دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست‌ودوم، شماره‌ی ۷۸
تابستان ۱۴۰۱، صفحات ۹۳-۷۳

DOI:10.52547/GeoSpa.22.2.73

*شهرام بهرامی[۱]
کاظم پارسیانی[۲]

قابلیت پاجوش های ریشه درختی در برآورد فرسایش گالی با استفاده از تحلیل دندروژئومورفولوژیک در حوضه نیلکوه (گالیکش)، استان گلستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰٤/۰٤

چکیده

درک صحیح فرآیندهای ژئومورفولوژیک نقش مهمی در مدیریت فرسایش خاک ایفا می‌کند. فرسایش خاک ناشی از توسعه گالی‌ها یکی از مشکلات جدی محیطی است که موجب بر هم خوردن تعادل سیستم‌های طبیعی از طریق هدر رفت آب و خاک می‌شود. دندروژئومورفولوژی یکی از تکنیک‌های جدید در تعیین فرسایش مبتنی بر درک مورفولوژی و ساختار ریشه و ساقه درختان است و جانشین مناسبی برای روش‌های سنتی موجود است. این روش در مورد آن بخش از ریشه‌ها به‌کار می‌رود که توسط فرآیند فرسایش، عریان شده و قابل تعیین سن هستند. بعد از ظاهر شدن ریشه درختان ناشی از فرسایش گالی، پاجوش‌ها شکل می‌گیرند. در این پژوهش، برآورد نرخ فرسایش گالی در حوضه نیلکوه (گالیکش) بر اساس تحلیل دندروژئومورفولوژیک حلقه‌های رشد سالانه پاجوش شکل گرفته بر روی ریشه درختان انجام شده است. بدین منظور تعداد ۲۳ نمونه از ریشه درختان انجیلی و خرمالوی وحشی (خُرمندی) را که پس از فرسایش، منجر به شکل‌گیری پاجوش شده، مورد تعیین سن قرار گرفتند. حداقل و حداکثر سن نمونه‌ها ۳ و ۱۸ سال می‌باشد. در این بررسی ریشه‌هایی که سن آن‌ها بازه زمانی سال‌های ۱۳۷٤ تا ۱۳۹۵ را در بر می‌گیرند، در طی دوره‌ای ۳ ساله ۹۵-۱۳۹۲ نمونه‌برداری شدند. در هنگام برداشت نمونه‌ها، اطلاعات مورد نیاز شامل ابعاد گالی و مختصات جغرافیایی نقاط برداشتی نیز ثبت شده است. سپس نمونه‌ها در شرایط طبیعی خشک

*۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. (نویسنده مسوول). E-mail: sh_Bahrami@sbu.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری ژئوموفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

گردیده و برای وضوح بیش‌تر حلقه با سمباده برقی صیقل داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در ارتفاعات بالا به دلیل شیب توپوگرافی زیاد، فرسایش بستر گالی افزایش می‌یابد در حالی که در ارتفاعات پایین دست شیب زمین کاهش می‌یابد و در نتیجه فرسایش کناری گالی افزایش می‌یابد. بر اساس نتیجه به‌دست آمده، میانگین حجم فرسایش سالیانه گالی‌ها برابر ۰/۰۴۳ متر مکعب و میانگین نرخ پسروی کناری و بستر گالی به‌ترتیب ۰/۱۵۳ و ۰/۰۳۶ متر حاصل شده است.

کلید واژه‌ها: پاجوش، دندروژئومورفولوژی، فرسایش گالی، گالیکش، نیلکوه.

مقدمه

به‌طور کلی فرسایش خاک از یک سو، تحت تاثیر عوامل طبیعی (باد، آب، دما) و از سوی دیگر ناشی از فعالیت موجودات زنده (انسان، حیوان، موجودات ریز خاکزی) است. فرسایش گالی یا خندقی یکی از مهم‌ترین انواع فرسایش آبی است که ارزیابی آن در زمینه‌هایی مانند تخریب اراضی کشاورزی، نابودی مراتع، پر شدن مخازن سدها، تخریب خطوط ارتباطی و کانال‌های آبیاری و آسیب به سکونتگاه‌های انسانی دارای اهمیت زیادی است (Besharati et al., 2021). سازندهای حساس به فرسایش، ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین، جهت دامنه گالی، نظام بارشی، فعالیت‌های انسانی و چرای دام، از متغیرهای موثر بر فرسایش گالی هستند.

دندروکرونولوژی که عبارت است از زمان‌سنجی حلقه‌های درختی در علوم محیطی، بر این حقیقت استوار است که رشد درختان (متغیر وابسته) حلقه‌های مشخص سالانه را شکل می‌دهد و عکس العمل درختان نسبت به عوامل محیطی همچون نور، دما، آب، شیب، لیتولوژی و عوامل غیر محیطی همچون نوع درخت و سن آن (متغیر مستقل) متفاوت خواهد بود است (Stoffel and Bollschweiler, 2009: 1031). تشخیص آن بخش از تغییرات یا بی‌نظمی‌های موجود در ریشه و ساقه درختان که ناشی از تغییرات محیطی است مربوط به علم ژئومورفولوژی می‌باشد که تحت عنوان دندروژئومورفولوژی مطالعه می‌شود؛ بنابراین برقراری ارتباط بین این متغیرها یکی از چالش‌های پیش روی است که دقت نتایج حاصله به عوامل گوناگونی از جمله تکنیک به‌کار رفته، دقت پژوهش‌گر و نمونه برداشت شده بستگی خواهد داشت (Vandekerckhove et al., 2001: 157).

تحلیل دندروژئومورفولوژیک طی دهه‌های اخیر به‌طور گسترده جهت بازسازی عملکرد فرآیندها و مخاطرات ژئومورفیک مورد استفاده قرار گرفته است. در این بین فرآیند تغییرات درونی گالی‌ها به دلیل هدر رفت آب و خاک از اهمیت خاصی برخوردار است که در قسمت انتهایی اکثر مناطق کوهستانی، به‌ویژه در مناطق اقلیمی خشک و نیمه‌خشک (Abedini, 2013: 41) رخ می‌دهد. بررسی گالی‌ها به‌عنوان محیط‌های فرسایشی، می‌توانند پیشینیه‌ای از تاریخ تحولات و دینامیک حوضه را در اختیار محققان و برنامه‌ریزان قرار دهند؛ بنابراین مطالعه این اشکال،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

صرف‌نظر از جنبه بنیادین، از لحاظ مدیریتی برای کاهش خطر رخدادهای طبیعی به‌ویژه فرسایش خاک و حفاظت آب، جنبه کاربردی فوق‌العاده‌ای دارد.

