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

Assessing the Key Bioengineering Characteristics of Native Zagros Species (*Daphne mucronata*) in Faridan Region, Isfahan Province

Sajad Mahmoudi[1], Nabiollah Yarali[2], Hojatollah Khedrigharibvand[3]*, Fatemeh Azimi[4], Mohsen Bahmani[5]

[1]PhD student in Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
[2]Associate Professor, Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
[3]Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
[4]MSc Student in Rangeland Science and Engineering, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
[5]Associate Professor, Department of furniture-industry Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

Receive: 2026/01/27; Accepted: 2026/04/11

Abstract

This study aimed to investigate and characterize the bioengineering properties of the native species *Daphne mucronata* (Zagros Daphne) in Faridan, Isfahan Province, to evaluate its potential for soil stabilization, erosion control, and application in civil and environmental projects. Three key indicators were measured and evaluated to characterize the species' bioengineering properties: root area ratio (RAR), root tensile strength (RTS), and stem resistance to flexural forces. The results showed that root density increased from the soil surface to a depth of 20–30 cm and decreased at greater depths. The mean root tensile strength, at a moisture content of 20.8%, was 17.56 MPa, while the mean maximum force required for stem bending, at a mean moisture content of 40.48%, was 130.39 N. Furthermore, root tensile strength decreased with increasing root diameter, whereas thicker stems required a greater maximum bending force and exhibited less displacement. These findings indicate that *Daphne mucronata*, with its dense root system in intermediate soil layers and stems resistant to flexural forces, can play an effective role in slope stabilization, reducing wind and water erosion, and enhancing the stability of mountainous ecosystems. Given its bioengineering characteristics, including its resistance, native status, and adaptation to the climatic and edaphic conditions of the region, *Daphne mucronata* may provide a sustainable and low-cost alternative to mechanical and non-biological approaches. The species may also be considered for civil and bioengineering projects, particularly in the central Zagros region. Utilizing the natural capacities of this species could reduce implementation costs and enhance environmental sustainability.

***Keywords*:** Plant biological characteristics, *Daphne mucronata*, soil stabilization, civil and environmental projects, erosion control

*Corresponding author: h.khedri@aku.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

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

بررسی مهم‌ترین ویژگی‌های زیست مهندسی گونه برگ بویی زاگرس (*Daphne mucronata*) در منطقه فریدن، استان اصفهان

سجاد محمودی[۱]، نبی الله یارعلی [۲]، حجت الله خدری غریب وند[۳]*، فاطمه عظیمی[۴]، محسن بهمنی[۵]

[۱]دانشجوی دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد
[۲]دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد
[۳] استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد
[۴]دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد
[۵]دانشیار گروه مهندسی صنایع مبلمان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۲

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی و شناسایی ویژگی‌های زیست مهندسی گونه‌ی بومی برگ‌بویی زاگرس (*Daphne mucronata*) در شهرستان فریدن استان اصفهان صورت گرفت تا ظرفیت‌های این گونه در تثبیت خاک، کنترل فرسایش و استفاده در پروژه‌های عمرانی و زیست‌محیطی را مورد ارزیابی قرار دهد. در این مطالعه برای سنجش ویژگی‌های زیست مهندسی گونه برگ بویی، سه شاخص کلیدی نسبت سطح ریشه به سطح خاک (۱)، مقاومت کششی ریشه‌ها (۲) و مقاومت ساقه‌ها در برابر نیروهای خمشی (۳) اندازه‌گیری و ارزیابی شدند. نتایج نشان داد تراکم ریشه‌ها از سطح خاک تا عمق ۳۰–۲۰ سانتی‌متری روند افزایشی و در عمق‌های پایین‌تر روند کاهشی داشت. میانگین مقاومت کششی ریشه‌ها با محتوای رطوبت ۲۰/۸ درصد برابر با ۱۷/۵۶ مگاپاسکال و میانگین حداکثر نیروی لازم برای خمش ساقه‌ها با میانگین رطوبت ۴۰/۴۸ درصد به مقدار ۱۳۰/۳۹ نیوتن محاسبه شد علاوه بر این با افزایش قطر ریشه‌ها مقاومت کششی کاهش یافت. در حالی که حداکثر نیروی لازم برای خمش ساقه‌های قطورتر بیشتر و میزان انعطاف (جابجایی) آنها کمتر بود. این یافته‌ها بیانگر آن است که گونه‌ی برگ‌بویی زاگرس با ساختار ریشه‌ای متراکم در لایه‌های میانی خاک و ساقه‌های مقاوم در برابر نیروهای خمشی نقش مؤثری در تثبیت شیب‌ها، کاهش فرسایش بادی و آبی و ارتقای پایداری بوم نظام‌های کوهستانی دارد. این مطالعه پیشنهاد می‌کند با توجه به ویژگیهای زیست مهندسی برگ بویی، از جمله مقاوم، بومی بودن و سازگار به شرایط اقلیمی و خاکی منطقه، این گونه می تواند به عنوان جایگزینی پایدار و کم‌هزینه برای روش‌های مکانیکی و غیرزیستی مورد توجه قرارگیرد. علاوه براین، گونه برگ بویی می تواند برای پروژه‌های عمرانی و زیست‌مهندسی به ویژه در مناطق زاگرس مرکزی مورد توجه قرار گیرد. در راستای بهره‌گیری از ظرفیت‌های طبیعی، استفاده از این گونه می‌تواند به کاهش هزینه‌های اجرایی و افزایش پایداری محیطی کمک کند.

***واژه‌های کلیدی*: ویژگی‌های زیست‌شناختی گیاهان، گونه برگ بویی زاگرس، تثبیت خاک، پروژه‌های عمرانی و زیست محیطی، کنترل فرسایش**

مقدمه

فرسایش خاک و جریان توده‌ها از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در مناطق کوهستانی هستند که پیامدهای گسترده‌ای بر حاصلخیزی خاک، منابع آب و معیشت جوامع محلی دارند (حمزه و امیری، ۱۳۹۹؛ Schwarz & Lehmann, 2010). در منطقه زاگرس، این پدیده به شکل رواناب‌های سطحی و لغزش دامنه‌ها مشاهده می‌شود که میزان آن به تغییرات اقلیمی، تغییرکاربری اراضی و کاهش بارندگی‌های پایدار مرتبط است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۷). در چنین شرایطی، استفاده از گونه‌های بومی مقاوم به شرایط سخت محیطی به عنوان راهکاری پایدار و کم‌هزینه برای کاهش فرسایش و تثبیت شیب‌ها به رسمیت

*نویسنده مسئول: khedri@aku.ac.ir.h

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

شناخته شده است (Tartaglia & Aronson, 2024؛ Schwarz & Lehmann, 2010؛ Moresi et al.,2019). این رویکرد علاوه بر کاهش خسارات زیست‌محیطی، افزایش تاب‌آوری جوامع محلی در برابر تنش‌های اقلیمی را نیز به دنبال دارد. در این راستا، بهره‌گیری از گونه‌های بومی مقاوم به شرایط محیطی ضمن کاهش مداخلات مدیریتی و هزینه‌های اجرایی، می‌تواند افزایش دوام و ارتقای کارآیی پروژه‌های عمرانی در چشم‌اندازهای طبیعی را به دنبال داشته باشد (Tozer et al., 2021). با این حال، فعالیت-های ناپایدار انسانی ممکن است تاثیر این گونه‌ها در مسلح سازی خاک و تثبیت دامنه‌ها را کاهش دهد (سلیمی‌زند و همکاران، ۱۳۹۶).

توجه به برهم‌کنش‌های زیستی موجود بین اجزای مختلف بوم نظام‌های طبیعی در کنار مزایایی همچون توانایی خودتنظیمی و خودترمیمی، سازگاری بالا با شرایط محیطی، کاهش چشمگیر هزینه‌های اجرایی، عدم تخریب محیط طبیعی و ارتقای ارزش‌های زیبایی‌شناختی، روش‌های زیستی را به راهکاری مهم برای تثبیت خاک در مناطق ناپایدار تبدیل کرده است. علاوه‌براین، پوشش گیاهی با ایجاد سدی در برابر بادها و جریان آب و با افزایش چسبندگی ذارت خاک، فرسایش را کاهش و با توسعه زیستگاه‌ها، تنوع زیستی و ترسیب کربن را افزایش می‌دهد. ضمن اینکه، با جذب آلاینده‌ها به ویژه ذرات گرد و غبار، کیفیت هوا را بهبود می‌بخشد. در مجموع پوشش گیاهی نه تنها به بهبود شرایط زیست محیطی منجر می‌شود بلکه با کارکرد حفاظتی- تنظیمی خود به حفظ تعادل بوم‌شناختی بوم نظام‌های طبیعی کمک می‌کند (Tartaglia & Aronson, 2024; Tozer et al., 2021). هرچند تحقیقات متعددی پوشش گیاهی سالم (به ویژه جوامع گیاهی سازگار با شرایط بومی) را به عنوان عاملی موثر بر بهبود چرخه آب و نفوذپذیری خاک به رسمیت شناخته‌اند (Wilcox & Thurow, 2006)، با این وجود، نقش گونه-های مقاوم به شرایط سخت محیطی در فرآیند پایداری شیب‌ها هنوز به طور جامع مورد مطالعه قرارنگرفته است. در این راستا، مطالعات تطبیقی نشان داده‌اند که گونه‌های بومی مانند ممرز و توسکا از مقاومت کششی بالایی برخوردارند؛ در حالی‌که گونه‌های غیربومی مانند کاج و اقاقیا با شاخص بالاتر نسبت سطح ریشه به خاک شناخته می-شوند (غلامی درمی و همکاران، ۱۳۹۹). در هر دوحالت، ریشه‌ها با افزایش چسبندگی خاک نقشی بنیادین در تثبیت دامنه‌ها ایفا می‌کنند.

