

برآورد میزان فرسایش ورقه‌ای، با استفاده از تحلیل دندروژئومورفولوژیکی ریشه‌های درخت در حوضه قره‌چای (رامیان)

شهرام بهرامی* - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم سبزوار
فاطمه محبوبی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار
جواد سدید - کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشگاه تربیت معلم سبزوار
مریم جعفری اقدیم - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۸۸/۴/۲۲ تأیید نهایی: ۸۹/۱۱/۱۲

چکیده

دندروژئومورفولوژی یکی از رشته‌های زیرمجموعه دندروکرونولوژی است که بر اساس تجزیه و تحلیل حلقه‌های رشد سالانه درختان و مورفولوژی رشد آنها به بررسی جنبه‌های فضایی و مکانی فرایندهای سطحی زمین در دوره‌های هولوسن می‌پردازد. هدف این تحقیق تحلیل دندروژئومورفولوژیکی حلقه‌های ریشه درخت برای برآورد نرخ فرسایش ورقه‌ای در حوضه قره‌چای (رامیان) است. به منظور تعیین میزان فرسایش ورقه‌ای بر اساس تحلیل دندروژئومورفولوژیکی ریشه‌های درختان، بعد از شناسایی ریشه‌های برونزد یافته بر اثر فرسایش، مجموعاً تعداد ۴۲ مقطع از ریشه درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ تهیه شد. هنگام برداشت نمونه‌ها، اطلاعاتی مانند قسمت رو به آفتاب ریشه رخنمون یافته، محل تماس ریشه با سطح خاک، فاصله سطح خاک تا سطح فوقانی ریشه و اطلاعات مورد نیاز دیگر برای هر مقطع ثبت شد. سپس مقاطع تهیه شده خشک گردیدند و سمباده زده شدند. بعد از تعیین اولین سال رخنمون ریشه‌ها، بر اساس معادله ۱ مقدار کلی فرسایش (Er) بدست آمد و سپس فرسایش سالانه به میلی‌متر محاسبه گردید. متوسط فرسایش ورقه‌ای منطقه مورد مطالعه براساس مقاطع ریشه‌های برونزد یافته، ۰/۵۴۱ میلی‌متر در سال برآورد شده است. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که میانگین فرسایش سالانه در مقاطع دارای سن کمتر از ۵۰ سال، ۵۰ تا ۱۰۰ سال، ۱۰۰ تا ۱۵۰ سال، ۱۵۰ تا ۲۰۰ سال و ۲۰۰ تا ۲۵۰ سال به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۴۸، ۰/۴، ۰/۳ و ۰/۲۵ میلی‌متر است که این موضوع، افزایش میزان فرسایش از ۲۵۰ سال پیش تا زمان حال را نشان می‌دهد. بررسی فرسایش در انواع پوشش گیاهی بیانگر آن است که مقدار متوسط فرسایش سالانه در جنگل‌های متراکم کمتر از جنگل‌های نیمه‌متراکم و کم‌تراکم است. ارزیابی مقدار فرسایش در سازندهای زمین‌شناسی نشان می‌دهد که مقدار فرسایش در خاک‌های واقع بر روی سازندهایی که دارای جنگل‌های متراکم کمتری هستند (مانند سازندهای شمشک پایینی و شمشک میانی)، بیشتر است. تحقیق حاضر نشان می‌دهد که گونه‌های سوزنی‌برگ مانند سرخدار و زربین، به علت دارا بودن حلقه‌های واضح‌تر و قابل شمارش‌تر، دارای کارایی بهتری در برآورد میزان فرسایش، در قیاس با گونه‌های پهن‌برگ مانند بلوط و زبان گنجشک هستند.

کلیدواژه‌ها: دندروژئومورفولوژی، فرسایش ورقه‌ای، ریشه درخت، قره‌چای، رامیان.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین روش‌های تعیین سن فرایندهای ژئومورفولوژی در دوره‌های زمانی چندصد تا چندین هزار ساله دندروکرونولوژی است. دندروکرونولوژی، رشته‌ای است که به مطالعه حلقه‌های سالانه درختان، با استفاده از اندازه‌گیری

تعداد و تغییرات ضخامت حلقه‌ها - که به علت آب و هوا و تغییرات محیطی ایجاد می‌شود - می‌پردازد.

دندروژئومورفولوژی^۱ از رشته‌های زیرمجموعه دندروکرونولوژی^۲ است که براساس تجزیه و تحلیل حلقه‌های رشد سالانه درختان و فرم رشد آنها به بررسی جنبه‌های فضایی و مکانی فرایندهای سطحی زمین می‌پردازد (بودوک^۳ و همکاران، ۲۰۰۵، ۸۲؛ گودی^۴، ۲۰۰۵، ۲۳۹). کاربردهای دندروژئومورفولوژی شامل تعیین سن و همچنین مقدار تغییر در فرایندهایی مانند طوفان، سیلاب، تغییر مجرای رودخانه، حرکت یخچال‌ها، بهمین، حرکات دامنه‌ای و دیگر فرایندهاست. به علاوه، حلقه‌های درخت می‌توانند شواهدی از وقوع پدیده‌هایی چون انفجارهای آتشفشانی، زمین‌لرزه، سونامی، فشردگی خاک، تغییرات سطح آب و مانند اینها ارائه کنند. روش دندروژئومورفولوژی در ارزیابی پدیده‌های مذکور براساس مطالعه روی سن، آناتومی، مورفولوژی و ساختار حلقه‌های درخت در بخش ریشه و ساقه و تاج درخت است. اغلب مطالعات دندروژئومورفولوژی در بررسی ویژگی‌های رشد حلقه‌ها در ساقه‌های آسیب‌دیده درختان تمرکز دارند. در سال‌های اخیر، تحقیقات محدودی روی مورفولوژی، آناتومی و ساختار حلقه در بخش ریشه درختان برای ارزیابی میزان فرسایش ورقه‌ای، فرسایش خندقی و فرسایش کناری رودخانه‌ها انجام شده است. در ارزیابی دندروژئومورفولوژیکی حلقه‌های ریشه درختان، حلقه ریشه‌هایی که در معرض هوا قرار گرفته‌اند (ریشه‌های خارجی)، تعیین سن می‌شوند و ارتباط آنها با سطح فعلی خاک تعیین می‌گردد و بر اساس آن میزان فرسایش مشخص می‌شود. بر اساس الگوی رشد و مورفولوژی حلقه‌ها در ریشه‌هایی که در معرض هوا قرار گرفته‌اند، می‌توان نخستین سال قرارگیری ریشه در معرض هوا را تعیین کرد و از طرفی دیگر با اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع بین ریشه و سطح فعلی خاک، مقدار خاک فرسایش‌یافته را در طی دوره زمانی خاصی مشخص ساخت (گارتنر^۵، ۲۰۰۷، ص ۲۴۸-۲۴۳). اصطلاح دندروژئومورفولوژی را نخستین بار آلتالو^۶ در سال ۱۹۷۱ در تحقیقی با عنوان (تفسیر دندروژئومورفولوژیکی فرایندهای ژئومورفیک) به کار برد. او در این تحقیق اصول اساسی دندروژئومورفولوژی را تشریح کرد و به تجزیه و تحلیل عکس‌العمل رشد در ساقه درختان متأثر شده از فرایندهای ژئومورفیک پرداخت (آلتالو، ۱۹۷۱، ۲۰). پژوهشگرانی چون زولتای^۷ و تارنوسیا^۸ (۱۹۷۱، ۱۱۵)، زولتای (۱۹۷۵، ۳۳۱)، شرودر^۹ (۱۹۷۵، ۲۲۲)، آیوس^{۱۰} و همکاران (۱۹۷۶، ۱۲۹)، شرودر و همکاران (۱۹۷۶، ۱۱۵)، کارارا^{۱۱} و کارول^{۱۲} (۱۹۷۷)، کاستا^{۱۳} (۱۹۷۸، ۶۱۷)، شرودر (۱۹۸۰، ۱۶۱)، استرانک^{۱۴} (۱۹۸۸، ۱۵)، مارین^{۱۵} و فیلیون^{۱۶} (۱۹۹۲، ۳۱۶)، دانزر^{۱۷} (۱۹۹۶، ۶۷۱) یا ماگوچی^{۱۸} و همکاران (۱۹۹۷، ۹۲۲)، واندکرف^{۱۹} و همکاران (۲۰۰۱، ۱۲۳)، جرس^{۲۰} و همکاران

1. Dendrogeomorphology
2. Dendrochronology
3. Bodoque
4. Goudie
5. Gartner
6. Alestalo
7. Zoltai
8. Tarnocia
9. Shroder
10. Ives
11. Carrara
12. Carroll
13. Costa
14. Strunk
15. Marin
16. Filion
- 17 - Danzer
- 18 - Yamaguchi
- 19 - Vandekerckhove
- 20 - Gers