مطالعات اولیه در این زمینه از ابتدای دهه ۱۹۶۰ میلادی و در جنوب‌غرب آمریکا شروع و سپس در سال ۱۹۷۱ تحت عنوان دندروژئومورفولوژی (Ballesteros-Cánovas et al., 2013: 113) معرفی شد. سال‌ها بعد چارچوب تحقیقات مربوط به آن مبتنی بر مفهوم «فرآیند-واقعه-پاسخ» معرفی گردید (Shroder, 1980: 161). دندروژئومورفولوژی از شاخه‌های زیرمجموعه گاه‌شناسی درختی است (Gartner, 2007: 246) که به مطالعه حلقه‌های رشد سالانه در ساقه و ریشه درختان و مورفولوژی آن‌ها در بعد فضا و زمان در دوره هولوسن می‌پردازد (Perret et al., 2006: 219; Goudie, 2005: 10). مطالعات گاه‌شناسی درختی در اروپا از سال ۱۹۳۷ توسط گیاه‌شناس آلمانی بنام Bruno Huber (۱۹۶۹- ۱۸۹۹) شروع شد (Balapour & Tofiq Sadeq, 2014: 81). از آن زمان تاکنون پژوهشگران زیادی از این تکنیک در مطالعات محیطی همچون خزش، هیدرولوژی، حرکات دامنه‌ای، یخچال شناسی، آتشفشان شناسی (Shroder, 1980:Winchester et al., 2007; Gartner, 2003, 2007; Goudie, 2005; Cook, 1987; Corona et al., 2011; Vandekerckhove et al., 2001; Roer et al., 2006; Malik, 2008; Copini et al., 2006; Kaczka and Morine et al., 2006; Genova et al., 2018) استفاده کرده‌اند.

مطالعه بر روی ریشه‌های درختی طی دهه اخیر در اروپا گسترش چشمگیری داشته است. در این زمینه می‌توان به کارهای مربوط به فرسایش ورقه‌ای با استفاده از ریشه‌های رخنمون یافته در اسپانیا (Bodoqe et al., 2011: 417) و هلند (Malik, 2006: 57) اشاره کرد. بر اساس تحقیقی که در گالی‌های لسی جنوب لهستان انجام شده است، میانگین نرخ فرسایش در گالی‌های کوچک ۰/۶۳ متر در سال برآورد شده است. بر همین اساس نرخ فرسایش سالیانه در دیواره گالی ۰/۲۱ تا ۰/۵۲ و در بستر گالی ۰/۱۸ تا ۱/۹۸ متر در سال برآورد شده است (Malik, 2008: 421). در تحقیقی دیگر که در شبه جزیره ایبری انجام شده است، میانگین نرخ فرسایش ورقه‌ای در حد فاصل بین گالی‌ها بین ۶/۲ و ۸/۸ میلی‌متر در سال (۱۲۵/۲ و ۱۷۷/۸ هکتار در سال) برآورد شده است (Bodoqe et al., 2011: 417). در تحقیقی دیگر که بر روی ۴۲ نمونه از ریشه‌های درختی صورت پذیرفته است، مقدار فرسایش در گالی مورد بررسی قرار گرفته است که در آن اشکال مربوط به گالی از جمله دیواره V شکل، دیواره عمودی یا U شکل، چاله‌ها و زمین‌لغزش‌های درون گالی مورد بررسی قرار گرفته است (Wronska-walach, 2009: 97).

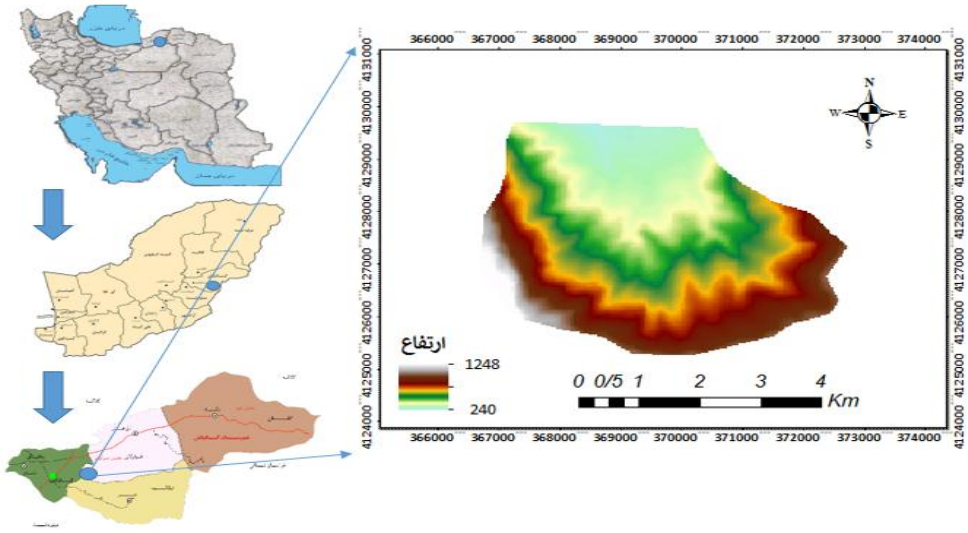
علیرغم پیشرفت‌های قابل توجه جهانی، پژوهش در این زمینه در ایران بسیار محدود بوده (Bahrami et al., 2011; Hosseinzadeh & Jahadi Toroghi, 2012; Zarean et al., 2016) و در منطقه مورد مطالعه نیز تاکنون تحقیقی با این تکنیک انجام نشده است. با توجه به این کاستی‌ها، هدف از این مطالعه تعیین میزان کارایی پاجوش درختان در برآورد حجم و نرخ فرسایش کناری و بستر گالی‌های بزرگ و کوچک و بسط نظری و عملی این روش در ابعاد فضایی و زمانی در شرایط جغرافیایی ایران می‌باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۹/۷۵ کیلومتر مربع در ضلع جنوبی جاده ارتباطی شمال-مشهد، تحت نام حوضه نیلکوه (بخشی از پارک ملی گلستان)، در محدوده شهرستان گالیکش (استان گلستان) در طول جغرافیایی ۹۶ ۲۶ ۴۱ تا ۳۶ ۲۷ ۴۱ شرقی و عرض جغرافیایی ۵۶ ۷۲ ۳۶ تا ۷۱ ۹۹ ۳۶ شمالی واقع گردیده است و از طرف شمال، شرق و غرب نیز توسط کوه‌های البرز شرقی محصور شده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Geographical location of study area