از دیدگاه زیست‌محیطی، برای تثبیت شیب‌ها باید از مصالح موجود در منطقه و یا گونه‌های گیاهی مقاوم به شرایط محیطی استفاده کرد. در این راستا، توجه به خواص زیست‌مهندسی گیاهان به عنوان مولفه‌هایی مهم در انتخاب گونه‌های موثر در تثبیت شیب‌ها ضرورتی اجتناب ناپذیر است. شاخص‌های نسبت سطح ریشه به سطح خاک[3] (RAR)، مقاومت کششی ریشه‌ها[4] (RTS) و مقاومت خمشی ساقه[5] (SFR) به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های زیست‌مهندسی گیاهان به رسمیت شناخته شده‌اند (غلامی درمی و همکاران، ۱۳۹۹؛ ملکی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Sutili et al., 2012) یافته‌های میدانی در رویشگاه زاگرس نشان دهنده تفاوت در مقدار RAR و RTS و در نتیجه محدودیت توانایی گونه‌های بومی در تثبیت خاک و مسلح‌سازی دامنه‌هاست (سلیمی‌زند و همکاران، ۱۳۹۶). در مطالعه‌ای طلایی و همکاران (۱۴۰۱) شاخص‌های گیاهی مؤثر در مهار فرسایش را به دو دسته شاخص‌های زیرزمینی ازجمله نسبت سطح ریشه به سطح خاک و مقاومت کششی ریشه‌ها و شاخص‌های هوایی همچون شاخص سختی خمشی طبقه بندی کردند. این ویژگی‌ها تعیین کننده توانایی گیاهان در تثبیت خاک و مقابله با نیروهای مخرب می‌باشند. یافته‌های پژوهشی سایر مطالعات این نتایج را تایید می‌کنند (Preti & Giadrossich, 2009). ضمن اینکه، مطالعات نشان داده‌اند که تراکم ریشه‌ها با افزایش عمق خاک به دلیل کمبود مواد مغذی، کاهش مقدار هوا و تراکم بیشتر خاک در لایه‌های پایین کاهش می‌یابد (ظاهرمند و همکاران، ۱۴۰۱) و مقاومت کششی تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و شرایط رویشگاهی قرار می‌گیرد (Abdi et al., 2009). علاوه‌براین، ثابت شده است که درختچه‌ها به دلیل کوتاه‌تر بودن و وزن اندک، به دلیل وارد کردن فشار کمتر بر خاک، در تثبیت شیب‌ها مؤثرتر عمل می‌کنند (Moresi et al., 2019). این تفاوت‌ها نشان می‌دهند که شرایط اکولوژیکی و ژنتیکی گونه‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در کارآیی روش‌های زیست‌مهندسی دارند. به‌عنوان نمونه،

[3]Root Area Ratio
[4]Root Tensile Strength
[5]Stem Flexural Rigidity or Resistance (SFR)

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

بررسی مکانیکی ساقه گندم و جو نشان داده است که مقاومت خمشی تحت تاثیر قطر، ضخامت دیواره و ویژگی های مکانیکی بافت ساقه قرار دارد (Leblicq et al., 2015). از این رو، استفاده از این ویژگی‌ها به عنوان داده‌های پایه برای ارزیابی توان زیست‌مهندسی گیاهان به رسمیت شناخته شده است.

گونه برگ بویی با نام علمی *Daphne mucronata* Royle گونه‌ای درختچه‌ای ازتیره Thymelaeaceae می-باشد که ضمن اینکه به عنوان یک گیاه سمی در مراتع شناخته می‌شود به دلیل خواص ضد سرطانی، آنتی اکسیدانی، ضدمیکروبی و استفاده سنتی برای درمان بیماری‌هایی مانند رماتیسم، ورم مفاصل، تومورها و برخی مشکلات پوستی از ارزش دارویی بالایی برخوردار است (Lutfullah et al., 2019؛ Sovrlic & Manojlovic, 2107). این گونه در مناطق نیمه خشک کشور همچون استان‌های آذربایجان غربی، کردستان، کرمانشاه، همدان، مرکزی، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، فارس و کرمان گسترش دارد (ترنیان و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعه مدل‌سازی زیستگاه گونه *D. mucronata* Royle نشان داده است که عوامل زیست اقلیمی همچون بارندگی در سردترین سه ماه پیوسته سال، متوسط درجه حرارت مرطوب‌ترین سه ماه پیوسته و متوسط دامنه روزانه درجه حرارت از متغیرهای تعیین‌کننده اصلی پراکنش این گونه هستند که به‌ترتیب ۵۰/۶، ۳۰ و ۱۱/۴٪ تأثیر بر پراکنش گونه مورد نظر دارند (ترنیان و همکاران، ۱۳۹۶). این اثرگذاری به دلیل رویش این گونه در مناطق برف‌گیر قابل توجیه است. علاوه براین، ارتفاع، جهت، شیب و بافت خاک از مهم‌ترین عوامل توپوگرافی موثر بر رشد، پراکنش و تراکم این گونه به شمار می‌آیند (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵؛ جنیدی و همکاران، ۱۳۹۴). در این راستا، مطالعات نشان داده‌اند این گونه در خاک‌هایی با بافت سبک (رسی- لومی) و اسیدیته ۶/۷ تا ۷/۵ و شوری کم بیشتر رویش و پراکنش دارد (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵؛ جنیدی و همکاران، ۱۳۹۴).

با وجود اهمیت و نقش گیاهان در کنترل فرسایش، تاکنون مطالعات جامع و نظام‌مندی در زمینه ویژگی‌های زیست‌مهندسی بسیاری از گونه‌های بومی ایران انجام نشده است. این شکاف علمی موجب شده است گونه‌ها بیشتر براساس تجربه یا دسترس‌پذیری انتخاب شوند که پیامد آن در ناکارآیی پروژه‌ها و شکست طرح‌ها نمایان می‌شود. همان‌گونه که اشاره شد فقدان داده‌های کمی در ارتباط با شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک و مقاومت کششی ریشه گونه‌های بومی از دلایل اصلی ناکارآمدی پروژه‌های تثبیت خاک گزارش شده‌اند. دراین راستا، شناسایی ویژگی‌های زیست‌شناختی گونه‌های بومی ضمن اینکه، پیش‌نیاز مدیریت عرصه های طبیعی است می‌تواند چارچوبی علمی برای طراحی پروژه‌های مدیریت پایدار را در این حوزه فراهم آورد. آگاهی از ویژگی‌های زیست‌مهندسی گونه‌های بومی و ادراک نسبت به کارآیی آن‌ها در تثبیت خاک، گامی اساسی در مسیر مدیریت پایدار مناطق کوهستانی است. از آنجایی که گونه‌های بومی بیشترین تأثیر را در کاهش فرسایش دارند و اصلی‌ترین ابزار طبیعی برای افزایش مقاومت شیب‌ها در برابر نیروهای مخرب محسوب می‌شوند، موفقیت هر راهبرد حفاظتی و عمرانی بدون شناخت دقیق ظرفیت‌های گیاهان و شرایط محیطی امکان‌پذیر نیست. سنجش و تحلیل ویژگی‌هایی مانند تراکم و مقاومت کششی ریشه و مقاومت خمشی ساقه‌ها می‌تواند به طراحی راهبردهایی منجر شود که از یک طرف با واقعیت‌های اکولوژیکی و اجتماعی همسو باشند و از طرف دیگر مشارکت جوامع محلی را در مدیریت پایدار منابع طبیعی تضمین کنند.