(۲۰۰۱، ۱۶۳)، میر^۱ (۲۰۰۱، ۲۷۱)، گارتتر و همکاران (۲۰۰۳، ۱۲۰)، مالیک^۲ (۲۰۰۸، ۴۲۱) از حلقه‌های رشد سالانه درختان برای بررسی موضوعات و مسائلی چون لغزش‌ها، ریزش‌ها، بهمن‌ها، فرسایش و سیلاب‌ها استفاده کردند. تحقیقات مذکور بیشتر از حلقه‌های ساقه درخت برای بررسی فرایندهای ژئومورفیک استفاده کرده‌اند. بودوک و همکاران (۲۰۰۵، ۸۱) فرسایش صفحه‌ای را با استفاده از تجزیه و تحلیل دندروژئومورفولوژیکی ریشه‌های درختان که در معرض هوا قرار گرفته بودند، تعیین کردند. گارتتر و همکاران (۲۰۰۱، ۸۱) و گارتتر (۲۰۰۳، ۱۲۰) تغییرات آناتومیکی خاص ریشه‌ها را در مطالعات دندروژئومورفولوژیکی وارد کردند. آنها تغییرات اندازه سلول‌های حلقه ریشه‌ها (اغلب درختان مخروطی) را، پیش از سال قرارگیری ریشه در معرض هوا و پس از آن، تعیین فرایندهای ژئومورفولوژی و عمق خاک مورد استفاده قرار دادند. همچنین پژوهشگرانی مانند سالینگ^۳ و همکاران (۲۰۰۳)، گارتتر (۲۰۰۷) کارایی تغییرات آناتومی و مورفولوژیکی حلقه ریشه‌های درختان درختان خزان‌کننده - به علت تغییرات عمق خاک - را مورد بررسی قرار داده‌اند. مالیک (۲۰۰۸) با استفاده از تغییرات مورفولوژیکی ریشه درختان به تعیین سن گالی‌ها و تعیین مقدار فرسایش در آنها در جنوب لهستان پرداخت. تا به حال تحقیق در زمینه دندروژئومورفولوژی و کاربرد آن در تعیین فرایندهای ژئومورفولوژی در ایران و همچنین در حوضه مورد مطالعه انجام نشده است. مطالعه حاضر، با توجه به این کاستی، با هدف بررسی و تجزیه و تحلیل دندروژئومورفولوژیکی حلقه‌های رشد سالانه ریشه درختان، برای برآورد فرسایش ورقه‌ای برای نخستین بار در ایران انجام می‌شود.

مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به تعیین میزان فرسایش ورقه‌ای بر اساس تحلیل دندروژئومورفولوژیکی ریشه‌های درخت در حوضه قره‌چای، محدوده مورد مطالعه از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی منطقه تعیین گردید. نقشه توپوگرافی مذکور و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه در نرم‌افزار ILWIS رقومی گردید و بر اساس آن نقشه‌های شیب، جهت شیب، سطوح ارتفاعی و لیتولوژی منطقه تهیه شد. پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

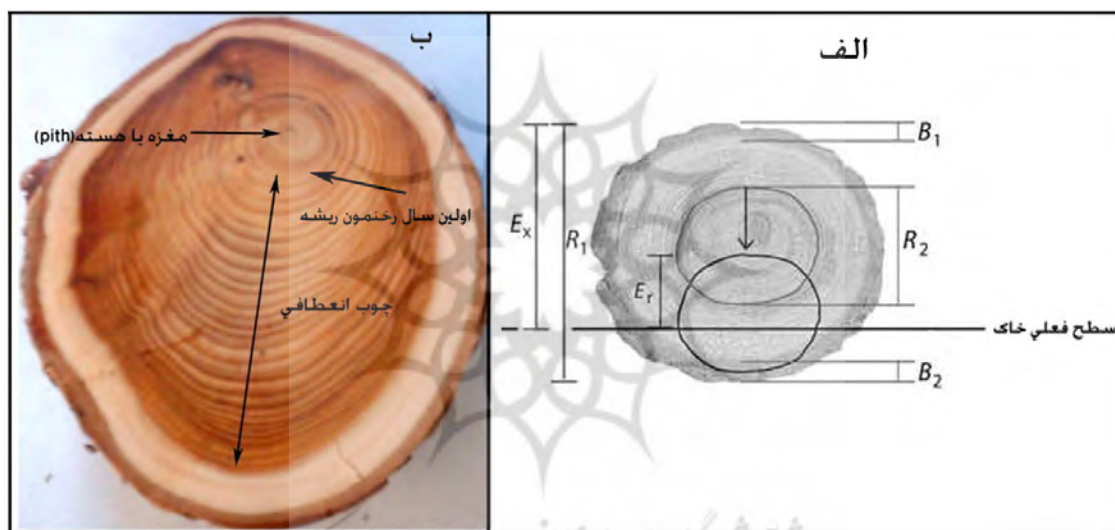
بعد از شناسایی ریشه‌های برونزد یافته بر اثر فرسایش، مجموعاً تعداد ۴۲ مقطع از ریشه درختان سوزنی‌برگ (۳۳ مقطع از سرخدار، ۱ مقطع از زرین، ۳ مقطع از ارس، ۱ مقطع از کاج) و پهن برگ‌ها (۲ مقطع زبان گنجشک و ۲ مقطع بلوط) در تابستان ۱۳۸۷ تهیه شد. در هنگام برداشت نمونه‌ها، اطلاعاتی مانند نوع درخت، ارتفاع درخت از سطح دریا، شیب محل، قسمت رو به آفتاب ریشه رخنمون یافته، محل تماس ریشه با سطح خاک، فاصله سطح خاک تا سطح فوقانی ریشه برای هر مقطع ثبت شد. نمونه‌ها در فاصله نیم‌متری تا ۱ متری از تنه درختان برداشت شدند. بعد از برداشت نمونه‌ها، مقاطع تهیه شده خشک شدند و سپس به منظور وضوح حلقه‌ها و شمارش آنها، با دستگاه سمباده برقی مقاطع صیقلی شدند. بعد از تعیین نخستین سال رخنمون ریشه‌ها بر اساس تغییر الگوی حلقه ریشه‌ها از متحدالمرکز به بیضوی، بر اساس روش گارتتر (۲۰۰۷، ۲۴۸)، و معادله شماره ۱، مقدار کلی فرسایش به میلی‌متر (E_T) به دست آمد. نرخ فرسایش سالانه به میلی‌متر یا $E_{T,a}$ (معادله ۲) از تقسیم E_T (شکل ۱. الف) بر تعداد حلقه‌هایی که بعد از سال رخنمون رشد کرده‌اند (NR_{ex}) به دست آمد.

$$Er = R_2 + \left[\frac{(B_1 + B_2)}{2} \right] - R_1 + Ex \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن R_1 : قطر ریشه (میلیمتر) که پوست آن را هم در بر می‌گیرد، Ex : فاصله بین بخش رویی ریشه و سطح فعلی خاک (میلیمتر)، R_2 : ارتفاع ریشه در زمان رخنمون، بر پایه تجزیه و تحلیل تغییرات کالبدشناختی، B_1 : ضخامت پوست بخش رویی ریشه (میلیمتر)، B_2 : ضخامت پوست بخش پایینی ریشه (میلیمتر).

$$E_r, a = \frac{Er}{NR_{ex}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