در این حوضه روستاهای پاسنگ بالا، پاسنگ پایین، سرخن‌آباد و پَتَکی واقع شده‌اند که در مجموع ۲۲۹۶ نفر در آن ساکن هستند که فعالیت اغلب ساکنان آن کشاورزی است. حوضه آبریز نیلکوه دارای حداقل و حداکثر ارتفاع ۲۴۰ و ۱۲۴۸ متر می‌باشد. ارتفاع متوسط وزنی آن برابر ۵۸۴/۵ متر از سطح دریا بوده که میزان متوسط بارندگی سالانه آن برابر ۶۹۲/۴۲ میلی‌متر می‌باشد که در آن اسفند با ۶۸/۵ میلی‌متر بارندگی بیش‌ترین و خرداد برابر با ۱۶/۹ میلی‌متر بارندگی کم‌ترین میزان بارندگی ماهانه را داراست، در این حوضه زمستان با ۱۶۸/۱۸ میلی‌متر بیش‌ترین و تابستان با ۹۹/۶ میلی‌متر کم‌ترین میزان بارندگی فصلی را داراست. طبق محاسبات انجام گرفته میانگین حداقل درجه حرارت سالانه برابر ۸/۶۱، میانگین حداکثر درجه حرارت سالانه برابر ۲۲/۰۷ و میانگین ماهانه برابر ۱۶/۷۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این منطقه بهمن سردترین و مرداد گرم‌ترین ماه سال می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی ساختمانی، منطقه مورد مطالعه جزئی از زون البرز شرقی و کپه داغ به حساب می‌آید (Darvishzadeh & Muhammadi, 2007: 71) که خصوصیات چینه‌شناسی و تکتونیکی آن عبارتند از سازند لار (JL) که از سنگ آهک، آهک‌های دولومیتی و دولومیت قهوه‌ای روشن شکل گرفته است. این سازند در جنوب حوضه واقع شده و ۱۷۶ هکتار مساحت داشته و ۸/۹۱ درصد حوضه را تشکیل می‌دهد. سازند خوش ییلاق (Dkh)، از سنگ آهک رسی فسیل دار زرد رنگ شکل گرفته است. این سازند ۱۰۷۶ هکتار مساحت داشته و ۵۴/۴۸ درصد مساحت حوضه را در بر می‌گیرد. سنگ آهک

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

دولومیتی (JMZ) که با مساحت ۵۴۲ هکتار غرب حوضه را در بر گرفته است، ۲۷/۴۴ درصد از مساحت حوضه را می‌پوشاند. پرتگاه دیواره گسلی در سطح این سازند و سازند خوش ییلاق به‌راحتی قابل رویت می‌باشد. رسوبات لسی سست و منفصل آبرفتی و پادگانه‌های جوان کواترنر (Qm) از فرسایش ارتفاعات بالادست حوضه شکل گرفته و نقاط پست و کم ارتفاع شمال حوضه را در بر گرفته است. مساحت این بخش از حوضه ۱۸۱ هکتار (۹/۱۶ درصد کل حوضه) می‌باشد. گونه‌های درختی مهم حوضه آبخیز نیلکوه عبارتند از: ممرز، بلوط، توسکا، افرا، انجیلی، ملچ، خرمالو وحشی (خُرمندی) و زبان گنجشک. شکل‌گیری پاجوش بر روی ریشه درختان انجیلی و خرمالوی وحشی نسبت به سایر درختان از مزیت‌های آن‌هاست که این مطالعه بر روی آن‌ها انجام شده است. مهم‌ترین کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه به‌صورت جنگل است و در پایین دست آن زمین‌های کشاورزی دیم و آبی است. علی‌رغم وسعت کم حوضه و به دلیل بارش سالیانه نسبتا خوب، وجود درزه و گسل در ارتفاعات پیرامونی ناحیه و نفوذپذیری مناسب خاک، چشمه‌های متعددی در سطح حوضه وجود دارد که در طول سال، آب مورد نیاز کشاورزان، دامداران و ساکنان را فراهم می‌نماید. به‌منظور تعیین نرخ فرسایش گالی بر اساس تحلیل حلقه‌های درختی در حوضه مورد مطالعه، ابتدا محدوده حوضه آبخیز از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ در محیط Arc GIS9.3 رقومی گردیده و بر اساس آن نقشه‌های شیب و جهت و ارتفاع منطقه تهیه گردید. علاوه بر نقشه‌های فوق، نقشه مربوط به خاک، زمین‌شناسی و واحدهای مورفولوژیک منطقه نیز تهیه و رقومی گردیده است. بعد از شناسایی ریشه‌های عریان، مجموعا ۲۳ مقطع از پاجوش‌های مناسب درختان پهن برگ (۶ مورد خرمالوی وحشی[3] و ۱۷ مورد انجیلی[4]) تهیه شد. در هنگام برداشت نمونه‌ها، اطلاعاتی مانند مختصات نقطه برداشتی (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع محل از سطح دریا) به کمک دستگاه GPS، ابعاد گالی در محل نمونه و فاصله هر یک از پاجوش‌ها از بستر، کرانه نزدیک، کرانه دور و راس گالی ثبت شد (شکل ۲).



شکل ۲: تصاویر پاجوش‌های ریشه درخت خرمالوی وحشی (خُرمندی) که در اثر فرسایش بر روی دیواره گالی شکل گرفته‌اند (پیکان‌های زرد رنگ)

Figure 2: Photos of root suckers of wild persimmons that formed on the gully wall due to the erosion (yellow arrows)

3- Wild persimmons
4- Evangelical

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

بعد از برداشت، مقاطع به مدت حداقل یک تا دو ماه در شرایط طبیعی و هوای آزاد قرار گرفته تا خشک شوند و سپس به‌منظور وضوح بهتر حلقه‌ها، با دستگاه سمباده برقی مقاطعِ تهیه شده صیقل داده شدند و شمارش حلقه‌ها با چشم غیر مسلح و گاهی به کمک ذره‌بین دستی انجام شد (شکل ۳).



شکل ۳: تهیه مقطع نمونه‌ها و صیقل دادن با سمباده برقی

Table 3: Preparation of samples and polishing by electric sandpaper

این تکنیک بر اساس قابلیت تولید مجدد ساقه‌هایی است که بر روی ریشه‌های عریان شکل گرفته و بر خلاف نیروی گرانش زمین، به سمت نور گرایش می‌یابند (شکل ٤). این ساقه‌های جدید (پاجوش)، پیامد فوری فرسایش بوده و نشان می‌دهد که نمونه قابل تعیین سن (Δt_m) با دوره زمانی فرسایش واقعی (Δt_e) برابر است (Vandekerckhove et al., 2001: 125) که در معادله ۱ ارائه شده است.

$$\Delta t_e = \Delta t_m \text{ (datable object)} \quad \text{معادله (۱)}$$

بر اساس معادله (۲) حجم سالانه فرسایش گالی محاسبه می‌شود که برآورد حجم فرسایش واقعی (V_e) نسبت به حجم فرسایش اندازه‌گیری شده (V_m) احتمالا بیش‌تر یا برابر آن است. این احتمال مربوط به زمانی است که