در راستای پاسخ به ضرورت مدیریت پایدار عرصه های طبیعی و اهمیت معرفی گونه‌های گیاهی ارزشمند برای حفاظت و کاهش فرسایش خاک، این مطالعه به بررسی ویژگی‌های زیست مهندسی گیاه برگ‌بویی می‌پردازد. هدف اصلی این تحقیق آن است که نشان دهد آیا گونه برگ‌بویی زاگرس می‌تواند به عنوان یک گزینه بومی و پایدار در طرح‌های تثبیت خاک و کنترل فرسایش مورد استفاده قرار گیرد تا بتوان چارچوبی علمی برای بهره‌گیری از گونه‌های مقاوم در مدیریت پایدار منابع طبیعی ارایه داد. در این راستا، سه ویژگی زیست مهندسی نسبت سطح ریشه به سطح خاک، مقاومت کششی ریشه‌ها و نیروی خمشی (Bending force) ساقه‌های این گونه مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در روستای ننادگان از توابع شهرستان فریدن استان اصفهان انجام شد. شهرستان فریدن با ارتفاع

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

متوسط حدود ۲۴۰۰ متر از سطح دریا، یکی از مناطق سرد سیر کشور محسوب می شود. روستای نندگان در مختصات ′۵۱ °۳۲ عرض شمالی و ′۲۱ °۵۰ طول شرقی و در ارتفاع ۲۲۳۵ متری از سطح دریا واقع شده است. نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه، ایستگاه کلیماتولوژی شهر داران است که در ارتفاع ۲۲۹۰ متری از سطح دریا قرار دارد و داده‌های اقلیمی منطقه را فراهم می‌کند.



شکل ۱- موقعیت فریدن در ایران و استان اصفهان

از نظر موقعیت جغرافیایی، شهرستان فریدن بخشی از حوزه آبریز رودخانه زاینده‌رود محسوب می‌شود که در بخش مرتفع رشته‌کوه‌های زاگرس مرکزی و در دامنه‌های جنوبی کوه‌های بختیاری واقع شده است (مغفوری مقدم، ۱۳۸۳؛ راهداری و همکاران، ۱۳۹۸). موقعیت خاص نندگان (از یک طرف به کوه‌های زاگرس و از طرف دیگر به رودخانه) این روستا را به یکی از نقاط شاخص جغرافیایی برای مطالعات زیست‌محیطی تبدیل کرده است. مهم‌ترین گونه‌های بومی کوهستان‌های این منطقه از گیاهان علفی و درختچه‌ای چون گون، کما، قیاق، چویل، ریواس، موسیر، تره‌کوهی، کرفس بختیاری (کلوس)، آویشن، بومادران، ارژن و برگ-بویی تشکیل می‌شود. شرایط طبیعی مکان مورد مطالعه از جمله شیب‌های به نسبت تند، خاک‌های نیمه‌عمیق و پوشش گیاهی پراکنده آن را به محیطی مناسب برای بررسی نقش گونه‌های بومی در تثبیت خاک تبدیل کرده است. علاوه براین، انتخاب این منطقه به دلیل حساسیت بالای آن به فرسایش و اهمیت کاربردی نتایج در مدیریت منابع طبیعی صورت گرفت.



شکل ۲- نماهایی از منطقه مورد مطالعه در فصول مختلف (بهار، تابستان و پاییز)

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

در این مطالعه گونه‌ی برگ‌بویی زاگرس (*Daphne mucronata* Royle) از خانواده‌ی مازریون انتخاب شد. خانواده‌ی مازریون دارای حدود ۵۰۰ گونه و بیش از ۵۰ جنس است که اغلب دارای برگ‌هایی ساده با آرایش متناوب، گل‌هایی دوجنسی و میوه‌هایی به شکل فندقه یا سته هستند (زرگری، ۱۳۷۲). برگ‌بویی زاگرس که در اصطلاح محلی با نام‌های «دیچ» یا «خیش» شناخته می‌شود، درختچه‌ای نورپسند با ارتفاع ۱ تا ۳ متر، دارای شاخه‌های پرپشت و برگ‌هایی ساده به شکل بیضوی نوک-تیز کشیده است، زمان گل‌دهی این گونه از اردیبهشت تا اواخر خردادماه است و گل‌های سفید آن معمولاً به تعداد ۳ تا ۹ تایی در انتهای شاخه‌ها ظاهر می‌شوند (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵؛ زرگری، ۱۳۷۲). میوه‌های برگ‌بویی کروی شکل و نارنجی‌رنگ و دارای ارزش دارویی‌اند. این گونه گستره اکولوژیکی وسیعی در مناطق کوهستانی زاگرس دارد که این امر بیانگر سازگاری زیاد آن با شرایط سخت محیطی است.



شکل ۳- نمایی از گیاه برگ‌بویی در منطقه مورد مطالعه

انتخاب نمونه‌ها و مشخصات رویشی

برای بررسی ویژگی‌های زیست‌مهندسی، چهار پایه درختچه برگ‌بویی زاگرس (*Daphne mucronata Royle*) با شرایط رویشی مشابه در فصل بهار انتخاب شدند؛ نمونه‌ها در یک دامنه با شرایط همگن از نظر جهت و ارتفاع قرار داشتند تا امکان مقایسه دقیق فراهم شود (Lateh et al., 2014). مشخصات هر پایه شامل ارتفاع، قطر یقه‌ی قطورترین ساقه و میانگین قطر تاج پوشش اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج از متر نواری و برای اندازه-گیری قطر یقه از کولیس استفاده گردید. علاوه براین، موقعیت جغرافیایی هر پایه شامل مختصات و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از موقعیت‌یاب (GPS) ثبت شد (جدول ۱). این داده‌ها به منظور درک بهتر ارتباط بین ویژگی‌های رویشی و شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک گردآوری شدند.

نسبت سطح ریشه به سطح خاک (RAR)

برای بررسی نسبت سطح ریشه به سطح خاک به عنوان شاخصی برای نشان دادن تراکم ریشه‌ها، از روش دیواره پروفیل استفاده شد. بدین منظور در فاصله ۲۵ سانتی‌متری از هر درختچه و در جهت پایین شیب، پروفیل‌هایی با ابعاد ۵۰ سانتی‌متر عمق، ۱۰۰ سانتی‌متر طول و حدود ۴۰ سانتی‌متر پهنا حفر گردید. دیواره داخلی هر پروفیل از سطح خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متری به افق‌های ۱۰ سانتی‌متری تقسیم شد. در هر افق، قطر ریشه‌های بیرون‌زده از دیواره با کولیس ساده اندازه‌گیری و برای محاسبه مساحت ریشه‌ها از رابطه زیر استفاده شد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۶).

رابطه ۱ $$A_r = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

که در آن d قطر ریشه و A_r مساحت سطح مقطع ریشه است. شاخص RAR برای عمق ۱۰ سانتی‌متری طبق رابطه زیر محاسبه شد:

رابطه ۲ $$RAR = \frac{AR_t}{A_s}$$

که در آن AR_t مجموع مساحت ریشه‌های یافت‌شده در هر افق و A_s مساحت افق مربوطه است.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]



شکل ۴- نماهایی از پروفیل‌های حفر شده و ریشه‌های گونه برگ بویی

جدول ۱- مختصات جغرافیایی درختچه‌های مورد مطالعه

	عرض شمالی(N)	طول شرقی(E)
۱	۳۲° ۴۹′ ۳۹″	۵۰° ۱۹′ ۰۸″
۲	۳۲° ۴۹′ ۳۹″	۵۰° ۱۹′ .۰۷″
۳	۳۲° ۴۹′ ۴۰″	۵۰° ۱۹′ ۰۸″
۴	۳۲° ۴۹′ ۳۶″	۵۰° ۱۹′ ۰۹″

آزمون کشش ریشه‌ها

برای بررسی مقاومت ریشه‌ها در برابر نیروهای مکانیکی، دو پروفیل انتخاب و نمونه‌هایی سالم از عمق ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متری خاک بریده و جمع‌آوری شدند. سپس نمونه‌ها در طول‌های مؤثر ۱۰ سانتی‌متری آماده و پس از تیمار با محلول الکل ۱۰ درصد تا زمان انجام آزمایش در کیسه‌های نایلونی در یخچال نگهداری شدند تا از تغییر خواص فیزیکی آن‌ها جلوگیری شود (کی‌بندری و همکاران، ۱۳۹۷). مطالعات مشابه نشان داده‌اند که نگهداری نمونه‌ها در شرایط سرد، باعث کاهش تغییرات رطوبتی و حفظ ویژگی‌های ساختاری (مکانیکی) واقعی آنان می‌شود (Yang & Jinnan, 2025). علاوه براین، انتخاب طول استاندارد ۱۰ سانتی‌متر برای نمونه‌ها در پژوهش‌های زیست‌مهندسی رایج است و امکان مقایسه بین گونه‌ها را فراهم می‌سازد (کی‌بندری و همکاران، ۱۳۹۷). بررسی‌های اخیر در گونه‌های درختچه‌ای مدیترانه‌ای نیز نشان داده‌اند که آماده‌سازی دقیق نمونه‌ها پیش از آزمایش، نقش مهمی در کاهش خطاهای ناشی از شکست غیرطبیعی دارد (Moresi et al., 2019).