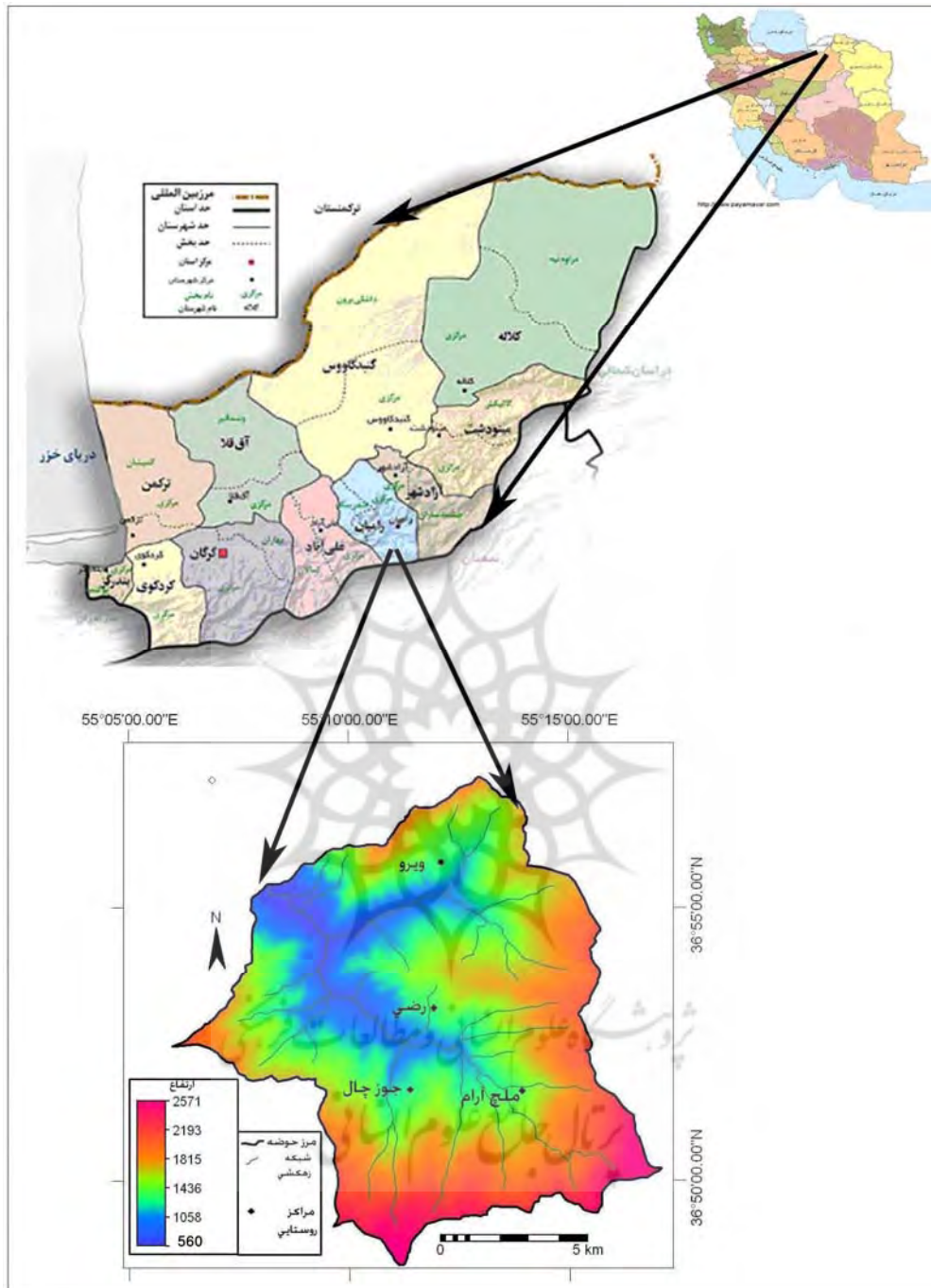
در نهایت بر اساس معادلات مذکور، میانگین سالانه فرسایش ورقه‌ای محاسبه شد و نتایج با توجه به عوامل مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل ۱- الف) بازسازی فرسایش پهنه‌ای به کمک ریشه‌های رخنمون یافته در تماس با خاک (معادله ۱) (گارتنر، ۲۰۰۷، ۲۴۸)؛ و ب) مقطع ریشه درخت سرخدار در حوضه مورد مطالعه و نمایش نخستین پروندگی ریشه، چوب انعطافی (حلقه‌های غیر دایره‌ای) و مغزه

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخش جنوبی حوضه آبخیز قره‌چای در شهرستان رامیان (استان گلستان) است که در طول جغرافیایی 55° تا $55^{\circ} 17'$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 48' 28''$ تا $36^{\circ} 57' 23''$ شمالی واقع گردیده است. حوضه مطالعاتی با مساحت 143137 کیلومتر مربع، از طرف شمال به شهرستان رامیان، از طرف جنوب به کوه‌های ملج‌آرام، قطارچشمه و النگ، از سمت غرب به کوه قلعه ماران و آبخیز سیاه‌جوی، و از سمت شرق به حوضه آبخیز تیل‌آباد محدود می‌گردد. بلندترین نقطه حوضه 2898 متر (کوه النگ در جنوب غرب) و پست‌ترین نقطه حوضه 560 متر (در شمال غرب) ارتفاع دارد (شکل ۲). تنها جریان دائمی حوضه، رود جوزچال است که به رودخانه قورچای می‌ریزد. متوسط شیب وزنی حوضه $38/25$ درصد است. منطقه مورد مطالعه از لحاظ زمین‌شناسی جزئی از پهنه گرگان - رشت است. سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه شامل خوش‌بیلاق (Dkh)، بخش زیرین سازند خوش‌بیلاق (Dkh1)، سازند مبارک (C1m)، سازند

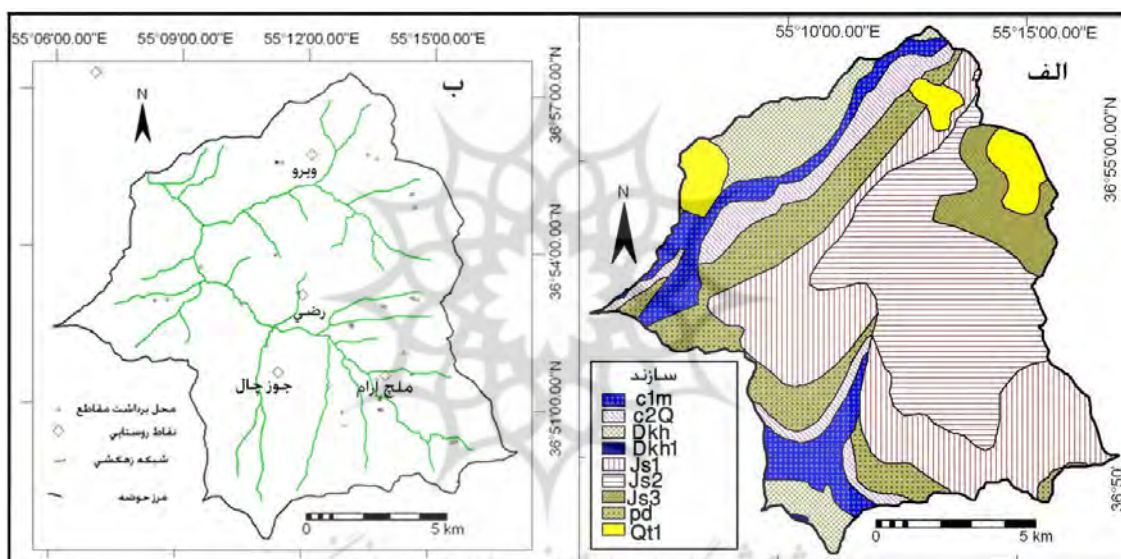


شکل ۲. موقعیت و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

قرل قلعه (C2Q)، سازند درود (Pd)، شمشک زیرین (Js1)، شمشک میانی (js2)، شمشک بالایی (js3)، و مخروط افکنه‌های قدیمی (Qt1) هستند (شکل ۳- الف) که به ترتیب ۸، ۰/۰۵، ۹/۱۷، ۷/۳۴، ۱۴/۸، ۲۴/۵، ۲۵/۸، ۵/۱۳ و ۵/۱۷ درصد از کل مساحت حوضه را تشکیل می‌دهند. سازندهای خوش بیلاق شامل سنگ آهک، سنگ آهک مارنی، شیل، ماسه سنگ، ماسه سنگ کوارتزیتی و گچ؛ شمشک زیرین شامل ماسه سنگ خاکستری نازک لایه و آهک دولومیتی؛ مبارک شامل سنگ آهک و شیل خاکستری؛ قرل قلعه شامل آهک و آهک ماسه‌دار؛ درود شامل ماسه‌سنگ،

ماسه‌سنگ کوارتزیتی، سنگ آهک؛ شمشک زیرین شامل ماسه سنگ، سیلتستون و شیل؛ شمشک میانی شامل شیل، سیلتستون و ماسه‌سنگ؛ و شمشک بالایی شامل ماسه سنگ، شیل و کنگلومراست.

براساس ایستگاه رامیان، متوسط درجه حرارت منطقه ۱۶/۶ درجه سانتیگراد و میانگین بارش سالانه منطقه ۸۶۰/۳ میلیمتر است (مهندسین مشاور شمال، ۱۳۸۶، ص ۲۸). گونه‌های مهم درختی شناسایی شده در حوضه قره‌چای عبارت‌اند از: ممرز، بلوط، توسکا، افراپلت، نمدار، شیردار، زبان گنجشک، بارانک، خرمن‌دی، آلوکک، ملج، کرکو، انجیلی، زربین، سفید پلت، لور، داغداغان، و لرک. در شکل ۴، نقشه پوشش گیاهی حوضه قره‌چای نشان داده شده است. این شکل که بر اساس تصاویر ماهواره‌ای کویک برد تهیه شده است، جنگل‌های متراکم، نیمه‌متراکم، کم‌تراکم و مراتع را - که به ترتیب ۱۶، ۴۲، ۲۰ و ۲۲ درصد از کل مساحت حوضه را شامل می‌شوند - نشان می‌دهد.