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

فرسایش در قسمتی از کناره یا بستر گالی در جریان بوده ولی ریشه هنوز در قسمت دیگر گالی مدفون است و با تاخیر چند ساله عریان می‌شود، بنابراین برآورد نرخ فرسایش اندازه‌گیری شده بیش تر از مقدار واقعی خواهد بود. این موضوع را می‌توان بر اساس تفاوت‌هایی که در دیواره‌ها و بستر یک گالی از نظر اندازه، مقدار شیب و نوع خاک وجود دارد تشخیص داد. در برخی از گالی‌های بزرگ، گاهی فرسایش در قسمتی از دامنه‌ها که از نظر ارتفاعی در نقطه‌ای بالاتر از یقه[۵] پاجوش قرار دارد، موجب ته‌نشینی خاک در بستر همان گالی شده و این موضوع نشان می‌دهد که نه تنها در اثر گذشت زمان بستر گالی افتادگی پیدا نکرده بلکه با تجمع رسوب به سمت بالا نیز حرکت می‌نماید یا ثابت می‌ماند که این موضوع در نتیجه محاسبات صورت گرفته اثر منفی خواهد گذاشت؛ بنابراین برای تشخیص چنین وضعیتی، چنانچه خاک بستر گالی سست و منفصل بوده و در چند سانتی‌متری زیر آن آثاری از برگ و خاشاک گیاهان وجود داشته باشد، باید عمل اندازه‌گیری بستر گالی را از سطح نسبتا سخت زیرخاشاک محاسبه نمود؛ بنابراین هر چه ابعاد گالی بزرگ‌تر باشد، با چالش کم دقتی در برآورد حجم فرسایش مواجه خواهیم شد، بنابراین و با توجه به تجربه به‌دست آمده، در به‌کارگیری این روش باید احتیاط لازم را نمود. در این صورت برای اندازه‌گیری دقیق‌تر حجم فرسایش یافته گالی بهتر است مساحت سطح زیرین ریشه در دیواره نزدیک به پاجوش را محاسبه نموده و این مقدار را در واحد ۰/۱ متر طول طرفین ریشه ضرب کرده و نتیجه حاصله را به کل گالی تعمیم داد. این روش در محاسبه حجم فرسایش در گالی‌های کوچک و جوان که از همگنی لازم برخوردار است از دقت لازم برخوردار است و می‌توان با اطمینان از روش فوق استفاده کرد.

معادله (۲)
$$V_e \geq V_m = \left(\frac{\Delta V_{m\,(ortho)}}{\Delta t_{m\,(root\ sucker)}}\right)$$

برای طبقه‌بندی گالی‌ها از نظر ابعاد طبق معیار سازمان کشاورزی و خواروبار جهانی (F.A.O) عمل می‌شود که در آن گالی‌ها از نظر عمق به سه گروه تقسیم می‌شوند که عبارتست از: گالی کوچک با عمق کم‌تر از ۱ متر، گالی متوسط با عمق ۱ تا ۵ متر و گالی بزرگ با عمق بیش از ۵ متر (تارنمای فائو، اردیبهشت ۱۳۹۵).

برای محاسبه حجم فرسایش در درون گالی، (Vandekerckhove et al., 2001) روشی را ارائه نموده‌اند که در آن از محل ریشه عریان، خطی عمود بر راس گالی بر دیواره‌ها و بستر گالی رسم می‌شود و حجم بین این خطوط و بالادست و بستر گالی ($\Delta V_{m\,(ortho)}$) که نمایانگر لحظه رویت ریشه در اثر فرسایش است برآورد می‌گردد. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد این روش در محاسبه حجم فرسایش در گالی‌های بزرگ از دقت لازم برخوردار نیست و در استفاده از آن باید تمامی جوانب را در نظر گرفت (شکل ٤).

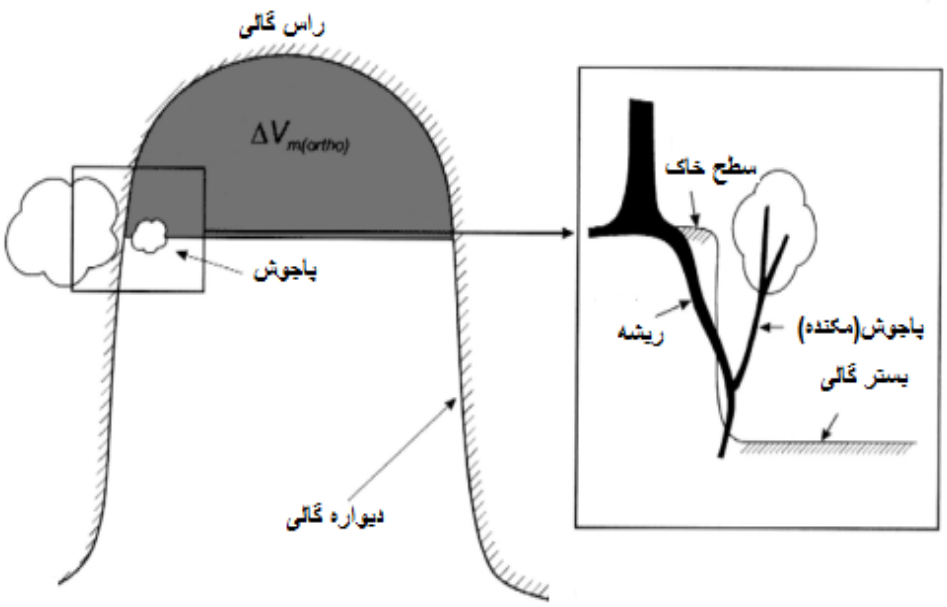
برای تعیین نرخ فرسایش کناری و بستر گالی باید بر اساس پیش‌فرض موجود در معادله ۳ عمل نمود که نشان می‌دهد نمونه قابل تعیین سن، نتیجه بلافصل فرسایش است. بر این اساس دوره زمانی فرسایش واقعی (Δt_e) کناری و بستر گالی با دوره زمانی نمونه قابل تعیین سن (Δt_m datable object) برابری می‌نماید (Vandekerckhove et al.,

۵- محل اتصال تنه یا ساقه به ریشه را یقه گویند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

2001). بنابراین تعیین میانگین سالیانه نرخ فرسایش بستر و کناره نزدیک پاجوش نسبت به حجم فرسایش گالی از دقت بالایی برخوردار خواهد بود.