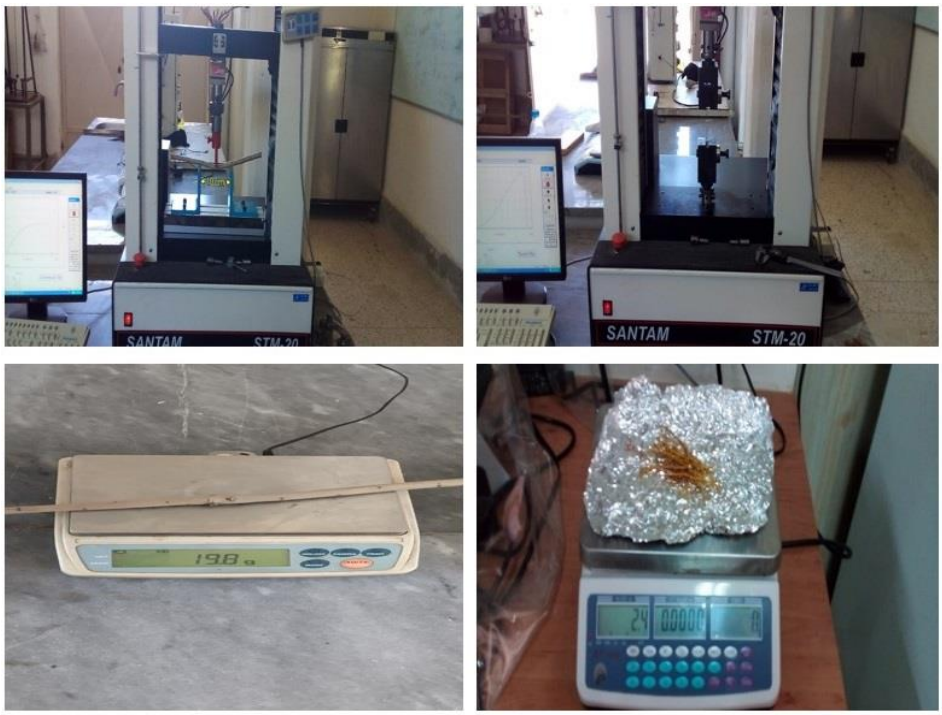
به منظور آزمایش کشش ریشه‌ها، قطر هر نمونه در سه نقطه (دو سر و وسط) با کولیس الکترونیکی اندازه‌گیری و میانگین آن به عنوان قطر نهایی در نظرگرفته شد و سطح مقطع هر نمونه براساس آن محاسبه گردید. آزمایش کشش با دستگاه تست کشش (اینسترون) و با سرعت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه (مجنونیان و همکاران، ۱۳۹۳) و حدود یک هفته بعد از جمع‌آوری نمونه‌ها انجام شد. آزمایش‌هایی که گسیختگی در آن‌ها از داخل فک‌های دستگاه رخ می‌داد کنار گذاشته شدند و مقاومت کششی هر نمونه از تقسیم حداکثر نیروی گسیختگی بر سطح مقطع ریشه محاسبه شد.

آزمون خمش ساقه‌ها

برای بررسی نیروی خمشی ساقه‌ها تعدادی از ساقه‌ها به طور تصادفی بریده شدند. سپس یازده نمونه ساقه سالم انتخاب شد و پس از پاک‌سازی (حذف برگ و شاخه) به ابعاد یکسان حدود ۳۰ سانتی متری بریده و تا زمان انجام آزمایش در کیسه‌های نایلونی در یخچال نگهداری شدند.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

انتخاب ابعاد ۳۰ سانتی متری به منظور جلوگیری از سر خوردن نمونه‌ها از روی گیره‌های دستگاه بود. آزمایش خمش سه‌نقطه با طول مؤثر ۱۰ سانتی‌متر (فاصله بین گیره‌های دستگاه) و سرعت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه تا لحظه شکست (فرهادی و همکاران، ۱۴۰۲) و حدود یک هفته بعد از جمع‌آوری نمونه‌ها انجام گرفت. قطر ساقه‌ها قبل و بعد از آزمایش در چهار نقطه دو سر و وسط و در محل شکست اندازه‌گیری شد و میانگین آن به‌عنوان قطر نهایی ثبت گردید. سپس بیشترین نیروی لازم برای خمش، نیروی شکست و میزان جابجایی نمونه‌ها استخراج شد. انتخاب آزمون سه‌نقطه به دلیل شبیه‌سازی شرایط طبیعی مانند فشار باد و جریان آب صورت گرفت.



شکل ۵- اندازه‌گیری وزن، آزمایش کشش ریشه‌ها و خمش ساقه‌ها

تعیین رطوبت و تحلیل داده‌ها

برای تعیین میزان رطوبت، نمونه‌ها پس از آزمایش وزن و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس درصد رطوبت محاسبه گردید (عبادی و همکاران، ۱۳۸۹). در نهایت داده‌های حاصل در قالب جداول و نمودارها تنظیم و روند تغییرات مقاومت کششی ریشه‌ها و مقاومت خمشی ساقه‌ها تحلیل شدند. علاوه‌بر تحلیل توصیفی، ارتباط داده‌ها با هدف تحقیق مورد توجه قرار گرفت تا نقش گونه برگ‌بویی زاگرس در تثبیت خاک و کنترل فرسایش مورد ارزیابی قرار گیرد.

نتایج

شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک (RAR)

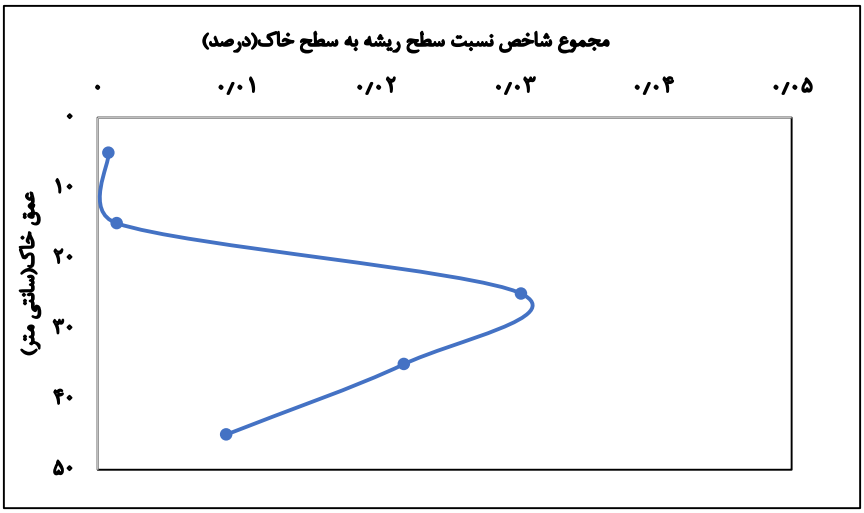
جدول ۲ مشخصات رویشی و داده‌های مربوط به چهار پایه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، بیشترین سطح مقطع ریشه‌ها در درختچه شماره ۳ و کمترین در درختچه شماره ۲ ثبت شده است. دامنه قطری ریشه‌های یافت‌شده در پروفیل‌ها بین ۰/۵ تا ۱۲ میلی‌متر محاسبه شده است که نشان‌دهنده‌ی تنوع قابل توجه در تراکم و پراکنش ریشه‌ها میان نمونه‌هاست. این داده‌ها تأیید می‌کنند که اگرچه روند کلی تغییرات نسبت سطح ریشه به سطح خاک با عمق مشابه است اما شدت و تراکم ریشه‌ها می‌تواند بین پایه‌های مختلف متفاوت باشد.