شکل ۳- الف) نقشه چینه شناسی منطقه مورد مطالعه؛ (ب) موقعیت نمونه‌های برداشتی از حلقه ریشه‌ها در حوضه قره‌چای

نتایج

برآورد فرسایش ورقه‌ای بر اساس تحلیل دندروژئومورفولوژیکی ریشه درختان، بر این اصل استوار است که حلقه‌های رشد سالانه در ریشه‌هایی که در زیر خاک قرار دارند به صورت دایره‌ای (متحدالمرکز) رشد می‌کنند. بعد از اینکه فرسایش، سطح فوقانی ریشه را نمایان کند و ریشه در سطح زمین برونزد یابد، حلقه‌های سالانه به صورت غیردایره‌ای (اغلب به صورت بیضی) امتداد می‌یابند و به سمت پایین رشد می‌کنند (شکل ۱- ب). نخستین سال برونزدگی ریشه را در سطح زمین، می‌توان با تشخیص نخستین حلقه غیردایره‌ای تعیین کرد. تعداد حلقه‌های غیردایره‌ای نمایانگر تعداد سال‌هایی است که ریشه درخت در سطح زمین نمایان شده است. با اندازه‌گیری تعداد حلقه‌های غیردایره‌ای یا بیضی از یک طرف، و اندازه‌گیری ارتفاع سطح فوقانی ریشه تا سطح فعلی خاک به میلیمتر از طرفی دیگر، می‌توان مقدار فرسایش را در دوره زمانی معینی مشخص ساخت. سپس با تقسیم کردن ارتفاع سطح فوقانی ریشه تا سطح خاک، بر تعداد حلقه‌های غیردایره‌ای، میزان فرسایش خاک به میلیمتر در سال به دست می‌آید (کارارا و کارول، ۱۹۷۹، ۳۰۸).

از آنجا که بعد از رخنمون ریشه، محور ریشه یا مغزه به سمت بالا حرکت می‌کند، گارتتر در سال ۲۰۰۷، بعد از اصلاحاتی در روش‌های قبلی و در نظر گرفتن میزان جابه‌جایی محور ریشه و ضخامت پوست در قسمت بالا و پایین ریشه‌ها، روشی را ارائه کرد که در بخش مواد و روش‌ها به تفصیل بیان شده است. در این تحقیق بر اساس معادلات ۱ و ۲ مقدار فرسایش ورقه‌ای در ۴۲ نمونه ریشه درخت در حوضه قره‌چای محاسبه شده است. نمونه‌ها شامل ریشه درختان سرخدار، زربین، بلوط، ارس، کاج و زبان‌گنجشک‌اند.

حلقه‌های رشد سالانه در ریشه گونه‌های درختی سوزنی‌برگ و پهن‌برگ، الگوهای مختلف و درجه وضوح گوناگونی دارند. تمام سوزنی‌برگ‌هایی که در مرحله برداشت آزمایشی امتحان شدند، حلقه‌های واضحی داشتند؛ ولی حلقه‌های برخی از پهن‌برگ‌ها، بسیار مبهم بود. تعدادی از پهن‌برگ‌ها، مانند بلوط و زبان‌گنجشک، به علت پاره‌ای از خصوصیات همچون ایجاد حلقه‌های کاذب، مشکلاتی را ایجاد کردند. بنابراین بیشتر مقاطع از سوزنی‌برگ‌ها به دست آمدند.

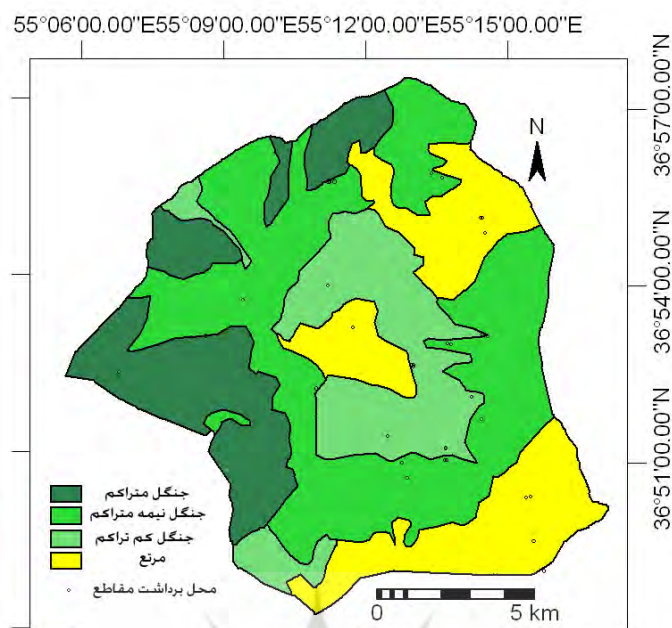
از بین سوزنی‌برگ‌های موجود در محدوده مورد مطالعه، ریشه درخت سرخدار، حلقه‌های واضحی داشت که حتی بدون سنباده زدن و پوستاب کشیدن، حلقه‌های آن قابل شمارش بود. درختان زربین، که نوعی سوزنی‌برگ محسوب می‌شوند نیز حلقه‌های واضحی مانند سرخدارها دارند، با این تفاوت که حلقه‌های سرخدار، به علت دارا بودن رنگ قرمز متغیری از کمرنگ تا پُرنرنگ، در این زمینه کیفیت بهتری دارند. ارس‌ها کیفیت وضوح حلقه‌شان کمتر از دو گونه دیگر سوزنی‌برگ است ولی بعد از سنباده زدن و پوستاب کشیدن، حلقه‌های‌شان آشکارا مشاهده می‌شوند.

همان‌طور که ذکر گردید، با توجه به وضوح حلقه‌های سوزنی‌برگ‌ها، بیشتر مقاطع از بین آنها انتخاب شد، تا نرخ فرسایش دقیق‌تر بدست آید؛ ضمن اینکه ۴ مقطع - شامل ۲ مقطع از بلوط و ۲ مقطع هم از درخت زبان‌گنجشک - انتخاب شدند تا تفاوت کارایی گونه‌های ذکر شده مشخص گردد.

شکل (ب) موقعیت نمونه‌های برداشت شده را در حوضه قره‌چای نشان می‌دهد. موقعیت نمونه‌های برداشتی مقاطع درختان، نوع درخت، ارتفاع محل برداشت، سازند زمین‌شناسی، جهت شیب، سن درخت و مقدار فرسایش برآوردشده در جدول ۱ ارائه گردیده است.

ابتدا فرسایش کلی به میلی‌متر (Et) برای هر نمونه محاسبه شد و پس از تقسیم آن به تعداد سال‌های بعد از رخنمون ریشه مقدار فرسایش سالانه به میلی‌متر محاسبه شد.

بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد که در مقاطع دارای حلقه‌های بیشتر (یا قدیمی‌تر)، مقدار فرسایش سالانه کمتر است. به عبارتی، در مقاطع مربوط به زمان‌های جدیدتر، مقدار فرسایش بیشتر است. بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد که میانگین فرسایش سالانه در مقاطع دارای سن کمتر از ۵۰ سال، ۵۰ تا ۱۰۰ سال، ۱۰۰ تا ۱۵۰ سال، ۱۵۰ تا ۲۰۰ سال و ۲۰۰ تا ۲۵۰ سال، به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۴۸، ۰/۴، ۰/۳ و ۰/۲۵ میلی‌متر است. به بیان دیگر از مقاطع قدیمی‌تر به جدیدتر، مقدار متوسط فرسایش افزایش می‌یابد. شکل شماره ۵ رابطه خطی معکوس بین سن مقاطع و متوسط فرسایش سالانه را برای تمام مقاطع نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است، با افزایش سن مقاطع از میزان فرسایش کاسته می‌شود. این موضوع احتمالاً دخالت انسان را در قطع جنگل و کاهش پوشش گیاهی نشان می‌دهد.



شکل ۴. نقشه پوشش گیاهی حوضه آبخیز قره‌چای

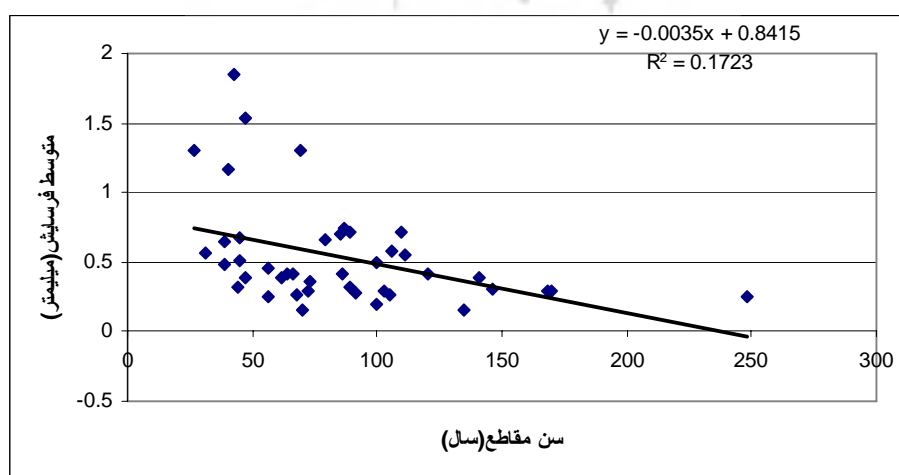
جدول ۱. موقعیت نمونه‌های برداشتی مقاطع درختان، نوع درخت، جهت دامنه، سازند زمین‌شناسی، ارتفاع محل برداشت، سن درخت و مقدار فرسایش (E_r مقدار فرسایش مجموع سال‌ها به میلی‌متر، و $E_{r,a}$ مقدار فرسایش سالانه به میلی‌متر)