معادله (۳) $\Delta t_e = \Delta t_m$ datable object)



شکل ٤: طرح نمادین پاجوش و حجم ($\Delta V_{m\ (ortho)}$) بین راس گالی و نمونه (Vandekerckhove et al., 2001: 145)

Figure 4: Schematic representation of the sucker and volume ($\Delta V_{m\ (ortho)}$) between the gully head and sample (Vandekerckhove et al., 2001: 145)

یافته‌ها و بحث

یکی از نتایج فرسایش در ریشه درختان، شکل‌گیری حلقه‌های مختلف المرکز یا بیضوی شکل است که پیرامون حلقه‌های دایره‌ای اولیه ایجاد می‌شوند که علت آن تنش وارده به درخت است. در اثر عریان شدن ریشه در برخی درختان مستعد (انجیلی و خرمالو) و قرار گرفتن آن در معرض تابش نور خورشید و ایجاد تغییرات هورمونی، بلافاصله پاجوش شکل گرفته و به سمت نور رشد و نمو پیدا می‌کند. تکنیک حلقه درختی در این پژوهش، بر اصل شمارش حلقه‌های سالانه درختان در محل یقه استوار است که درونی‌ترین حلقه، سال شروع فرسایش و بیرونی‌ترین حلقه نیز مصادف با زمان نمونه‌برداری یا آخرین سال فرسایش را نشان می‌دهد؛ بنابراین شمارش مجموع حلقه‌های رشد در محاسبه نرخ فرسایش سالیانه دارای اهمیت است. جدول (۱) موقعیت نمونه‌های برداشت شده از ریشه‌ها و مشخصات عمومی محل نمونه‌ها، شامل مختصات جغرافیایی، نوع سازند، مقدار و جهت شیب دامنه و ارتفاع از سطح دریا را نشان می‌دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

جدول ۱- مختصات جغرافیایی، نوع درخت، ارتفاع، نوع سازند زمین‌شناسی، جهت و زاویه شیب (درصد) نمونه‌های برداشت شده

Table 1- Geographic coordinates, tree type, elevation, type of geological formation, slope aspect and gradient (percent) of collected samples

ردیف	نوع درخت	مختصات u.t.m	ارتفاع	نوع سازند	جهت شیب	درصد شیب
۱	انجیلی	۰۳۶۹۱۲۲ ٤۱۲۷۰۰۷	٤۲۰	Dkh	شمال‌شرق	۱۵
۲	انجیلی	۰۳۶۹۲٤۸ ٤۱۲۷۳۱	٤۲۵	Dkh	شمال‌شرق	۱۵
۳	انجیلی	۰۳۶۱۰۲۷ ٤۱۲۵۶۱۸	٤۳۸	Dkh	شمال‌شرق	۲۳
٤	انجیلی	۰۳۶۱۰۱۲ ٤۱۲۵۶۱۲	٤۵۵	Dkh	شمال‌شرق	۲٤
۵	انجیلی	۰۳۶۱۰۰۳ ٤۱۲۵۶۰۵	٤۶۵	Dkh	شمال‌شرق	۲۱
۶	انجیلی	۰۳۶۹٤۰٤ ٤۱۲۷۰۸۵	۵۱۰	Jmz	شمال	۳۵
۷	انجیلی	۰۳۶۰۹۹۱ ٤۱۲۵۶۳۸	۵٤۰	Jmz	شمال‌شرق	۳٤
۸	انجیلی	۰۳۶۰۹۹۰ ٤۱۲۵۶۳٤	۵۶۰	Jmz	شمال	۳۶
۹	انجیلی	۰۳۶۰۸۸۹ ٤۱۲۵۶۳۵	۳۸۵	Dkh	شمال‌غرب	۱۲
۱۰	انجیلی	۰۳۶۸۶۱۸ ٤۱۲۷۷۲۷	٤۰۵	Dkh	شمال	۱۷
۱۱	خرمالو	۰۳۶۱۰۰٤ ٤۱۲۵۶۰۷	٤٤۵	Dkh	شمال	۱۸
۱۲	خرمالو	۰۳۶۱۰۰۷ ٤۱۲۵۶۰۹	٤۵۵	Dkh	شمال‌شرق	۲۲
۱۳	انجیلی	۰۳۶۸۸۳۶ ٤۱۲۸۱۳۲	٤۵۸	Dkh	شمال	۱۹
۱٤	انجیلی	۰۳۶۸۷۶۱ ٤۱۲۷۶۱۵	٤۳۰	Dkh	شمال	۲۳
۱۵	انجیلی	۰۳۶۹۵۳۸ ٤۱۲۷۰٤۳	۳۷۸	Dkh	شمال	۱۱
۱۶	انجیلی	۰۳۶۹۶۲۵ ٤۱۲۷۶۱۳	٤۳۵	Dkh	شمال	۲۵
۱۷	انجیلی	۰۳۶۹۶۲۵ ٤۱۲۷۶۱۵	٤۳۰	Dkh	شمال‌غرب	۲۳

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

ادامه جدول ۱- مختصات جغرافیایی، نوع درخت، ارتفاع، نوع سازند زمین‌شناسی، جهت و زاویه شیب (درصد) نمونه‌های برداشت شده

Continue of table 1- Geographic coordinates, tree type, elevation, type of geological formation, slope aspect and gradient (percent) of collected samples

ردیف	نوع درخت	مختصات u.t.m	ارتفاع	نوع سازند	جهت شیب	درصد شیب
۱۸	خرمالو	۰۳٦۸٦٤۰ ٤۱۲۷۳۹۷	٤٤٥	Dkh	شمال غرب	۲٦
۱۹	خرمالو	۰۳٦۹٤۳۷ ٤۱۲۷۰٦٤	٤٤٥	Dkh	شمال غرب	۲٤
۲۰	خرمالو	۰۳٦۹۳۹٤ ٤۱۲۷۱۸۱	٤۳٥	Dkh	شمال	۱۸
۲۱	خرمالو	۰۳٦۹۳٦۸ ٤۱۲۷۲۳٤	٤۱۰	Jmz	شمال	۱۱
۲۲	انجیلی	۰۳۷۰۱٥٤ ٤۱۳٥۲۱٤	٤۲٥	Jmz	جنوب شرق	۲۲
۲۳	انجیلی	۰۳٦۱٥٤۸ ٤۱۲۸٤۷	۳٥٥	Dkh	شمال غرب	۱٥

بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شیب حوضه به ترتیب ۳٦ و ۱۱ درصد می‌باشد. دامنه ارتفاعی نقاط برداشت شده بین ٥٦۰-۳٥٥ متر از سطح دریا قرار دارند. بر اساس بررسی‌های به‌عمل آمده بر روی نمونه‌ها، بعد از ثبت مشخصات عمومی، موقعیت هر یک از نمونه‌های برداشتی نسبت به کرانه نزدیک، کرانه دور، راس و بستر گالی محاسبه شده و بر اساس آن مقدار حجم و نرخ فرسایش بستر و کناری در هر یک از نمونه‌ها به‌دست آمده است. بر این اساس، نتایج بررسی نمونه‌های تعیین سن شده مندرج در جدول (۱)، جهت بررسی و مقایسه، در جداول (۲ و ۳) ارائه شده است. در جدول (۲) نتایج مربوط به محاسبه حجم فرسایش و در جدول (۳) نتایج مربوط به محاسبه نرخ فرسایش کناری و بستر ارائه شده است.