بررسی شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک نشان می‌دهد کمترین مقدار RAR در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری و بیشترین مقدار آن در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری دیده می‌شود که توان گونه برگ‌بویی زاگرس در ایجاد شبکه‌ی ریشه‌ای متراکم در این لایه را برجسته می‌کن

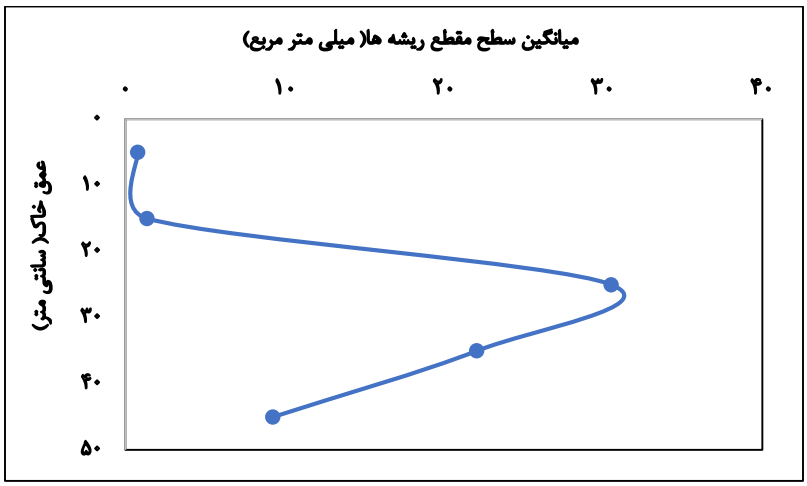
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

جدول ۲- خصوصیات رویشی و مجموع سطح مقطع ریشه‌های یافت شده در پروفیل‌های درختچه‌های مورد مطالعه

درختچه	قطر یقه قطورترین ساقه (میلی‌متر)	ارتفاع (سانتی‌متر)	میانگین قطر تاج (سانتی‌متر)	تعداد کل ریشه‌های یافت شده	مجموع سطح مقطع تمام افق‌ها (میلی‌متر مربع)
۱	۱۹	۱۲۲	۱۲۷	۲۲	۳۶/۱۱
۲	۱۴	۱۳۵	۱۲۰/۵	۱۴	۱۱/۵۷۸۷۵
۳	۱۸	۱۴۵	۱۵۲	۱۳	۱۲۵/۴۰۳۷۵
۴	۲۱	۱۵۶	۱۴۲/۵	۱۲	۸۳/۰۱۳۷۵

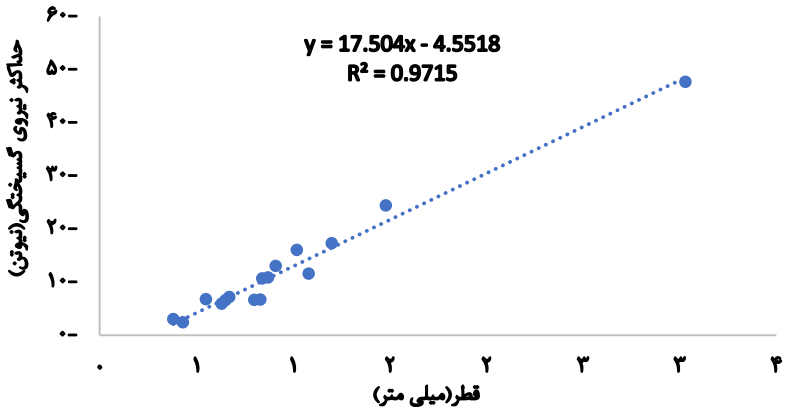


شکل ۷- نمودار روند تغییرات شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک در عمق‌های مختلف

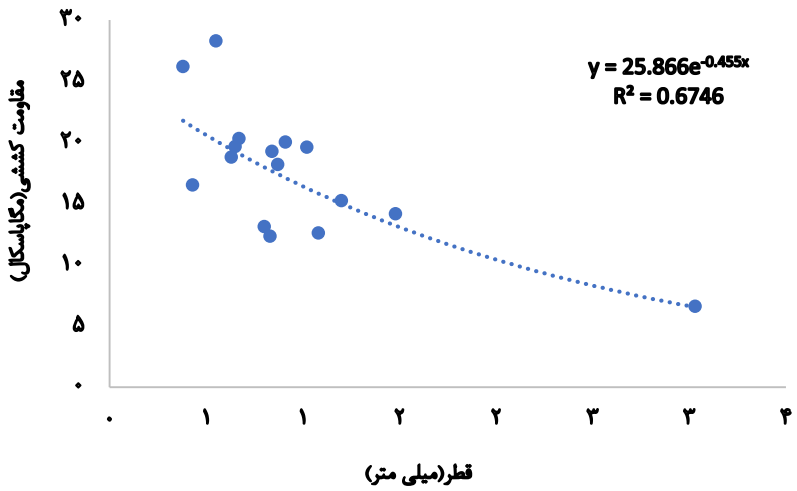


شکل ۸- نمودار روند تغییرات میانگین سطح مقطع ریشه‌های یافت شده در اعماق مختلف

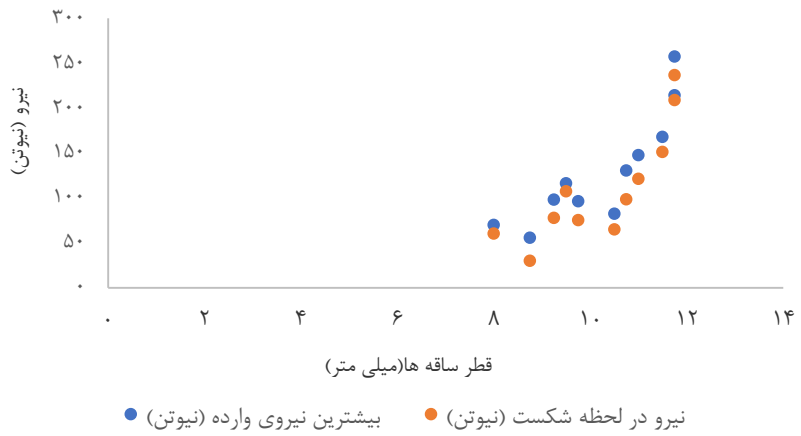
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]



شکل ۹- نمودار رابطه بین قطر و حداکثر نیروی لازم برای گسیختگی ریشه‌ها



شکل۱۰- نمودار رابطه بین قطر ریشه و میزان مقاومت کششی

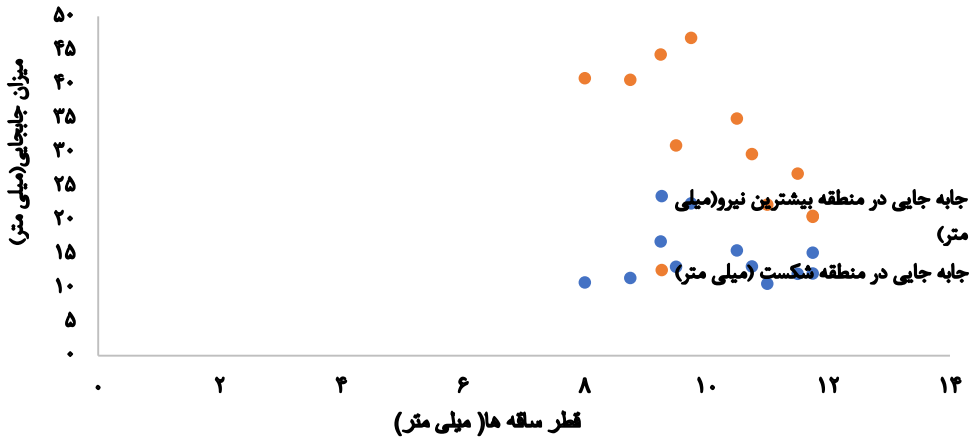


شکل ۱۱- نمودار رابطه بین قطر ساقه‌ها و میزان تحمل نیرو (حداکثر نیروی وارده و میزان نیرو در لحظه شکست)

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

جدول۳- مشخصات نمونه ساقه‌های مورد استفاده در آزمایش خمش و اندازه گیری میزان رطوبت آنها

شماره نمونه	میانگین قطر (میلی‌متر)	وزن تر (گرم)	وزن خشک (گرم)	رطوبت (درصد)
۱	۱۱/۵	۲۹/۹	۱۸/۵	۳۸/۱
۲	۱۱/۷۵	۳۳/۹	۱۹/۸	۴۱/۵
۳	۱۱/۷۵	۳۵/۷	۲۱/۴	۴۰
۴	۹/۷۵	۲۴/۱	۱۴/۸	۳۸/۵
۵	۱۰/۵	۲۰/۷	۱۲/۱	۴۱/۵
۶	۱۰/۷۵	۲۳/۵	۱۴/۹	۴۱/۵
۷	۹/۵	۲۵/۳	۱۵/۵	۳۸/۷
۸	۱۱	۲۸/۷	۱۶/۴	۴۲/۸
۹	۸	۲۰/۱	۱۲/۳	۳۸/۸
۱۰	۹/۲۵	۲۳/۱	۱۴	۳۹/۴
۱۱	۸/۷۵	۱۸/۲	۱۰/۱	۴۴/۵



شکل ۱۲- نمودار رابطه بین قطر و میزان جابجایی(خمش) در منطقه حداکثر نیروی وارده و منطقه شکست

مقاومت کششی ریشه‌ها

در مجموع ۳۱ آزمایش کشش روی نمونه‌ها انجام شد که از این تعداد ۱۶ مورد موفق بودند. کمترین و بیشترین قطر ریشه به ترتیب ۰/۳۸ و ۳/۰۳ میلی‌متر گزارش شد. میانگین حداکثر نیروی لازم برای گسیختگی ریشه‌ها ۱۲/۲۶ نیوتن و میانگین مقاومت کششی برابر با ۱۷/۵۶مگاپاسکال به دست آمد. میزان رطوبت نمونه‌ها پس از خشک‌سازی در آون ۲۰/۸ درصد محاسبه شد. نتایج آزمون کشش نشان داد که با افزایش قطر ریشه، مقاومت کششی کاهش می‌یابد (ضریب همبستگی r = -۰/۶۵)، در حالی که نیروی لازم برای گسیختگی افزایش پیدا می‌کند.