شماره مقطع	نوع درخت	موقعیت مقطع (UTM)	نام سازند	جهت دامنه	E_r (mm)	$E_{r,a}$ (mm/y)	میزان شیب (درصد)	ارتفاع (متر)	سن (سال)
۱	بلوط	۰۳۴۲۲۲۱ ۴۰۸۰۱۰۱	Js2	شمال	۶۸/۵	۱/۸۵	۲۳/۶۳	۱۴۷۵	۴۳
۲	سرخدار	۰۳۳۴۲۷۵ ۴۰۸۳۵۹۹	Pd	شمال	۸۵/۴	۱/۳	۹۷/۰۰	۱۲۲۶	۶۹
۳	زرین	۰۳۴۳۰۵۰ ۴۰۸۱۷۳۹	Js2	جنوب	۷۶	۰/۷۱۰	۱۰	۱۹۹۵	۱۱۰
۴	سرخدار	۰۳۴۰۸۷۳ ۴۰۷۹۶۶۳	Js2	شمال	۵۶/۵	۰/۵۸	۴۶/۰۱	۱۶۰۸	۱۰۶
۵	سرخدار	۰۳۴۲۲۰۷ ۴۰۷۹۷۳۳	Js2	شمال	۲۱/۴۵	۰/۵۱	۱۵/۷۰	۱۱۰۱	۴۵
۶	بلوط	۰۳۴۲۲۲۱ ۴۰۸۰۱۱۷	Js2	شمال	۶۷/۵	۱/۵۳	۳۲/۶۸	۱۴۷۱	۴۷
۷	سرخدار	۰۳۳۵۸۹۵ ۴۰۸۴۷۷۲	Pd	جنوب غرب	۵۷/۵	۰/۷۰	۱۱۰	۶۶۴	۸۵
۸	سرخدار	۰۳۳۵۸۹۵ ۴۰۸۴۷۷۲	Pd	جنوب غرب	۴۱/۵	۰/۳۰	۳۷/۹۷	۶۶۴	۱۴۶
۹	سرخدار	۰۳۴۱۱۶۸ ۴۰۸۲۷۳۲	Js2	شمال غرب	۴۶/۵	۰/۴۱	۳۳/۹۹	۱۲۸۱	۱۲۰
۱۰	سرخدار	۰۳۳۲۰۳۱ ۴۰۸۲۵۱۵	Pd	جنوب غرب	۶۰/۵	۰/۲۵	۵۰	۱۸۹۸	۲۴۸

۸۹	۱۶۸۶	۳۰/۸۶	۰/۷۱۵	۶۱/۵	شمال غرب	Js2	۰۳۴۲۴۰۷ ۴۰۸۳۳۷۴	سرخدار	۱۱
۱۰۰	۱۵۰۶	۲۸/۰۱	۰/۵۰	۵۰	شمال غرب	Qt1	۰۳۴۱۷۹۴ ۴۰۸۸۷۳۰	سرخدار	۱۲
۶۸	۱۱۰۹	۴۶/۳۳	۰/۲۷	۱۸	شمال شرق	Js2	۰۳۴۲۲۶۰ ۴۰۷۹۷۴۷	سرخدار	۱۳
۲۷	۱۲۸۰	۱۷/۰۳	۱/۳	۳۰/۵	شمال غرب	Js1	۰۳۴۱۰۱۷ ۴۰۷۹۱۷۵	زبان گنجشک	۱۴
۱۳۵	۱۵۰۰	۲۳/۱۱	۰/۱۵۶	۲۱	جنوب شرق	C1m	۰۳۳۸۶۱۸ ۴۰۸۸۴۷۴	سرخدار	۱۵
۵۶	۱۵۰۳	۳۴/۱۰	۰/۴۵	۲۲/۷۵	جنوب شرق	C1m	۰۳۳۸۶۱۸ ۴۰۸۸۴۷۴	سرخدار	۱۶
۱۷۰	۱۸۷۵	۱۶۸/۴۱	۰/۲۹۴	۴۹/۵	شمال غرب	Js2	۰۳۴۳۳۹۲ ۴۰۸۳۶۶۲	سرخدار	۱۷
۴۴	۱۵۳۶	۴۵/۳۷	۰/۳۲	۱۳/۲۵	جنوب شرق	C1m	۰۳۳۸۵۷۰ ۴۰۸۸۴۷۳	سرخدار	۱۸
۷۹	۱۲۷۴	۳۳/۳۰	۰/۶۶	۴۶/۵	شمال غرب	Js2	۰۳۴۱۲۲۷ ۴۰۸۲۶۸۳	سرخدار	۱۹
۱۶۸	۱۴۶۰	۲۵/۶۷	۰/۲۹۶	۴۹	جنوب شرق	C2Q	۰۳۳۸۷۶۰ ۴۰۸۸۴۶۵	سرخدار	۲۰
۸۹	۱۶۳۵	۱۴/۵۰	۰/۳۲	۲۸/۵	غرب	Qt1	۰۳۴۳۳۲۷ ۴۰۸۷۳۵۱	سرخدار	۲۱
۸۶	۱۸۶۰	۳۳/۵۸	۰/۴۱	۳۴/۵	غرب	Js2	۰۳۴۳۵۴۱ ۴۰۸۳۶۲۶	سرخدار	۲۲
۳۹	۱۶۵۴	۲۲/۲۹	۰/۶۵	۲۴/۷۵	غرب	Js2	۰۳۴۳۳۴۳ ۴۰۸۱۰۱۰	سرخدار	۲۳
۶۴	۸۶۲	۳۱/۱۵	۰/۴۱۸	۲۵/۵	شمال	Js1	۰۳۳۷۳۴۲ ۴۰۸۳۴۷۱	کاج	۲۴
۱۰۰	۱۸۵۰	۳۷/۱۵	۰/۱۹	۱۸/۷۵	غرب	Js2	۰۳۴۳۳۶۱ ۴۰۸۳۶۸۷	سرخدار	۲۵
۱۰۵	۱۷۱۰	۱۱/۲۴	۰/۲۶۲	۲۷	شمال غرب	Js3	۰۳۴۳۴۶۶ ۴۰۸۶۸۷۶	سرخدار	۲۶
۱۰۳	۱۳۸۲	۷۳/۲۱	۰/۲۹	۲۹/۷۵	جنوب شرق	Js2	۰۳۳۹۳۲۴ ۴۰۸۳۹۰۱	سرخدار	۲۷
۴۰	۲۰۹۸	۳۲/۴۲	۱/۱۷	۴۴/۷۵	شمال غرب	Js1	۰۳۴۴۷۵۴ ۴۰۷۸۵۶۳	زبان گنجشک	۲۸
۳۱	۲۱۱۰	۴۸/۷۰	۰/۵۷	۱۵	شمال غرب	Js1	۰۳۴۴۸۷۹ ۴۰۷۸۶۰۸	ارس	۲۹
۴۵	۱۶۴۴	۳۰/۸۶	۰/۶۷	۲۹/۵	شمال غرب	Qt1	۰۳۴۳۳۸۷ ۴۰۸۷۳۵۵	سرخدار	۳۰
۱۴۱	۱۵۹۲	۹۷	۰/۳۸۳	۵۲/۱۳	شمال غرب	Js2	۰۳۴۲۱۱۷ ۴۰۸۸۵۸۲	سرخدار	۳۱
۶۲	۱۵۹۲	۲۶/۹۰	۰/۳۹	۲۳	شمال غرب	Js2	۰۳۴۲۱۱۷ ۴۰۸۸۵۸۲	سرخدار	۳۲