جدول ۲- موقعیت نمونه‌های برداشت شده در گالی و مقدار حجم فرسایش در آن‌ها

Table 2- Location of collected samples in gullies and the value of erosion volume

ردیف	فاصله نمونه های برداشتی(m) از:				مساحت گالی M^2	حجم فرسایش کل، m^3	سن نمونه (سال)	حجم فرسایش سالیانه، $m^3/year$
	کرانه نزدیک	کرانه دور	راس گالی	بستر گالی				
۱	۰/۳۲	۰/۸۲	۰/۹٥	۰/٥۲	۰/٥۹۰۰۲	۰/٥٦	۱۲	۰/۰٤٦
۲	۰/۲۱	۰/۸٥	۲/۱٥	۱/۱٥	۱/۲۱۹	۲/٦۲	۱۸	۰/۱٤٥
۳	۰/۲۸	۱/۰۷	۰/۸	۰/٥	۰/٦۷٥	۰/٥٤	۱۳	۰/۰٤۱
٤	۰/۲۲	۱/۰٥	۰/۷٥	۰/٦٥	۰/۸۲٥	۰/٦۲	۹	۰/۰٦۸

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

ادامه جدول ۲– موقعیت نمونه‌های برداشت شده در گالی و مقدار حجم فرسایش در آن‌ها

Continue of table 2- Location of collected samples in gullies and the value of erosion volume

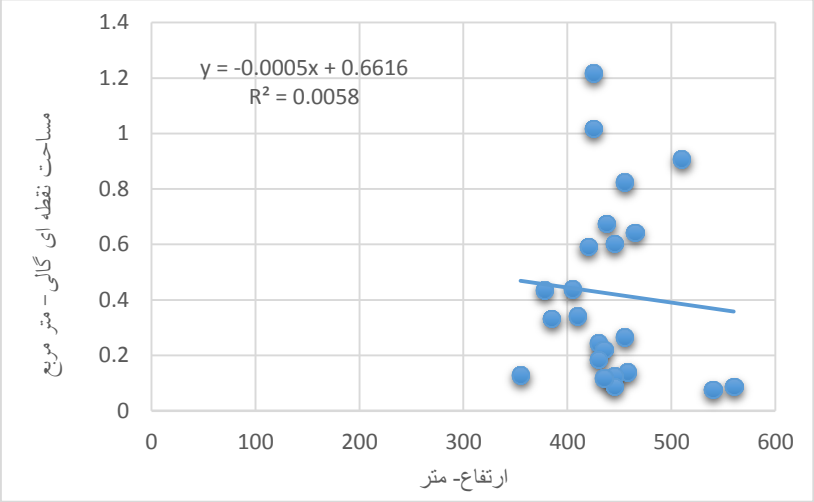
ردیف	فاصله نمونه های برداشتی(m) از:				مساحت گالی M^2	حجم فرسایش کل، m^3	سن نمونه (سال)	حجم فرسایش سالیانه، $m^3/year$
	کرانه نزدیک	کرانه دور	راس گالی	بستر گالی				
۵	۰/۲۸	۱/۱۵	۱/۳۵	۰/٤٥	۰/٦٤۳	۰/۸٦	۱٤	۰/۰٦۱
٦	۰/۱۵	۲/۱۲	۱/۵۲	۰/٤	۰/۹۰۸	۱/۳۸	۱۰	۰/۱۳۸
۷	۰/۰٤	۰/٦	۰/۹	۰/۱۲	۰/۰۷٦	۰/۰۷	٦	۰/۰۱۱
۸	۰/۰۷	۰/٤۲	۰/۸٤	۰/۱۸	۰/۰۸۸	۰/۰۷٤	۵	۰/۰۱٤
۹	۰/۲۳	۱/۵۲	۱/۹	۰/۱۹	۰/۳۳۲	۰/٦۳	۱٤	۰/۰٤۵
۱۰	۰/۲۱	۰/۹۵	۰/٦٦	۰/۳۸	۰/٤٤	۰/۲۹	۱۱	۰/۰۲٦
۱۱	۰/۱	۲/۰۵	۱/۰۸	۰/۲۸	۰/٦۰۲	۰/٦۵	۱۰	۰/۰٦۵
۱۲	۰/۱۱	۰/۹۵	۰/۸۳	۰/۲۵	۰/۲٦۵	۰/۲۲	۹	۰/۰۲٤
۱۳	۰/۰۸	۰/۸۵	۱/۰۲	۰/۱۵	۰/۱۳۹	۰/۱٤	۸	۰/۰۱۷
۱٤	۰/۱۹	۰/۹۸	۱/۱۲	۰/۲۱	۰/۲٤۵	۰/۲۷	۸	۰/۰۳۳
۱۵	۰/۲۱	۰/۷٦	۱/۳۲	۰/٤۵	۰/٤۳٦	۰/۵۷	۱۱	۰/۰۵۱
۱٦	۰/۱۷	۰/۵٤	۰/۹۸	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۲۱	۱۲	۰/۰۱۷
۱۷	۰/۱۷	۰/٦۳	۰/۷۸	۰/۲۳	۰/۱۸٤	۰/۱٤	۱٤	۰/۰۱٤
۱۸	۰/۰۷	۰/٦۲	۰/۹	۰/۱۸	۰/۱۲٤	۰/۱۱	۱۲	۰/۰۰۹
۱۹	۰/۰٦	۰/٤۹	۰/٦۳	۰/۱٦	۰/۰۸۸	۰/۰۵	۷	۰/۰۰۸
۲۰	۰/۱٤	۰/۷۱	۰/۵۷	۰/۱٤	۰/۱۱۹	۰/۰٦	۸	۰/۰۰۷
۲۱	۰/۱۸	۰/۸۹	۰/٦۲	۰/۳۲	۰/۳٤۲	۰/۲۱	۱۰	۰/۰۲۱
۲۲	۰/۲۵	۰/۷۲	۲/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۱۸	۲/۰۸	۱۵	۰/۱۳۸
۲۳	۰/۱۵	۰/٤٦	۰/۵۷	۰/۲۱	۰/۱۲۸	۰/۰۷	۹	۰/۰۰۷
کل	۳/۷۵	۲۱/۲	۲٤/۲۹	۸/٤۸	–	۱۱/۵۹٤	–	۱/۰۰٦
میانگین	۰/۱٦۳	۰/۹۲	۱/۰۵	۰/۳٦	–	۰/۵۰٤	–	۰/۰٤۳