مقاومت خمشی ساقه‌ها

شکل ۱۱ رابطه بین قطر ساقه‌ها و میزان تحمل نیرو را نشان می‌دهد. نتایج آزمون خمش سه‌نقطه روی ساقه‌ها نشان داد که افزایش قطر ساقه، بیشترین نیروی لازم برای شکست افزایش و میزان جابجایی کاهش می‌یابد. میانگین نیروی لازم برای خمش ساقه‌ها برابر با ۱۳۰/۳۹ نیوتن بود و رطوبت متوسط ساقه‌ها ۴۰/۴۸ درصد محاسبه شد.

بحث و نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف ارائه داده‌های علمی و کاربردی در زمینه اســتفاده از گونه‌های گیاهی بومی در تثبیت خاک و

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

کنترل فرسایش در مناطق کوهستانی انجام شد. گیاهان با سازوکارهای مکانیکی و هیدرولیکی نقش مهمی در پایداری خاک ایفا می‌کنند. در این زمینه، مطالعات متعددی ویژگی‌های زیست‌مهندسی گونه‌های گیاهی را بررسی کرده‌اند که با ریشه‌دوانی خود در حفاظت خاک و استحکام دامنه‌ها موثرند. اغلب این مطالعات بر سه ویژگی شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک (RAR)، مقاومت کششی ریشه‌ها (RTS) و مقاومت خمشی ساقه‌ها (SFR) تمرکز داشته‌اند. سلیمی‌زند و همکاران (۱۳۹۶) صرفا بخشی از این ویژگی‌ها را در گونه ویول مورد بررسی قرار دادند در حالی که مطالعات دیگر هر سه ویژگی را ارزیابی کرده‌اند.

گونه‌ی برگ‌بویی زاگرس به‌عنوان یکی از گونه های شاخص گیاهی در ناحیه زاگرس، از منظر زیست‌مهندسی اهمیت ویژه‌ای دارد. این گونه با غالبیت در پوشش گیاهی بومی این منطقه نقش مهمی در تثبیت خاک و پایداری بوم نظام‌های کوهستانی ایفا می‌کند (Heidarian et al., 2018). این گونه با ویژگی‌های مورفولوژیک و اکولوژیک منحصر، بخشی از ساختار طبیعی چشم‌اندازهای زاگرس را شکل می‌دهد و در تعامل با عوامل محیطی، نقشی کلیدی در حفظ تنوع زیستی و کارکردهای اکولوژیکی دارد (Noroozi et al., 2020). بررسی ویژگی‌های مهم زیست‌مهندسی این گونه، چارچوبی علمی برای شناخت ظرفیت های آن در مدیریت منابع طبیعی و حفاظت اکوسیستم‌های حساس فراهم می‌کند (Veiskarami & Sharifi-Tehrani, 2017؛ حبیبی بی‌بالانی و مجنونیان، ۱۳۸۴). این مطالعه به بررسی مهم‌ترین ویژگی های زیست‌فنی گونه برگ‌بویی زاگرس (Daphne mucronata Royle)، ازجمله نسبت سطح ریشه به سطح خاک، مقاومت کششی ریشه‌ها و مقاومت خمشی ساقه‌های این گونه در منطقه زاگرس مرکزی پرداخته است.

نتایج جدول ۲ و شکل‌های ۷ و ۸ در ارتباط با شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک (RAR) نشان داد که تراکم ریشه‌ها از سطح خاک تا عمق حدود ۳۰ سانتی‌متری روند افزایشی و در اعماق پایین‌تر کاهشی دارد. این الگو بیانگر تمرکز سیستم ریشه در لایه‌های میانی خاک است؛ بخشی که بیشترین نقش را در تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش دارد. بیشترین سطح مقطع ریشه‌ها در درختچه شماره ۳ (۱۲۵/۴۰۳۷۵ میلی‌متر مربع) و کمترین آن در درختچه شماره ۲ (۱۱/۵۷۸۷۵ میلی‌متر مربع) ثبت شد که نشان‌دهنده تنوع قابل توجه در تراکم و پراکنش ریشه‌ها میان نمونه‌هاست. این نتایج با یافته‌های سلیمی‌زند و همکاران (۱۳۹۶) در ارتباط با گونه ویول و طلایی و همکاران (۱۴۰۱) در ارتباط با سایر گونه‌های بومی در مطالعه ایشان همخوانی دارد. مطالعات تطبیقی نشان داده‌اند که گونه‌های بومی به دلیل مقاومت کششی بالاتر ریشه‌ها، نقش مؤثرتری در افزایش چسبندگی خاک و پایداری دامنه‌ها دارند در حالی‌که در مطالعه مورد نظر، گونه‌های غیربومی بیشتر در شاخص پراکنش ریشه برتری داشتند (غلامی درمی و همکاران، ۱۳۹۹). در این ارتباط می‌توان استدلال کرد ریشه‌ها به‌طور مستقیم در حفاظت خاک و افزایش پایداری اکوسیستم‌های کوهستانی مؤثر هستند. علاوه بر این، تمرکز ریشه‌ها در لایه‌های میانی می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد تکاملی برای افزایش کارآیی گونه برگ‌بویی در مقابله با نیروهای فرسایشی و حفظ ساختار خاک تفسیر شود.

میانگین حداکثر نیروی لازم برای گسیختگی ریشه‌ها ۱۲,۲۶ نیوتن و میانگین مقاومت کششی برابر با ۱۷,۵۶ مگاپاسکال به دست آمد و میزان رطوبت ریشه‌ها پس از خشک‌سازی در آون برابر با ۲۰,۸ درصد محاسبه شد. نتایج آزمون کشش نشان داد که با افزایش قطر ریشه، مقاومت کششی کاهش می‌یابد (ضریب همبستگی $r = -0.65$)، در حالی که نیروی لازم برای گسیختگی افزایش پیدا می‌کند. این نتایج با یافته‌های سلیمی‌زند و همکاران (۱۳۹۶) که بر نقش تعیین کننده ریشه ها در افزایش پایداری خاک تاکید کرده‌اند همخوانی دارد. نتایج سایر مطالعات نشان دادند که حتی در بین پایه‌های یک گونه نیز مقاومت کششی ریشه دارای اختلاف معنی‌دار است و قطر ریشه در همه تیمارها تأثیر قابل توجهی دارد (Abdi et al., 2009؛ مالمیر و همکاران، ۱۴۰۱؛ عبدی و همکاران، ۱۳۹۰). به‌طور مشابه، فرهادی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه سنجش توانایی گیاهان بومی، ملکی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی ریشه توسکا و Gray و Sotir (۱۹۹۶) در مطالعات زیست‌مهندسی گزارش کردند که تاثیر قطر ریشه‌ها در مسلح سازی خاک با یکدیگر یکسان نیست و ریشه‌های باریک‌تر به دلیل تراکم بالاتر و انعطاف‌پذیری بیشتر، نقش مؤثرتری در تثبیت خاک دارند. از دیدگاه علمی تفاوت در مقاومت کششی ریشه‌ها تابعی از

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

نسبت سلولز به لیگنین است؛ به گونه‌ای که با افزایش میزان سلولز در ساختار ریشه، میزان مقاومت کششی افزایش می‌یابد (نصیری و همکاران،۱۴۰۱).

