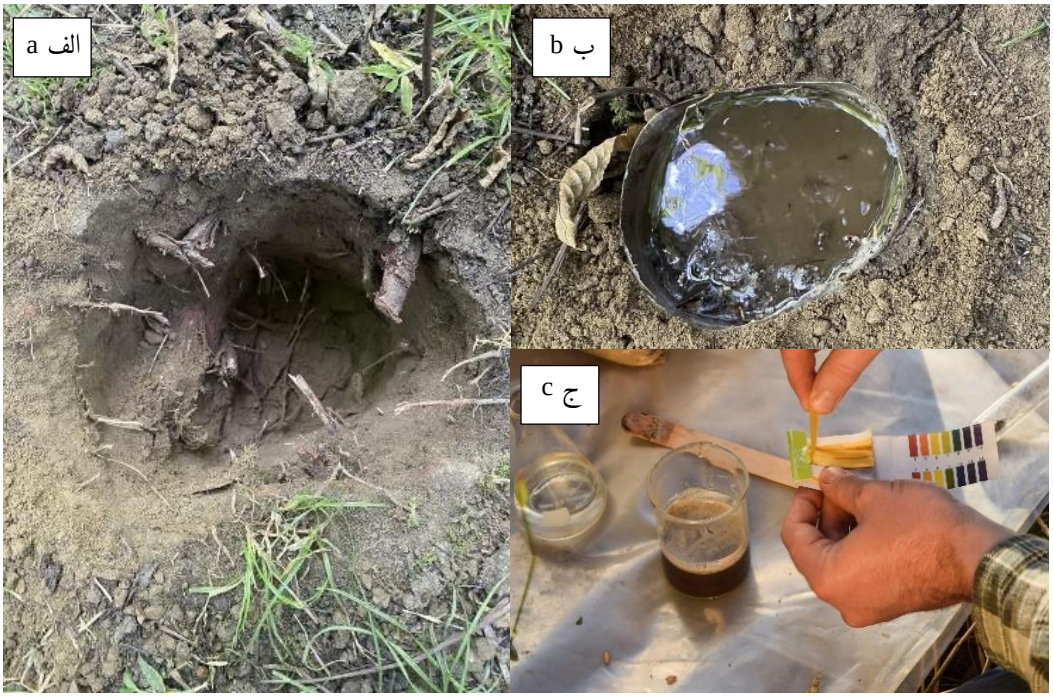
برآورد اسیدیته خاک

برای سنجش میدانیِ اسیدیته خاک می‌توان از دو ابزار ساده شامل نوار کاغذ تورنسل و پی‌اچ متر دستی استفاده کرد. در روش اول، مقداری از خاک مورد نظر با آب مقطر (از آب باران نیز می‌توان استفاده کرد) مخلوط می‌شود. پس از ته‌نشینی خاک، نوار کاغذ تورنسل به‌مدت چند ثانیه در محلول رویی قرار می‌گیرد (شکل ۱-ج). رنگ حاصل با راهنمای موجود در جدول ۷ مقایسه و عدد تقریبی pH مشخص می‌شود. در روش دوم می‌توان با فرو بردن الکترود دستگاه پی‌اچ متر در خاک مرطوب، عدد pH را به‌طور مستقیم خواند. این روش در ارزیابی‌های میدانی توسط سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (فائو) نیز توصیه شده است (FAO, 2006).

جدول ۷- دامنه‌های تقریبی **pH** خاک و تفسیر آن‌ها براساس کاغذ رنگ **pH**

Table 7. Approximate pH ranges and corresponding interpretations based on pH paper color

pH paper color	Approximate pH range	Soil reaction interpretation
Orange to dark yellow	4 – 5.5	Strongly acidic
Light yellow to yellow-green	5.6 – 6.5	Moderately acidic
Light green	6.6 – 7	Neutral
Dark green to greenish-blue	7.1 – 8	Slightly alkaline
Light blue to dark blue	8.1 – 9	Alkaline



شکل ۱- برآورد تراکم ریشه‌ها (الف)، نفوذ آب (ب) و **pH** خاک (ج) در جنگل

Figure 1. Estimating roots density (a), water infiltration (b) and soil pH (c) in forests

جدول ۸- معرفی برخی گونه‌های گیاهی معرف ویژگی‌های خاک در جنگل‌های هیرکانی

Table 8. Indicator plant species reflecting soil characteristics in the Hyrcanian Forests