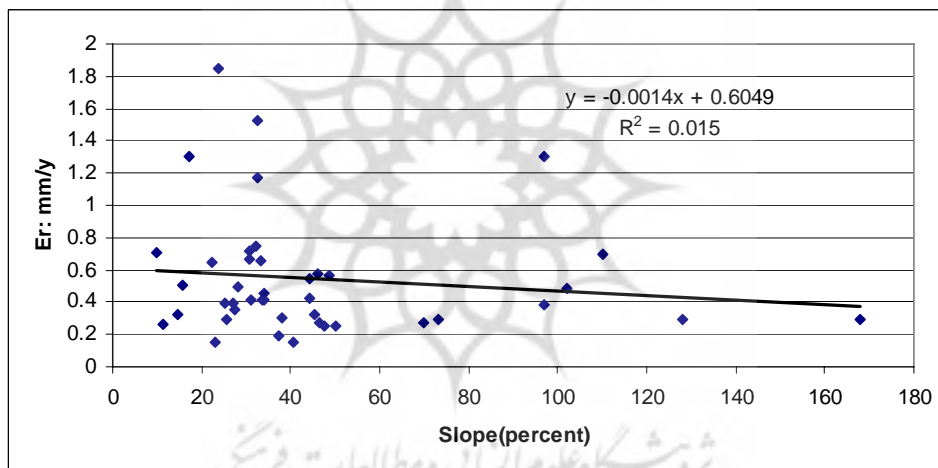
۸۷	۱۰۵۳	۳۲/۳۶	۰/۷۵	۶۳/۷۵	شمال	Pd	۰۳۳۴۷۲۷ ۴۰۸۳۶۴۱	سرخدار	۳۳
۵۶	۱۳۰۵	۴۷/۴۹	۰/۲۵۷	۱۶/۱۵	شمال غرب	Js2	۰۳۴۱۲۴۲ ۴۰۸۲۷۳۳	سرخدار	۳۴
۴۷	۱۳۷۷	۲۵/۳۹	۰/۳۹	۱۷/۵۲	شمال شرق	Js2	۰۳۳۸۵۴۰ ۴۰۸۵۲۰۰	سرخدار	۳۵
۶۶	۱۳۰۲	۴۴/۳۳	۰/۴۲۱	۲۷/۴	شمال	Js2	۰۳۴۰۴۰۹ ۴۰۸۰۵۰۰	سرخدار	۳۶
۷۳	۱۶۴۷	۲۷/۶۲	۰/۳۵۷	۲۵/۴	شمال غرب	Js2	۰۳۴۲۲۹۵ ۴۰۸۳۴۰۶	سرخدار	۳۷
۹۱	۲۵۴۰	۶۹/۷۶	۰/۲۷۲	۲۴/۲۵	شمال	Pd	۰۳۴۴۹۹۱ ۴۰۷۷۱۱۸۰	ارس	۳۸
۳۹	۹۶۵	۱۰۲	۰/۴۸	۱۸/۵	شمال	Js1	۰۳۳۸۲۰۰ ۴۰۸۱۹۹۳	سرخدار	۳۹
۷۲	۹۶۵	۱۲۸	۰/۲۹	۲۱	شمال	Js1	۰۳۳۸۲۰۰ ۴۰۸۱۹۹۳	سرخدار	۴۰
۱۱۱	۹۶۵	۴۴/۳۳	۰/۵۵	۶۰/۲۵	شمال	Js1	۰۳۳۸۲۰۰ ۴۰۸۱۹۹۳	سرخدار	۴۱
۷۰	۲۵۳۱	۴۰/۶۴	۰/۱۵	۷/۵	غرب	Pd	۰۳۴۴۹۸۸ ۴۰۷۷۱۹۸	ارس	۴۲

بررسی این تحقیق نشان می‌دهد که میانگین فرسایش سالانه در جهات جنوب، جنوب شرق، جنوب غرب، شمال، شمال شرق، شمال غرب و غرب به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۳، ۰/۴۲، ۰/۷۵، ۰/۳۳، ۰/۵۷ و ۰/۳۴ میلی‌متر در سال است. همان‌گونه که جدول ۱ نشان می‌دهد، تعداد مقاطع برداشت شده در برخی از جهات بسیار کم است (به عنوان مثال، در جهت جنوب تنها یک مقطع برداشت شده است)؛ بنابراین نمی‌توان اظهار نظر درستی در مورد تأثیر جهت دامنه بر مقدار فرسایش ارائه کرد.

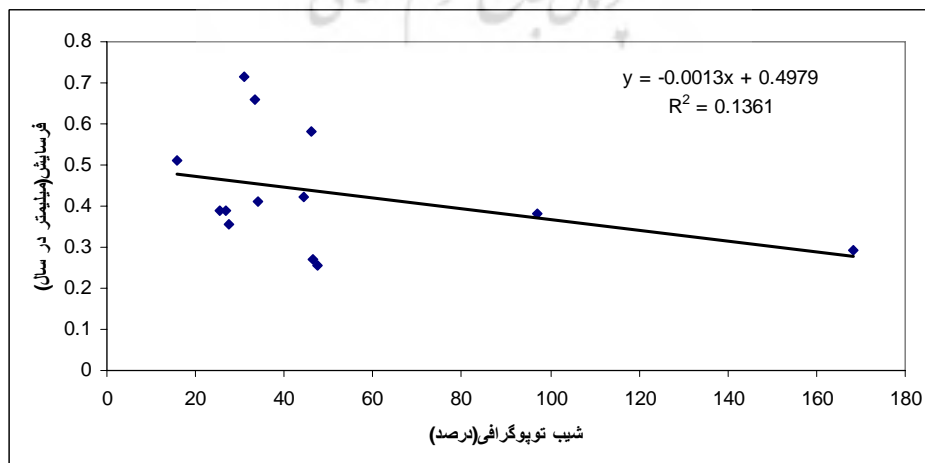


شکل ۵. رابطه خطی بین سن مقاطع و متوسط فرسایش سالانه در منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق همچنین فرسایش ورقه‌ای و ارتباط آن با درصد شیب، سازندهای زمین‌شناسی و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این کار، نقشه مقاطع ریشه‌ها با نقشه لیتولوژی، شیب و پوشش گیاهی برش داده شد. شکل ۶ رابطه بین شیب توپوگرافی و فرسایش سالانه را (برای تمام مقاطع) نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده، ضریب همبستگی بین درصد شیب و نرخ فرسایش پهنه‌ای بسیار ضعیف (۰/۰۱۵) است. به نظر می‌رسد که علت این موضوع آن است که: نخست، نمونه‌ها در سازندها و جهات دامنه‌ای متفاوتی واقع شده‌اند؛ و دوم، مقاطع از یک نوع درخت نیستند. روش صحیح علمی در بررسی رابطه شیب و فرسایش، آن است که نمونه‌هایی که روی یک سازند قرار دارند جداگانه بررسی شوند. به همین منظور، در این تحقیق رابطه بین شیب توپوگرافی و فرسایش ورقه‌ای در مقاطعی که از نظر لیتولوژی و نیز نوع درخت و جهت دامنه یکسان بودند، ارزیابی شده است. رابطه شیب و فرسایش سالانه در مقاطع درخت سرخدار واقع در سازند شمشک میانی (js2) و در جهت شمال در شکل ۷ مشخص شده است. همان‌گونه که شکل ۷ نشان می‌دهد، با افزایش شیب توپوگرافی مقدار فرسایش ورقه‌ای کاهش می‌یابد.



شکل ۶. نمودار رابطه خطی بین درصد شیب و مقدار فرسایش سالانه



شکل ۷. نمودار رابطه خطی بین درصد شیب و مقدار فرسایش سالانه، براساس مقاطع گونه سرخدار واقع در سازند شمشک میانی (js2) و جهت شمال

جدول ۲ مقدار متوسط فرسایش را در سازندهای مختلف زمین‌شناسی در حوضه قره‌چای نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، کمترین مقدار فرسایش در سازندهای شمشک بالایی، js3 و قزل‌قلعه، C2q به ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۳۰ میلی‌متر در سال است. بالاترین مقدار فرسایش در شمشک زیرین، js1 و شمشک میانی، js2، به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۵۶ میلی‌متر در سال می‌باشد.

جدول ۲. متوسط فرسایش سالانه، متوسط شیب توپوگرافی و درصد مساحت انواع پوشش گیاهی در سازندهای مختلف

زمین‌شناسی در حوضه قره‌چای

سازند	میانگین فرسایش (میلی‌متر در سال)	متوسط شیب توپوگرافی در سازند (درصد)	جنگل متراکم	جنگل نیمه‌متراکم	جنگل کم‌متراکم	مرتع	مجموع
C1m	۰/۳۱	۴۲/۲۴	۳۶/۳	۵۲/۷۳	۷/۶۵	۳/۳۳	۱۰۰
C2Q	۰/۳۰	۴۳/۳۷	۲۲/۴۵	۶۱/۲۷	۶/۷۶	۹/۵۳	۱۰۰
Js1	۰/۶۸	۳۷/۳۷	۱۳/۷۵	۴۱/۷۳	۱۲/۳۹	۳۲/۱۲	۱۰۰
Js2	۰/۵۶	۳۴/۳۸	۰	۲۹/۳۲	۴۹/۸	۲۰/۸۸	۱۰۰
Js3	۰/۳۶	۲۷/۸۴	۰	۴۵/۹	۰/۶۲	۵۳/۴۹	۱۰۰
Pd	۰/۵۳	۴۱/۷۱	۲۹/۴۳	۳۵	۱۰/۷	۱۱/۵۳	۱۰۰
Qt1	۰/۵	۳۵/۰۴	۲۶/۲	۳۱/۹۷	۱۰/۵۳	۳۱/۳	۱۰۰

بررسی جدول ۲ نشان می‌دهد که در سازندهای زمین‌شناسی که دارای جنگل‌های متراکم‌تری (سازند C1m و C2Q) هستند، مقدار فرسایش ورقه‌ای کمتر از دیگر سازندهاست. با اینکه در مورد سازند js3 - که تنها یک مقطع از ریشه در آن برداشت شده است - نمی‌توان اظهار نظر درستی درباره‌ی تأثیر پوشش گیاهی بر مقدار فرسایش کرد، اما در سایر سازندها هر چه مقدار تراکم پوشش جنگلی کاهش می‌یابد، بر مقدار فرسایش افزوده می‌شود.