نتایج آزمون خمش سه‌نقطه روی ساقه‌ها نشان داد که با افزایش قطر ساقه، بیشترین نیروی لازم برای شکست افزایش و میزان جابجایی کاهش می‌یابد. میانگین نیروی لازم برای خمش ساقه‌ها برابر با ۱۳۰/۳۹نیوتن بود و رطوبت متوسط ساقه‌ها ۴۰/۴۸ درصد محاسبه شد. در این خصوص می‌توان بیان داشت قطر ساقه در تعیین مقاومت خمشی و نقش آن در استحکام مکانیکی گیاه اهمیت دارد. با کاهش قطر ساقه، نیروی لازم برای خمش کمتر و میزان تغییر شکل بیشتر می‌شود، این امر با افزایش انعطاف‌پذیری موجب می‌شود سازه گیاهی توانایی بیشتری در جذب تدریجی نیروهای خمشی و دینامیکی داشته باشد. در نتیجه عملکرد زیست مهندسی گونه برگ‌بویی در تثبیت خاک و کاهش اثر نیروهای مخرب جریان آب به طور موثری بهبود می‌یابد. این نتایج با یافته‌های Leblicq و همکاران (۲۰۱۵) که نشان دادند مقاومت خمشی ساقه‌ها تحت تأثیر قطر و ویژگی‌های مکانیکی ساقه است همخوانی دارد. علاوه بر این، مطالعه Sutili و همکاران (۲۰۱۲) در زمینه تاثیر ویژگی‌های مکانیکی ساقه در عملکرد زیست مهندسی و پژوهش Jancke و همکاران (۲۰۱۳) درباره رفتار دینامیکی ساقه‌ها تحت ضربه این مدعا را تایید می‌کنند و بر اهمیت ویژگی‌های زیست‌مهندسی در افزایش استحکام مکانیکی گیاهان و توانایی آن‌ها برای مقابله با تنش‌های محیطی صحه می‌گذارند. می‌توان استدلال کرد اگرچه افزایش قطر موجب افزایش استحکام مکانیکی ساختاری ساقه می شود اما کاهش قطر با افزایش توانایی گیاه در تحمل تغییر شکل می‌تواند به عنوان یک سازوکار تکاملی برای افزایش پایداری مکانیکی گیاه در شراط پرتنش کوهستانی تفسیر گردد؛ موضوعی که در مطالعات مشابه نیز به‌عنوان یک عامل کلیدی در ارتقای مقاومت گیاهان گزارش شده است.

به طورکلی، در ارتباط با سه ویژگی زیست‌مهندسی شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک (RAR)، مقاومت کششی ریشه‌ها (RTS) و مقاومت خمشی ساقه‌ها (SFR)، و مقایسه با مطالعات صورت گرفته در داخل و خارج از کشور، گونه برگ‌بویی زاگرس (*Daphne mucronata* Royle) را می‌توان به عنوان گونه‌ای مقاوم و مؤثر در تثبیت خاک و کنترل فرسایش در مناطق کوهستانی به رسمیت شناخت. ضمن اینکه، آگاهی از این ویژگی‌ها می‌تواند این گونه را به عنوان یک گزینه ارزشمند و مناسب برای مدیریت اصلاح زیست‌محیطی، تثبیت شیب‌ها و کاربرد در پروژه‌های حفاظت خاک معرفی کند. این نتایج با یافته‌های مطالعات سلیمی‌زند و همکاران (۱۳۹۶) در ارتباط با گونه ویول و همچنین مطالعه پرتی و گیادروسیچ (Preti & Giadrossich, 2009) که بر اهمیت ویژگی‌های زیست‌مهندسی گیاهان بومی در بهبود پایداری اکوسیستم‌ها و کاهش فرسایش تأکید دارند، همخوانی دارد. بنابراین، شناخت دقیق و کمی این شاخص‌ها می‌تواند چارچوب علمی برجسته‌ای برای طراحی و اجرای پروژه‌های مدیریت پایدار منابع طبیعی ارایه دهد و نقش مهمی در ارتقای تاب‌آوری بوم نظام‌های کوهستانی ایفا نماید.

نتیجه‌گیری

بررسی ویژگی‌های زیست‌مهندسی گونه‌های گیاهی می‌تواند به‌عنوان شاخص‌های برجسته برای تصمیم‌گیری در ارتباط با تثبیت خاک و کنترل فرسایش در مناطق کوهستانی مورد توجه قرارگیرد و الگویی عملی برای طراحی پروژه‌های حفاظت خاک و تثبیت دامنه‌ها فراهم آورد. به‌طورکلی، در ارتباط با سه ویژگی و شاخص مورد مطالعه در این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک بیانگر تراکم بالای ریشه‌ها در لایه‌های میانی خاک است؛ تمرکزی که نقش کلیدی در تثبیت ذرات خاک و کاهش فرسایش دارد.

بررسی مقاومت کششی ریشه‌ها نشان داد که با افزایش قطر ریشه، مقاومت کششی کاهش و نیروی لازم برای گسیختگی افزایش می یابد؛ الگویی که به‌عنوان یک سازوکار زیست‌مهندسی تطبیقی، کارایی گونه را در تثبیت دامنه‌ها ارتقا می‌دهد. از سوی دیگر، نتایج آزمون خمش ساقه‌ها نشان داد که ساقه‌های قطورتر به نیروی بیشتری برای شکست و جابجایی نیاز دارند؛ ویژگی‌ای که موجب افزایش استحکام مکانیکی ساختار گیاه می‌شود. با این حال ساقه‌های کم قطرتر با انعطاف‌پذیری بیشتر نقش موثرتری در کاهش اثر نیروهای مخرب ایفا می‌کنند؛ سازوکاری که با جذب تدریجی انرژی ضربه موجب کاهش تنش‌های وارده بر گیاه می‌شود.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

در مجموع، سه ویژگی زیست‌مهندسی مورد مطالعه نشان داد ند گو نه برگ‌بویی زاگرس با برخورداری از ریشه‌های متراکم در لایه‌های میانی و ساقه‌هایی به نسبت م قاوم در برابر نیرو های خمشی، ظرفی یت ز یادی برای استفاده در پروژه‌های تثبیت خاک، کنترل فرسایش و ارتقای پایداری بوم نظام‌های کوه ستانی دارد. به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کاربردی می‌توان اظهار داشت که بهره‌گیری از این گونه می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه های اجرایی، به افزایش پایداری محیطی و تاب‌آوری جوامع محلی در برابر بحران‌های اقلیمی کمک کند.

تحقیقات آینده می‌توانند گونه برگ‌بویی را با سایر گونه‌های بومی زاگرس مقایسه نمایند تا بهترین ترکیب گونه‌ای برای پروژه‌های حفاظت خاک تعیین شود. ضمن اینکه، می‌توانند نقش ترکیبی چند گونه را در پروژه های زیست‌مهندسی ارزیابی کنند تا چارچوبی جامع برای مدیریت پایدار منابع طبیعی در مناطق کوهستانی ارائه شود. علاوه براین، می‌توانند اثر تغییر اقلیم بر م قاو مت مکانیکی ریشه‌ها و ساقه‌ها را مورد بررسی قرار دهند. نهایت اینکه، می‌توانند ویژگی‌های مختلف سی ستم ری شه همچون نحوه آرایش م کانی (توزیع فضایی) و خواص هندسی آن بر میزان پایداری خاک را مورد توجه قرار دهند.

منابع

اسماعیلی، م.، عبدی، ا.، جعرفی، م.، مجنویان، ب. (۱۳۹۶). مقایسه ویژگی‌های زیست فنی گونه‌های زبان گنجشک (Fraxinus excelsior) و نوئل (picea abies) جنگل-کاری شده. فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش و توسعه جنگل، (۳)، ۲۳۷-۲۴۷.

بابایی، س.، نیک‌نهاد قرماخر، ح.، فتاحی، ب.، اکبرلو، م. ۱۳۹۵. بررسی روابط معیارهای گیاهی گونه خوشک (Daphne mucronata) با عوامل محیطی در استان همدان (مطالعه موردی: لشگردر ملایر). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، (۳)، ۴۸۶-۴۷۳.

ترنیان، ف.، آذرنیوند، ح.، یزدانپرست، ر.، زارع چاهوکی، م. ع.، جعفری، م.، کومار، س.۱۳۹۶. تعیین مهم‌ترین عوامل موثر بر پراکنش گونه Daphne mucronata Royle و مدل‌سازی رویشگاه‌های پتانسیل آن. نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۱(۲)، ۱۷۹-۱۹۳.

جنیدی، ح.، فرجی، آ.، قلی‌نژاد، ب. ۱۳۹۴. بررسی معیارهای گیاهی گونه خوشک (Daphne mucronata) با عوامل محیطی در استان کردستان. نشریه علمی پژوهشی مرتع، (۳)، ۲۹۲-۳۰۳.

حبیبی بی‌بالانی، ق.، مجنونیان، ب. ۱۳۸۴. پایدارسازی دامنه‌های در حال رانش با گونه درخت انجیلی(parrotia persica)، علوم محیطی، ۸، ۲۸-۲۱.

حمزه، س.، امیری، ا. ۱۳۹۹. پهنه بندی خطر رانش زمین با استفاده از روش‌های همپوشانی وزنی و تحلیل شبکه، مطالعه موردی: منطقه نصر آباد استان گلستان. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، (۱۱۴)،۱۳۲-۱۱۷.

راهداری، م.، سفیانیان، ع.، پورمنافی، س.، قیومی محمدی، ح.، ملکی، س.، پورمردان، و. ۱۳۹۸. ارزیابی چندمعیاره قابلیت اراضی برای کشت دیم (مطالعه موردی: زیرحوضه آبخیز پلاسجان). نشریه علوم آب و خاک، (۴)، ۲۸۵-۲۷۹..