Soil property	Indicator species	Description	Reference
Soil texture	*Juncus effusus* L. *Quercus castaneifolia* C.A.Mey.	Clay texture (heavy soil), Medium to heavy texture	Ahmadi & Sheikhulislami, 2004
Soil compaction	*Prunella vulgaris* L. *Plantago major* L. *Potentilla reptans* L.	High soil compaction High soil compaction Moderate soil compaction	Ellenberg, 1988 Eshaghi Rad *et al*., 2009 Pourbabaei *et al*., 2020
Soil fertility	*Mercurialis perennis* L. *Epimedium pinnatum* Fisch. ex DC. *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott *Galium odoratum* (L.) Scop. *Acer velutinum* Boiss. *Fraxinus excelsior* L.	Highly fertile soils Highly fertile soils Highly fertile soils Highly fertile soils Highly fertile soils Highly fertile soils	Eshaghi Rad *et a*l., 2009 Gholamhossein *et al.*, 2015 Eshaghi Rad *et al*., 2009 Pavand Derow *et al*., 2015 Moridpour *et al*., 2023
Soil moisture	*Alnus subcordata* C.A.Mey. *Cardamine impatiens* L. *Mentha aquatica* L. *Paliurus spina-christi* Mill.	High soil moisture High soil moisture High soil moisture low soil moisture	Salehi *et al.*, 2007 Mataji & Sagheb-Talebi, 2007 Eshaghi Rad *et al*., 2009
Soil pH	*Vaccinium arctostaphylos* Sm. *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn *Fagus orientalis* Lipsky	Strongly acidic Strongly acidic Moderately acidic	Gholamhossein *et al.*, 2015 Mataji & Sagheb-Talebi, 2007

استفاده از پوشش‌های گیاهی برای تعیین ویژگی‌های خاک

در کنار ویژگی‌های کلیدی خاک که در زیربخش‌های قبل توضیح داده شد، درختان و گیاهان علفی می‌توانند شاخص‌های بسیار مناسبی برای بیان برخی از ویژگی‌های اصلی خاک باشند. در جنگل‌های هیرکانی کشور، گونه‌های متعددی به‌عنوان شاخص‌های بوم‌شناختی مطرح هستند. این گونه‌ها می‌توانند اطلاعات ارزشمندی درباره ویژگی‌هایی مانند حاصلخیزی خاک، میزان رطوبت، اسیدیته و تهویه فراهم

کنند. در جدول ۸، برخی از این گیاهان آمده است که حضور، فراوانی یا پراکنش آن‌ها می‌تواند بازتابی از وضعیت خاک باشد. گفتنی است که هدف از جدول مذکور، ارائه فهرست کاملی از این گونه‌ها نیست، بلکه فقط با ذکر نمونه‌هایی تلاش شده است تا بر اهمیت آن‌ها در بررسی ویژگی‌های خاک در جنگل‌های هیرکانی تأکید شود.

جمع‌بندی

در این مقاله، مؤلفه‌هایی مانند بافت، فشردگی، ماده آلی و اسیدیته خاک به‌عنوان ویژگی‌های کلیدی در بررسی خاک‌های جنگل‌های هیرکانی معرفی شدند. این ویژگی‌ها نه‌تنها ازنظر علمی، اهمیت زیادی در سنجش خاک دارند، بلکه باتوجه‌به امکان اندازه‌گیری ساده و سریع آن‌ها در عرصه‌های جنگلی، در عمل نیز می‌توانند با دقت قابل‌قبولی به‌کار گرفته شوند. به‌ویژه در شرایطی که دسترسی به تجهیزات آزمایشگاهی محدود است یا ارزیابی سریع در اولویت قرار دارد، این شاخص‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزارهای مناسب برای برآورد وضعیت خاک عمل کنند. در بیان توصیف و کاربرد این ویژگی‌ها، تلاش شد تا ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های دیگر خاک نیز تبیین شود تا نقش کلیدی آن‌ها برجسته‌تر شود. بی‌تردید، ویژگی‌های مهم دیگری نیز در ارزیابی خاک‌ها وجود دارند، اما در این مقاله بر آن دسته از ویژگی‌هایی تمرکز شد که در شرایط میدانی، قابل‌ارزیابی و ازنظر بوم‌شناختی معنادار باشند.

یکی دیگر از نکات مهم معرفی‌شده در این نوشتار، بهره‌گیری از گونه‌های گیاهی معرف به‌عنوان شاخص‌های طبیعی ارزیابی خاک بود. این گونه‌ها به‌دلیل حساسیت به شرایط محیطی به‌ویژه وضعیت خاک می‌توانند نقش مؤثری در شناسایی برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک داشته باشند. بررسی حضور و غیاب و الگوی گسترش برخی گونه‌های خاص می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره سطح حاصلخیزی، میزان رطوبت، تراکم، تهویه و اسیدیته خاک فراهم کند.