از مجموع ۲۳ گالی موجود، ۲۱ مورد آن در طبقه گالی کوچک، ۲ گالی ۲ و ۲۲ با عمق بیش از یک متر در زمره طبقه متوسط قرار می‌گیرند که حجم فرسایش سالیانه در آن‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۱٤۵ و ۰/۱۳۸ متر مکعب در سال می‌باشد که با توجه به ابعاد گالی، مقدار فرسایش اندازه‌گیری شده در این ۲ نمونه به احتمال قوی بیش‌تر از مقدار فرسایش واقعی می‌باشد. البته با توجه به این‌که تعداد نمونه‌ها در گالی‌های متوسط بسیار محدود است نمی‌توان

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

تحلیل صحیحی از آن به عمل آورد. هیچ یک از نمونه‌ها در زمره گالی‌های بزرگ قرار ندارند. کم‌ترین مقدار فرسایش سالیانه در نمونه‌های ۱۹، ۲۰ و ۲۳ و بیش‌ترین مقدار فرسایش نیز در نمونه ۲ مشاهده می‌شود (جدول ۲). بنابراین در ۲۱ مورد از ۲۳ گالی که نمونه‌ها در آن به ثبت رسیده است می‌توان به نتایج حاصله اعتماد نمود. شکل (۵) پراکندگی گالی‌ها را نشان می‌دهد که بیش‌تر آن‌ها در محدوده ارتفاعی ۵۰۰–۴۰۰ متر قرار دارند.



شکل ۵: رابطه خطی بین ارتفاع و مساحت گالی در محل پاجوش

Figure 5: Linear relationship between elevation and gully volume in the sucker location

با افزایش ارتفاع، ابعاد و مساحت گالی کاهش می‌یابد با این وجود همبستگی بین مساحت گالی و ارتفاع، بسیار ناچیز (R^2=۰/۰۰۵۸) می‌باشد (شکل ۵). دلیل اصلی این موضوع عدم توسعه گالی‌ها به‌واسطه غلبه فرسایش ورقه‌ای بر فرسایش شیاری رواناب می‌باشد که مانع تشکیل گالی‌های وسیع و بالغ می‌شود؛ بنابراین در نقاط مرتفع بیش‌تر گالی‌ها در مراحل ابتدایی شکل‌گیری هستند و هر قدر ارتفاع کاهش می‌یابد، ابعاد گالی افزایش می‌یابد. برای بررسی و مقایسه نرخ فرسایش بستر و کناری گالی‌ها، داده‌های حاصل در جدول (۳) تنظیم شده‌اند.

جدول ۳– موقعیت نمونه‌های برداشت شده در گالی و نرخ فرسایش کناری و زیرین

Table 3- Location of collected samples in gullies and the rate of lateral and bed gully erosion

ردیف	فاصله نمونه‌های برداشتی (m) از:		سن نمونه (سال)	نرخ سالیانه فرسایش کناری (m/y)	نرخ سالیانه فرسایش بستر (m/y)
	کرانه نزدیک	بستر گالی			
۱	۰/۳۲	۰/۵۲	۱۲	۰/۰۲۶	۰/۰۴۳
۲	۰/۲۱	۱/۱۵	۱۸	۰/۰۱۱	۰/۰۶۳
۳	۰/۲۸	۰/۵	۱۳	۰/۰۲۱	۰/۰۳۸
۴	۰/۲۲	۰/۶۵	۹	۰/۰۲۴	۰/۰۷۲
۵	۰/۲۸	۰/۴۵	۱۴	۰/۰۲	۰/۰۴۰

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

ادامه جدول ۳- موقعیت نمونه‌های برداشت شده در گالی و نرخ فرسایش کناری و زیرین

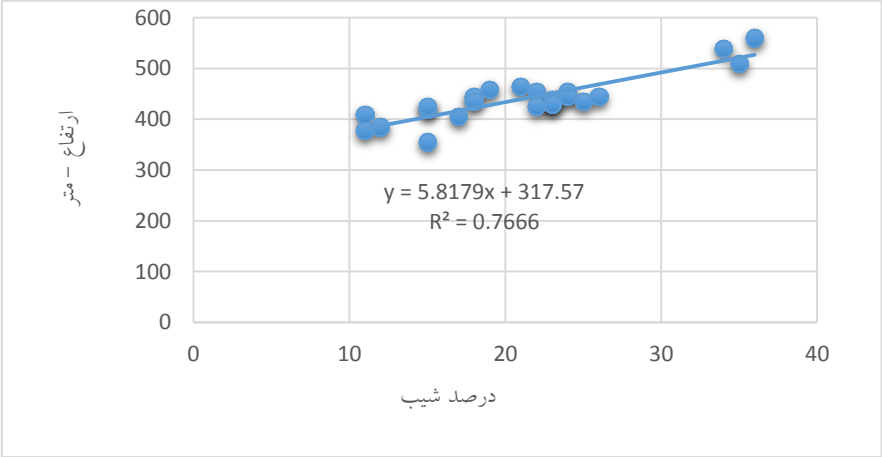
Continue of table 3- Location of collected samples in gullies and the rate of lateral and bed gully erosioncontinue

ردیف	فاصله نمونه‌های برداشتی (m) از:		سن نمونه (سال)	نرخ سالیانه فرسایش کناری (m/y)	نرخ سالیانه فرسایش بستر (m/y)
	کرانه نزدیک	بستر گالی			
٦	۰/۱۵	۰/٤	۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۵
۷	۰/۰٤	۰/۱۲	٦	۰/۰۰٦	۰/۰۳
۸	۰/۰۷	۰/۱۸	۵	۰/۰۱٤	۰/۰٦
۹	۰/۲۳	۰/۱۹	۱٤	۰/۰۱٦	۰/۰۱۳
۱۰	۰/۲۱	۰/۳۸	۱۱	۰/۰۱۹	۰/۰۳٤
۱۱	۰/۱	۰/۲۸	۱۰	۰/۰۱	۰/۰٤
۱۲	۰/۱۱	۰/۲۵	۹	۰/۰۱۲	۰/۰۳۵
۱۳	۰/۰۸	۰/۱۵	۸	۰/۰۱	۰/۰۲۵
۱٤	۰/۱۹	۰/۲۱	۸	۰/۰۲۳	۰/۰۲٦
۱۵	۰/۲۱	۰/٤۵	۱۱	۰/۰۱۹	۰/۰٤۰
۱٦	۰/۱۷	۰/۳۱	۱۲	۰/۰۱٤	۰/۰۲۵
۱۷	۰/۱۷	۰/۲۳	۱٤	۰/۰۱۲	۰/۰۱٦
۱۸	۰/۰۷	۰/۱۸	۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵
۱۹	۰/۰٦	۰/۱٦	۷	۰/۰۰۸	۰/۰۲۲
۲۰	۰/۱٤	۰/۱٤	۸	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷
۲۱	۰/۱۸	۰/۳۲	۱۰	۰/۰۱۸	۰/۰۳۲
۲۲	۰/۲۵	۱/۰۵	۱۵	۰/۰۱٦	۰/۰۷
۲۳	۰/۱۵	۰/۲۱	۹	۰/۰۱٦	۰/۰۲۳
کل	۳/۸۹	۸/٤۸	–	۰/۳۵۲	۰/۸۲۹
میانگین	۰/۱٦۹	۰/۳٦	–	۰/۰۱۵۳	۰/۰۳٦