همچنین بررسی داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهد که با وجود شیب توپوگرافی بیشتر سازندهای زمین‌شناسی دارای جنگل‌های متراکم (C1m و C2Q)، مقدار فرسایش‌شان کمتر است. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیر تراکم پوشش گیاهی در میزان فرسایش، بیشتر از تأثیر شیب است.

بررسی حاضر نشان می‌دهد که میزان متوسط فرسایش سالانه با افزایش تراکم پوشش گیاهی، کاهش می‌یابد به طوری‌که در جنگل‌های متراکم، نیمه‌متراکم و کم‌تراکم میزان فرسایش به ترتیب ۰/۵، ۰/۵۲ و ۰/۶۷ میلی‌متر در سال است.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه تکنیک‌های دندروژئومورفولوژیکی جایگاه خاصی در برآورد فرسایش ورقه‌ای یافته‌اند. تحلیل دندروژئومورفولوژیکی ریشه درختان، با استفاده از تغییرات مورفولوژیکی حلقه‌های رشد در ریشه‌ها بر اثر فرسایش و تعیین نخستین سال برونزدگی ریشه از خاک و محاسبه سال‌های رشد ریشه بعد از برونزدگی و همچنین محاسبه سطح فعلی خاک تا بخش بالایی ریشه، به محاسبه نرخ فرسایش ورقه‌ای می‌پردازد.

در تحقیق حاضر ۴۲ مقطع ریشه از گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در نقاط مختلف حوضه تهیه شد و اطلاعات مربوط به فاصله عمودی سطح خاک تا سطح فوقانی ریشه، شیب، ارتفاع از سطح دریا و دیگر اطلاعات لازم برداشت گردید. بر اساس اطلاعات مذکور، نرخ فرسایش سالانه از روش گارتنر (۲۰۰۷) محاسبه گردید.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که گونه‌های سوزنی‌برگ سرخدار و زرین دارای حلقه‌هایی با وضوح و قابلیت شمارش بهتری هستند و بنابراین کارایی بهتری هم در مقایسه با گونه‌های پهن‌برگ مانند بلوط و زبان‌گنجشک دارند. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که میانگین فرسایش سالانه از ۲۵۰ سال پیش تا زمان حال دارای روند افزایشی است. به نظر می‌رسد که افزایش میزان فرسایش از زمان‌های بررسی شده در این تحقیق (از ۲۵۰ سال پیش تا کنون) ناشی از کاهش پوشش گیاهی و افزایش فشار بر مراتع به دست انسان بوده است.

بررسی رابطه بین میزان فرسایش و شیب در تمامی مقاطع برداشت شده از حوضه نشان می‌دهد که، به علت تفاوت در لیتولوژی، جهت دامنه و نوع پوشش گیاهی در مقاطع برداشت شده، رابطه معنی‌داری بین شیب توپوگرافی و مقدار فرسایش وجود ندارد. به همین منظور در این تحقیق، رابطه بین شیب توپوگرافی و فرسایش ورقه‌ای در مقطعی که از نظر لیتولوژی، نوع درخت و جهت دامنه یکسان بودند، ارزیابی گردید. همان‌گونه که شکل ۷ نشان می‌دهد، رابطه شیب و فرسایش سالانه در مقاطع واقع در سازند شمشک میانی (js2) و در جهت شمال، رابطه معکوسی است. برای بررسی علت کاهش فرسایش با افزایش شیب توپوگرافی، وضعیت تراکم پوشش گیاهی در رده‌های شیب منطقه بررسی گردید. انطباق نقشه رده‌های شیب با نقشه پوشش گیاهی منطقه بیانگر آن است که در شیب‌های تندتر (بالای ۳۰ درصد) مساحت جنگل‌های متراکم افزایش می‌یابد. همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، شیب‌های بالای ۳۰ درصد در جنگل‌های متراکم، نیمه‌متراکم، کم‌تراکم و مراتع به ترتیب ۶۳/۷۳، ۶۰/۰۱، ۵۵/۴۵ و ۵۰/۹۸ درصد است. این موضوع نشان می‌دهد که شیب‌های تندتر دارای پوشش جنگلی متراکم‌تری است که این امر در کاهش فرسایش در شیب‌های تند مؤثر می‌نماید. همچنین به نظر می‌رسد که علت کاهش فرسایش با افزایش شیب (شکل ۷)، وجود جنگل‌های متراکم‌تر در شیب‌های تندتر است. به عبارت دیگر، وجود جنگل‌های متراکم، نقش مهم‌تری در کاهش فرسایش دارد و در واقع نقش شیب تند را جبران می‌کند.

جدول ۳. درصد مساحت شیب‌های بالای ۳۰ درصد در انواع پوشش گیاهی

نوع پوشش گیاهی	درصد شیب‌های بالای ۳۰ درصد
جنگل متراکم	۶۳/۷۳
جنگل نیمه‌متراکم	۶۰/۰۱
جنگل کم‌تراکم	۵۵/۴۵
مرتع	۵۰/۹۸

بررسی نرخ‌های فرسایشی در حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهد که مقدار متوسط فرسایش ورقه‌ای در سازندهای

مختلف زمین‌شناسی در حوضه قره‌چای نسبتاً متفاوت است. بررسی داده‌ها مشخص می‌کند که در سازندهای زمین‌شناسی دارای جنگل‌های متراکم‌تر (سازند C1m و C2Q)، مقدار فرسایش ورقه‌ای کمتر از دیگر سازندهاست. همچنین بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که با وجود شیب توپوگرافی بالای سازندهای زمین‌شناسی دارای جنگل‌های متراکم (C1m و C2Q)، مقدار فرسایش در آنها کمتر است. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیر تراکم پوشش گیاهی در میزان فرسایش، بیشتر از تأثیر شیب است. تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تراکم پوشش گیاهی نیز در میزان فرسایش ورقه‌ای مؤثر است، به طوری که در جنگل‌های متراکم، میزان فرسایش سالانه بیش از جنگل‌های نیمه‌متراکم و کم‌تراکم است. به طور کلی این تحقیق نشان می‌دهد که تحلیل دندروژئومورفولوژیکی ریشه درختان برای محاسبه فرسایش ورقه‌ای روشی قابل اعتماد است. با این حال بهتر است در استفاده از این روش، از نمونه‌های بیشتری در سازندها و کاربری‌های همسان استفاده شود و نتایج این روش با مقدار واقعی فرسایش ورقه‌ای مقایسه گردد.

منابع و ماخذ

- Alestalo, J., 1971, **Dendrochronological Interpretation of Geomorphic Processes**, Fennia 105, 1-140.
- Bodoque, J.M., Díez-Herrero, Martín-Duque, J.F., Rubiales, J.M., Godfrey, A., Pedraza, J., Carrasco, R.M., Sanz, M.A., 2005, **Sheet Erosion Rates Determined by Using Dendrogeomorphological Analysis of Exposed Tree roots: Two Examples from Central Spain**, Catena 64, 81-102.
- Carrara, P.E., Carroll, T.R., 1979, **The Determination of Erosion Rates from Exposed Tree Roots in the Piceance Basin**, Colorado, Earth Surface Processes 4, 307-317.
- Costa, J. E. 1978, **Colorado Big Thompson flood: Geologic Evidence of a Rare Hydrologic Event**, Geology 6, 617-20.
- Danzer, S.R., 1996, **Rates of Slope Erosion Determined from Exposed Roots of Ponderosa Pine at Rose Canyon Lake, Arizona**, In: Dean, J., Meko, D.M., ewtnam, T.W. (Eds.), Tree rings, Environment, and Humanity, Department of Geosciences, The University of Arizona, Tucson, pp. 671-678.
- Gärtner, H., 2003, **The Applicability of Roots in Dendrogeomorphology**, In: Schleser, G., Winiger, M., Bräuning, A., Gärtner, H., Helle, G., Jansma, E., Neuwirth, B., Treydte, K. (Eds.), TRACE-Tree Rings in Archaeology. Climatology and Ecology, vol. 1, pp. 120-124.
- Gärtner, H., 2007, **Tree Roots - Methodological Review and New Development in Dating and Quantifying Erosive Processes**, Geomorphology 86, 243-251.
- Gärtner, H., Schweingruber, F.H., Dikau, R., 2001, **Determination of Erosion Rates by Analyzing Structural Changes in the Growth Pattern of Exposed Roots**, Dendrochronologia 19, 81-91.
- Gärtner, H., Stoffel, M., Lièvre, I., Monbaron, M., 2003, **Tree Ring Analyses and Detailed Geomorphological Mapping on a Forested Debris Flow Cone in Switzerland**, In: Rickenmann, D., Chen, Ch. (Eds.), Debris Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, vol. 1. Millpress, Rotterdam, pp. 207-217.
- Gers, E., Florin, N., Gärtner, H., Glade, T., Dikau, R., Schweingruber, F.H., 2001, **Application of Shrubs for Dendrogeomorphological Analysis to Reconstruct Spatial and Temporal Landslide Movement Patterns - a Preliminary Study**, Zeitschrift für Geomorphologie. Supplementband 125, 163-175.
- Goudie, A.S., 2005, **Encyclopedia of Geomorphology**, Volume 1. Routledge Ltd., P.578.