نگارنده به‌عنوان عضوی کوچک از جامعه جنگلبانان ایران، بر این باور است که هیچ چیز، جای حضور مستمر در عرصه و مشاهده میدانی را نمی‌گیرد. حضور در جنگل، لمس خاک، دیدن پوشش‌های گیاهی و دنبال کردن رویدادهای طبیعی نه‌تنها به درک عمیق‌تری از بوم‌سازگان جنگل منجر می‌شود، بلکه به شناسایی دقیق‌تر نشانه‌ها و روندهای بوم‌شناختی نیز کمک می‌کند. پایش مستمر رویدادها در عرصه چه از طریق مشاهده ساده و چه با بهره‌گیری از ابزارهای اولیه، این امکان را برای کارشناسان، مدیران و پژوهشگران فراهم می‌کند که ارتباط مستقیم با طبیعت برقرار کنند و تحلیل‌های خود را برپایه واقعیت‌های میدانی سامان دهند. تجربه میدانی، مکملی بسیار ارزشمند برای تحلیل‌های آزمایشگاهی است و درنهایت می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های کارآمدتر در مدیریت جنگل‌ها ختم شود.

References

- Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), 2024. Tariff of services provided by the Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR) in 2024. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran, 24p (In Persian).
- Ahmadi, T. and Sheikhulislami, A., 2004. The role of soil physical and chemical properties in pure stands of oak (*Quercus castaneifolia*) in Galandroud forest (west Mazandran state). Pajouhesh and Sazandegi, 63: 59-69 (In Persian with English summary).
- Ellenberg, H., 1988. Vegetation Ecology of Central Europe, Fourth Edition. Cambridge University Press, Cambridge, England, 731p.
- Eremeev, V., Talgre, L., Kuht, J., Mäeorg, E., Esmaeilzadeh-Salestani, K., Alaru, M., … and Luik, A., 2020. The soil microbial hydrolytic activity, content of nitrogen and organic carbon were enhanced by organic farming management using cover crops and composts in potato cultivation. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil and Plant Science, 70(1): 87-94.
- Eshaghi Rad, J., Zahedi Amiri, Gh., Marvi Mohajer, M.R. and Mataji, A., 2009. Relationship between vegetation and physical and chemical properties of soil in *Fagetum* communities (Case study: Kheiroudkenar forest). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17(2): 174-187 (In Persian with English summary).