زرگری، ع. ۱۳۷۲. گیاهان داروئی، تهران: موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

سلیمی‌زند، م.، عبدی، ا.، مجنونیان، ب.، حسینی، س. ع.۱۳۹۶. تأثیر گلازنی بر ویژگی‌های زیست‌فنی و مقدار مسلح‌سازی ریشه ویول (Quercus libani). فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۵(۲)، ۱۲.

طلایی، ر.، رستمی کمیا، ی.، عظیمی مطعم، ف.، جعفری اردکانی، ع. پیروان، ح. ۱۴۰۱. روشی برای انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب در مهار فرسایش شیاری و آبکندی در جنوب استان اردبیل. نشریه دانش آب و خاک، (۴)، ۱۳۳-۱۱۷.

ظاهرمند، ص.، شفیعی مطلق، خ.، اجل لوییان، ر.، جهانتاب، ا. ۱۴۰۱. ارزیابی سیستم ریشه گیاه یونجه در مقاوم‌سازی خاک. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، (۱)، ۷۲-۶۳.

عبدی ا.، مجنونیان پ.، رحیمی ح.، زبیری م.، حبیبی بی بالالی ق. ۱۳۹۰. بررسی تنوع درون گونه ای مقاومت کششی ریشه به عنوان مصالح بوم مهندسی (مطالعه موردی: بخش پاتم، جنگل خیرود). نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران. ۶۴ (۲)، ۱۴۴-۱۳۷.

عبادی، م.، رحمتی، م.، عزیزی، م.، حسن‌زاده خیاط، م. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن (طبیعی، آون و میکروویو) بر زمان خشک کردن، درصد و اجزای اسانس گیاه دارویی مرزه (Satureja hortensis L.). فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، (۴)، ۴۸۹-۴۷۷.

غلامی درمی، ا.، اکبری، ح.، نصیری، م.، فسحت، م. ۱۳۹۹. مقایسه ویژگی‌های زیست‌فنی گونه‌های درختی بومی و غیربومی. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۷(۴)، ۶۷—۸۰.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

فرهادی، ا.، احمدی، ح.، معتمد وزیری، ب.، معینی، ا. ۱۴۰۲. ارزیابی قابلیت گیاهان موثر در مهار فرسایش آبکندی (مطالعه موردی: منطقه کنار تخته استان فارس). فصلنامه حفاظت منابع آب و خاک، (۳) ۹۶-۸۱.

کاظمی، س.، ایلدرمی، ع.، نوری، ح. ۱۳۹۷. اثر تغییر کاربری اراضی و خشک‌سالی بر رواناب حوضه‌ی زاگرس مرکزی (مطالعه موردی: حوضه‌ی تویسرکان). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۸(۳۱)، ۴۲-۲۳.

کی‌بندری، ص.، مجنونیان، پ.، عبدی، ا.، یوسف‌زاده، ح.، دلجوبی، آ.۱۳۹۷. تغییرات مکانی مقاومت کششی ریشه سرخ‌بید (Salix elburensis Boiss) در حاشیه رودخانه کارون (مطالعه موردی: دشت سوسن. فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، (۱): ۷۰—۸۰.

مالمیر، م.، پژوهان، ا.، قاسمی آقباش، ف. ۱۴۰۱. بررسی خصوصیات زیست مهندسی گونه‌های Celtis caucasica و Pistacia atlantica در تثبیت زیستی دامنه‌ها در ارتباط با شیب (مطالعه موردی: جنگل کاری‌های حاشیه سد کلان ملایر). مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۴)، ۲۰۸-۱۹۲.

مجنونیان، ب.، عبدی، ا.، فصحت، م.، صوفی مریو، ح. ۱۳۹۳. تعیین ویژگی‌های زیست مکانیک گونه‌ی تبریزی به منظور استفاده در زیست مهندسی خاک. نشریه جنگل و فرآورده-های چوب، (۱)، ۱۹-۱۳.

ملکی، ص.، نقدی، ر.، عبدی، ا.، نیکوی، م. ۱۳۹۳. بررسی میزان مسلح‌سازی ریشه توسکا به‌منظور کاربرد در زیست‌مهندسی. مجله جنگل ایران، ۶(۱): ۸۸—۹۹.

مغفوری‌مقدم، ا. ۱۳۸۳. معرفی شکم‌پایان و دو کفه‌ای‌های زاینده‌رود. مجله علمی شیلات ایران، (۲)، ۱۸۴-۱۷۷.

نصیری، م، اسدی، ح.، شریفی، ح. ۱۴۰۱. تاثیر میزان سلولز و لیگنین بر مقاومت کششی ریشه گونه‌های درختی (مطالعه موردی: جنگل دارابکلا- شمال ایران). بوم شناسی جنگل‌های ایران، (۱۹)، ۱۶۳-۱۵۵.

Abdi, E., Majnounian, B., Rahimi, H., Zobeiri, M. 2009. Distribution and tensile strength of hornbeam (Carpinus betulus) roots growing on slopes of Caspian forests, iran. Journal of forest research, 20, 105-110.

Abdi, E., Majnounian, B., Rahimi, H., Zobeiri, M., Mashayekhi, Z., Yosefzadeh, H. 2010. A comparison of root distribution of Three hardwood species grown on a hillside in the Caspian forest, iran. Journal of forest research, 15, 99-107.

Gray, D.H., Sotir, R.B. 1996. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control. John Wiley & Sons, New York.

Heidarian, T., Ghasemi Aghbash, F., Pazhouhan, I. 2018. The role of native species of Quercus brantii and crataegus aronia in soil reinforcement in Zagros forests. Centralblatt für das gesamte Forstwesen, 135(4), 283–296.

Jancke, O., Berger, F., Dorren, L.K. A. 2013. Mechanical resistance of Coppice Stems Derived from Full-Scale Impact Tests. Earth Surface Processes and Landforms, 38(4), 407-419.

Lateh, H., Avani, N., Bibalani, G.H. 2014. Investigation of root distribution and tensile strength of Acacia mangium Willd (Fabaceae) in the rainforest. Greener Journal of Biological Sciences, 4(2), 45–52.

Lutfullah, G., Shah, A., Ahmad, K., Haider, J. 2019. Phytochemical Screening, Antioxidant and Antibacterial Properties of Daphne Mucronata. Journal of Traditional Chinese Medicine, 39(6), 764-771.

Leblicq, T., Vanmaercke, S., Ramon, H., Saeys, W. 2015. Mechanical analysis of the Bending Behaviour of Plant Stems. Biosystems Engineering, 129, 87-99.

Moresi, F., Maesano, M., Matteucci, G., Romagnoli, M., Sidle, R., Scarascia Mugnozza, G. 2019. Root biomechanical traits in a montane Mediterranean forest watershed: variations with species diversity and soil depth. Forests ecology and management, 10, 1-17 .

Noroozi, J., Talebi, A., Doostmohammadi, M., Bagheri, A. 2020. The Zagros Mountain Range. In Plant Biogeography and Vegetation of High Mountains of Central and South-West Asia (pp. 185–214). Springer.

Preti, F., Giadrossich, F. 2009. Root Reinforcement and Slope Bioengineering Stabilization by Spanish Broom (Spartium Junceum L.). Hydrology and Earth System Sciences, 13(9), 1713-1726.

Schwarz, M., Lehmann, P. 2010. Quantifying lateral root reinforcement in steep slopes-from a bundle of roots to tree stands. Earth surface processes and landforms, 35, 354-367.

Sutili, F.J., Denardi, L., Durlo, M.A., Rauch, H.P., Weissteiner, C. 2012. Flexural Behaviour of Selected Riparian Plants Under Static Load. Ecological Engineering, 43, 85-90.

Sovrlic, M.M., Manojlovic, N.T. 2017. Plants from the Genus Daphne: A Review of its

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]

Traditional Uses, Phytochemistry, Biological and Pharmacological activity. Serbian Journal of Experimental and Clinical Research, 18(1), 69-79.

Tozer, k., Douglas, K., Dodd, M., Muller, K. 2021. Vegetation Options for Increasing Resilience in Pastoral Hill Country. Frontiers in Sustainable Food Systems. 5, 1-14.

Tartaglia, E. S., Aronson, M. F. J. 2024. Plant native: Comparing biodiversity benefits, ecosystem services provisioning, and plant performance of native and non-native plants in urban horticulture. Urban Ecosystems, 27(6), 2587–2611.

Veiskarami, G., Sharifi-Tehrani, M. 2017. Plant species diversity in the Central Zagros Region of Iran. Phytologia Balcanica, 23(1), 101–118.

Wilcox, B.P., Thurow, T.L. 2006. Emerging Issues in Rangeland Ecohydrology: Vegetation Change and the Water Cycle. Rangeland Ecology & Management, 59 (2), 220-224.

Yang, y., Jinnan, J. 2025. Role of Stele and Cortex in Understanding and Predicting Root Tensile Properties. Annals of Botany, 136(5), 1065-1080.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-22]