- Hitz, O., Gärtner, H., Monbaron, M., 2006, **Reconstruction of Erosion Rates in Swiss Mountain Torrents**, In: Heinrich, I., Gärtner, H., Monbaron, M., Schleser, G. (Eds.), *TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology*, vol. 4., pp. 196–202.
- Iranian Geological Survey, 2004, 1/100000 Geologic map of Gorgan.
- Iranian National Geography Organization, 1993, 1/50000 Topographic Map, sheets 7063-1 and 7063-4.
- Ives, J. D., Mears, A. I., Carrara, P. E. and Bovis, M. J., 1976, **Natural Hazards in Mountain Colorado**, *Annals of the Association of American Geographers* 66, 129-44.
- Malik, I., 2008, **Dating of Small Gully Formation and Establishing Erosion Rates in Old Gullies under Forest by Means of Anatomical Changes in Exposed Tree Roots (Southern Poland)**, *Geomorphology* 93, 421–436.
- Marin, P., Filion, L., 1992, **Recent Dynamics of Subarctic Dunes as Determined by Tree-ring Analysis of White Spruce**, *Hudson Bay, Québec. Quaternary Research* 38, 316–330.
- Meyer, G.A., 2001, **Recent Large-magnitude Floods and Their Impact on Valley-floor Environments of Northeastern Yellowstone**, *Geomorphology* 40 (3–4), 271–290.
- Sahling, I., Schmidt, K.H., Gärtner, H., 2003, **Dendrogeomorphological Analysis of the Enlargement of Cracks at the Wellenkalk-scarp in the Southern Huringia Basin**, In: chleser, G., Winiger, M., Bräuning, A., Gärtner, H., Helle, G., Jansma, E., Neuwirth, B., Treydte, K. (Eds.), *TRACE — Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology*, vol. 1. Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, pp. 125–130.
- Shomal Consulting engineers, 2007, **Inventorial - technical Project of Ghorchai Catchment**, Volume 1. pp. 1-10-38-39-78.
- Shroder, J. F. Jr 1975, **Dendrogeomorphological Analysis of Mass Movement**, *Proceedings of the Association of American Geographers* 7, 222-226.
- Shroder, J. F. Jr, Giardino, J. R. and Butler, D. R., 1976, **Dendrochronologic Analysis of Rock Glaciers and Snow Avalanches (abstract)**, *American Quaternary Association Abstracts*, p.115.
- Shroder, J. F. Jr., 1980, **Dendrogeomorphology: Review and New Techniques of Tree-ring Dating**, *Progress in Physical Geography* 4, 161- 187.
- Strunk, H., 1989, **Dendrogeomorphology of Debris Flows**, *Dendrochronologia* 7, 15–25.
- Vandekerckhove, L., Muys, B., Poesen, J., De Weerd, B., Coppe, N., 2001, **A Method for Dendrochronological Assessment of Mediumterm Gully Erosion Rates**, *Catena* 45, 123-161.
- Yamaguchi, D.K., Atwater, B.F., Bunker, D.E., Benson, B.E., Reid, M.S., 1997, **Tree-ring Dating the 1700 Cascadia Earthquake**, *Nature* 389, 922–923.
- Zoltai, S. C. and Tarnocai, C., 1971, **Properties of a Wooded Palsa in Northern Manitoba**, *Arctic and Alpine Research* 3, 115-29.
- Zoltai, S. C., 1975, **Tree Ring Record of Soil Movements on Permafrost**, *Arctic and Alpine Research* 7, 331-40.

Estimating the rate of sheet erosion by dendrogeomorphological analysis of tree roots in Gharechai (Ramian) Catchment

Shahram Bahrami*

Ph.D in Geomorphology, Assistant Prof., Dep., of Physical Geography, Sabzevar Tarbiat Moalem University

Fatemeh Mahboobi

M.S of Geomorphology, Sabzevar Tarbiat Moalem University

Javad Sadidi

Lecturer in Remote Sensing, Dep. of Physical Geography, Sabzevar Tarbiat Moalem University

Mariam Jafari Aghdam

M.S. of Geomorphology, University of Tehran

Received:

Accepted: 1/2/2011

Extended Abstract

Introduction

Dendrogeomorphology, which was first introduced by Alestalo (1971), is a subdiscipline of dendrochronology that, based on the analysis of annual tree rings and their growth morphology, addresses the spatial and temporal aspects of earth surface processes in Holocene period.

The applications of dendrogeomorphology is dating and determining changes of various geomorphic processes such as floods, glaciers, storms, river channel migrations, mass wastings, earthquakes, volcanism and soil erosions, etc. Dendrogeomorphological research has mainly concentrated on tree trunks. Only to a lesser extent, roots have been studied for evaluation of sheet erosion rate and gully erosion. Estimating the rates of erosion based on the exposure of roots is based upon the changes in the wood anatomical pattern which occurs as soon as a root is exposed.

Materials and Methods

The study area is located in southern part of Gharachay catchment in Ramian County (Golestan province, Iran), between $36^{\circ}48'$ to $36^{\circ}57'$ N latitude and $55^{\circ}6'$ to $55^{\circ}17'$ W longitude. Gharachay catchment drains an area of 143 km^2 . The altitudinal extend of the area ranges from 560 m in the northwest to 2650 m in the southwest. Geologically the studied area is a part of the Gorgan-Rasht zone in the Alborz mountains. The geological formation of this area includes Khosh Yeylagh (Kh), Lower part of Khosh Yeylagh (LKh), Mobarak formation (Cm1), Ghezel Ghaleh formation (Gh), Doroud formation (D), Lower Shemshak (Js1), Middle Shemshak (Js2), Upper Shemshak (Js3), and Old Alluvial Fans (Qt1).

The aim of this research is a dendrogeomorphological analysis of tree roots for estimating the rate of sheet erosion in Gharechai (Ramian) Catchment. At first, DEM, slope and aspect map of the study area have been generated based on the topographic map at a scale of 1:50000 from Iranian National Geography Organization toposheets. Lithological formations were derived from the Geologic map of the studied area at a scale of 1:100000 by means of GIS (Integrated Land and Water Information System (ILWIS)).

* E-Mail: bahrami.gh@gmail.com

Before sampling of tree roots, the location of the exposed roots recognized by field observations and a detailed geomorphic mapping of the mentioned area.

Before cutting each section, a detailed delineation of the spatial and morphological characteristics of the surroundings of the root-such as tree type, geographical location (UTM coordinates), altitude, aspect; slope of the specific root-was made.

A total of 42 samples of tree roots from conifers and broadleaf species that were nearly and uniformly distributed in the catchment (Fig.5) were obtained. Following detection of exposed roots, 38 sections of conifers (33 sections from yew, 1 section from cypress, 3 sections from juniper, and 1 section from pine) and 4 sections of broadleaves (2 sections from ash and 2 sections from oak) were provided during August 2008.

During the cutting of tree root samples, sun-exposed part of outcropped root, contact of root and soil surface, the vertical distance between the upper part of the root and the present soil surface were measured for every section.

Results and Discussion

In this study, the height of eroded soil layer since the time of exposure (E_r) has been calculated by Gartner method (2007, P. 248). Several parameters have been calculated for reconstruction of E_r . At first, the exposed part (height) of the root (E_x) for samples were recorded. Reconstructing the first year of root exposure was carried out by analyzing the changes in the ring-growth pattern (from concentric to eccentric) and thereby the size of the root (excluding bark) at the time of exposure (R_2) was determined. Then, the size -or height- of whole root (including bark) in cross section (R_1), thickness of the upper (B_1) and lower (B_2) part of the bark were measured.

Based upon the Gartner method (2007), E_r has been calculated as follows:

$$E_r = R_2 + (B_1 + B_2) / 2 - R_1 + E_x \quad (1)$$

The value of E_r were divided by the number of rings growing since the year of exposure (NR_{ex}) to calculate the annual erosion rate ($E_{r,a}$):

$$E_{r,a} = \frac{E_r}{NR_{ex}} \quad (2)$$

Whereas conifers show more observable growth rings in comparison with broadleaves, most of the root cross sections of this study have been derived from conifers such as yew that have distinguishable growth rings. The mean sheet erosion of study area, based on sections of exposed tree roots, has been estimated 0.541 mm/y. erosion rates in sections with 200-250, 150-200, 100-150, 50-100 and less than 50 years old are 0.25, 0.30, 0.40, 0.48 and 0.86 mm/y respectively.

Conclusion

This represents that the rate of erosion has been increased since the past 250 years. Analyzing the erosion rate in vegetation types reveals that the mean erosion rate is lower in denser forests than sparse forests. Evaluation of erosion rate in geological formation reveals that the mean erosion rate in soils over geological formations that have less dense forests, such as Lower Shemshak (Js1) and Middle Shemshak (Js2), is higher. This study also shows that conifers like Yew and Cypress that have more obvious and countable rings, have more capabilities in estimating erosion than broadleaf species like oak and ash.

Keywords: *Dendrogeomorphology, Sheet erosion, Tree root, Gharechai, Ramian.*