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006. Guidelines for Soil Description, Fourth Edition. FAO, Rome, Italy, 109p.
- Gholamhossein, M., Mataji, A., Eshaghi Rad, J. and Salinpour, F., 2015. Investigation of possibility of fern application as a bioindicator of site condition in north of Iran (case study: Kheiroudkenar Noshahr). Iranian Journal of Environmental Science and Technology, 16: 367-378 (In Persian with English summary).
- Grigal, D.F. and Vance, E.D., 2000. Influence of soil organic matter on forest productivity. New Zealand Journal of Forestry Science, 30(1/2): 169-205.
- Hashemi, M., Nikooy, M., Salehi, A. and Naghdi, R., 2021. Investigation of soil physical properties 11 years after water-bar construction on skid trail. Journal of Forest Research and Development, 7(2): 169-182 (In Persian with English summary).
- Hazbavi, Z. and Sadeghi, S.H.R., 2016. Introducing Visual Soil Assessment (VSA) method. Extension and Development of Watershed Management, 4(13): 15-25 (In Persian with English summary).
- Jafari, M. and Rostampour, M., 2018. Soil-Plant Relationships: Ecology, Statistics and Analysis. University of Tehran Press, Tehran, Iran, 468p (In Persian).
- Jourgholami, M., Rizvandi, V. and Majnounian Garagiz, B., 2013. Effects of forest harvesting operations on physical properties and soil penetration resistance (Case study: Kheyrud forest). Journal of Range and Watershed Management, 66(2): 223-236 (In Persian with English summary) .
- Kooch, Y., 2025. Soil Ecosystem: Principles and Management. Jahad-e Daneshgahi of Mazandaran Press, Sari, Iran, 489p (In Persian).
- Liu, Y., Wu, X., Wu, T., Zhao, L., Li, R., Li, W., … and Yan, X., 2022. Soil texture and its relationship with environmental factors on the Qinghai–Tibet Plateau. Remote Sensing, 14(15): 3797.
- Lull, C., Gil-Ortiz, R., Bautista, I. and Lidón, A., 2023. Seasonal variation and soil texture-related thinning effects on soil microbial and enzymatic properties in a semi-arid pine forest. Forests, 14(8): 1674.
- Mataji, A. and Sagheb-Talebi, Kh., 2007. Development stages and dynamic of two oriental beech (*Fagus orientalis*) communities at natural forests of Kheiroudkenar-Noshahr. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(4): 398-416 (In Persian with English summary).
- Meshki, A. and Kianian, M.K., 2014. Ecology and Management of Forest Soils (translation). Semnan University Press, Semnan, Iran, 600p (In Persian).
- Moridpour, A., Namiranian, M., Alavi, S.J. and Etemad, V., 2023. Identifying the most important factors affecting the distribution of Ash (*Fraxinus excelsior* L.) and detect potential habitats areas in Kherudkanar Nowshahr forest. Iranian Journal of Forest, 15: 69-85 (In Persian with English summary).
- Murphy, B.W., 2014. Soil organic matter and soil function – Review of the literature and underlying data: Effects of soil organic matter on functional soil properties. Department of the Environment, Canberra, Australia, 155p.
- Mutuku, E.A., Vanlauwe, B., Roobroeck, D., Boeckx, P. and Cornelis, W.M., 2021. Visual soil examination and evaluation in the sub-humid and semi-arid regions of Kenya. Soil and Tillage Research, 213: 105135.
- Pavand Derow, A., Salehi, A., Pourbabaei, H. and Alavi, S.J., 2015. Relation between establishment and distribution of *Acer velutinum* Boiss. with soil physical and chemical properties and topographic factors in Caspian forest: a case study of Nav Asalem district/ Guilan province. Journal of Plant Research, 27(4): 520-533 (In Persian with English summary).
- Pordel, N., Hosseinzadeh, J., Heydari, M. and Omidipour, R., 2025. Assessment of aggregate stability in relation to physiographic characteristics and canopy density in the Zagros Forests, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 33(3): 191-206 (In Persian with English summary).
- Pourbabaei, H., Salehi, A., Ebrahimi, S.S. and Khodaparast, F., 2020. Variations of soil physicochemical properties and vegetation cover under different altitudinal gradient, western Hyrcanean forest, north of Iran. Journal of Forest Science, 66(4): 159-169.
- Riestra, D., Noellemeyer, E. and Quiroga, A., 2012. Soil texture and forest species condition the effect of afforestation on soil quality parameters. Soil Science, 177(4): 279-287.
- Ruehlmann, J., 2020. Soil particle density as affected by soil texture and soil organic matter: 1. partitioning of SOM in conceptional fractions and derivation of a variable SOC to SOM conversion factor. Geoderma, 375: 114542.
- Salehi, A., Taheri Abkenar, K. and Basiri, R., 2012. Study of the recovery soil physical properties and establishment of natural regeneration in skid trails (case study: Nav-e Asalem forests). Iranian Journal of Forest, 3(4): 317-329 (In Persian with English summary).
- Salehi, A., Zahedi Amiri, Gh., Burslem, D.F.R.P. and Swaine, M.D., 2007. Relationships between tree species composition, soil properties and topographic factors in a temperate deciduous forest in northern Iran. Asian Journal of Plant Sciences, 6(3): 455-462.
- Shahouei, S., 2006. The Nature and Properties of Soils (translation). University of Kurdistan Press, Sanandaj, Iran, 884p (In Persian).
- Shepherd, G., Stagnari, F., Pisante, M. and Benites, J., 2008. Visual Soil Assessment. Food and Agriculture

Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, 405p.
- Tian, B.G., Cheng, Q., Tang, C.S., Zeng, H., Xu, J.J. and Shi, B., 2022. Effects of compaction state on desiccation cracking behaviour of a clayey soil subjected to wetting-drying cycles. Engineering Geology, 302: 106650.
- Vasu, D., Tiwary, P. and Chandran, P., 2024. A novel and comprehensive soil quality index integrating soil morphological, physical, chemical, and biological properties. Soil and Tillage Research, 244: 106246.
- Zhou, J., Sun, T., Shi, L., Kurganova, I., Lopes de Gerenyu, V., Kalinina, O., … and Kuzyakov, Y., 2023. Organic carbon accumulation and microbial activities in arable soils after abandonment: A chronosequence study. Geoderma, 405: 116496.