بیش‌ترین و کم‌ترین نرخ فرسایش کناری و بستر گالی به ترتیب ۰/۰۲٦ و ۰/۰۰۵ متر و ۰/۰۷۲ و ۰/۰۱۳ متر می‌باشد. با توجه به معادله خطی موجود در شکل (٦)، در محدوده ارتفاعی نقاط برداشت شده، بین ارتفاع و شیب زمین همبستگی مثبت معناداری وجود دارد و مقدار R^2 بین این دو پارامتر برابر ۰/۷٦٦ می‌باشد که معنی‌دار است. این موضوع احتمالا به دلیل افزایش مقدار بارش و فرسایش بیش‌تر خاک در نقاط مرتفع‌تر و رسوب‌گذاری آن در مناطق پایین‌دست می‌باشد که این امر موجب کاهش شیب نسبی دامنه‌ها می‌شود و نیمرخ تعادل طولی دامنه‌ها حالت کاو (مقعر) به خود می‌گیرد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

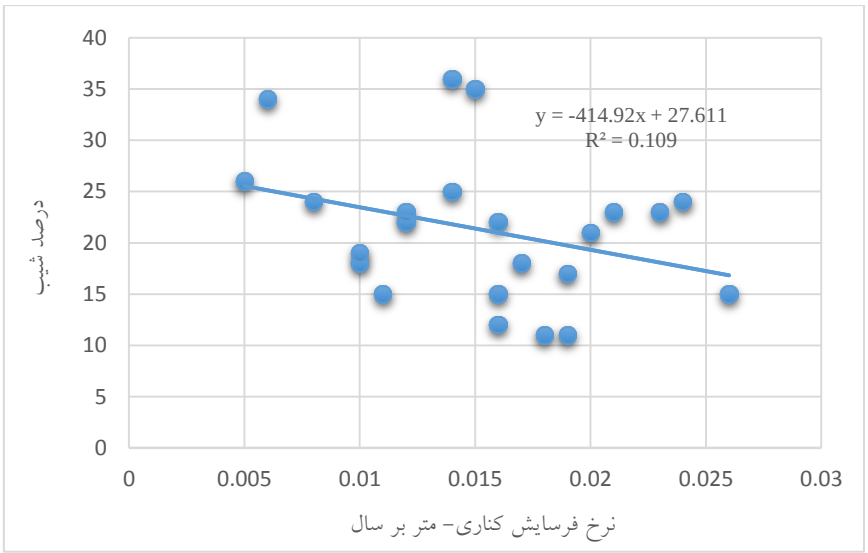
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]



شکل ٦: رابطه خطی بین شیب و ارتفاع

Figure 6: Linear relationship between slope gradient and elevation

در محل هر یک از پاجوش‌ها در شکل (۷)، بین شیب و نرخ فرسایش کناری گالی همبستگی معکوسی وجود دارد. نمودار شکل (۷) نشان می‌دهد که در ازای افزایش شیب، نرخ فرسایش کناری گالی کاهش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که در نقاط پرشیب رواناب‌های موقتی بیش‌تر موجب حفر بستر گالی می‌شود و در نتیجه شکل گالی‌ها به حالت ناپایدار V شکل گرایش پیدا می‌کنند.



شکل ۷: رابطه خطی بین فرسایش کناری گالی و شیب

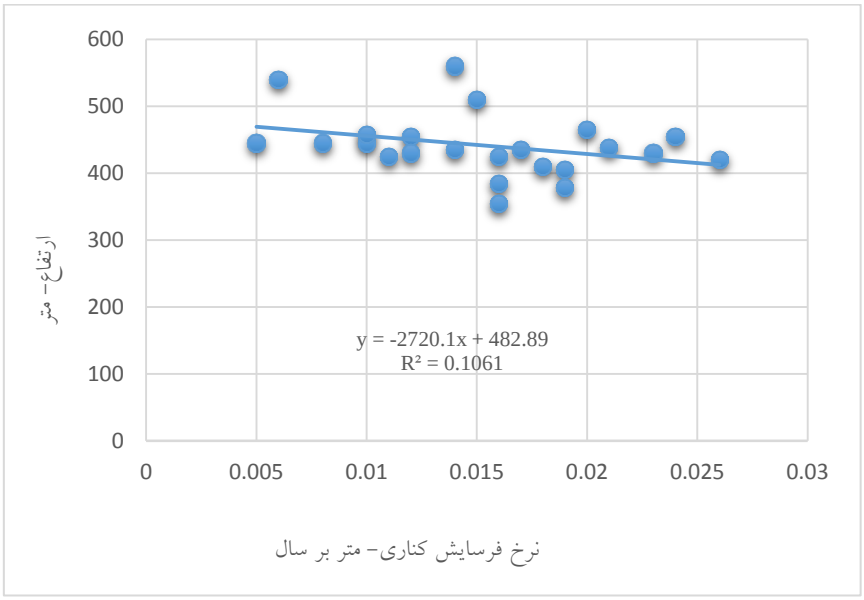
Figure 7: Linear relationship between lateral gully erosion and slope gradient

همان‌گونه که در شکل فوق نشان داده شده است، مقدار R^2 بین شیب و فرسایش دیواره جانبی گالی برابر ۰/۱۰۹ می‌باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

شکل (۸) نیز رابطه بین ارتفاع و نرخ فرسایش کناری گالی را نشان می‌دهد. در این شکل، بین ارتفاع و نرخ فرسایش کناری گالی همبستگی معکوس وجود دارد، نمودار خطی آن نشان می‌دهد که در ازای افزایش ارتفاع، نرخ فرسایش کناری گالی کاهش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که در نقاط مرتفع رواناب‌های موقتی، بیش‌تر موجب حفر بستر گالی می‌شود و در نتیجه شکل گالی‌ها به حالت ناپایدار V شکل گرایش پیدا می‌کنند. همان‌طور که در شکل (٦) نشان داده شده است، علت اصلی چنین وضعی افزایش شیب در اثر افزایش ارتفاع می‌باشد؛ بنابراین در نقاط مرتفعِ شیب‌دار گرایش رواناب به‌طرف مرکز ثقل ناشی از نیروی جاذبه زمین می‌باشد که در خط القعر گالی‌ها جریان دارد.



شکل ۸: رابطه خطی بین فرسایش کناری گالی و ارتفاع

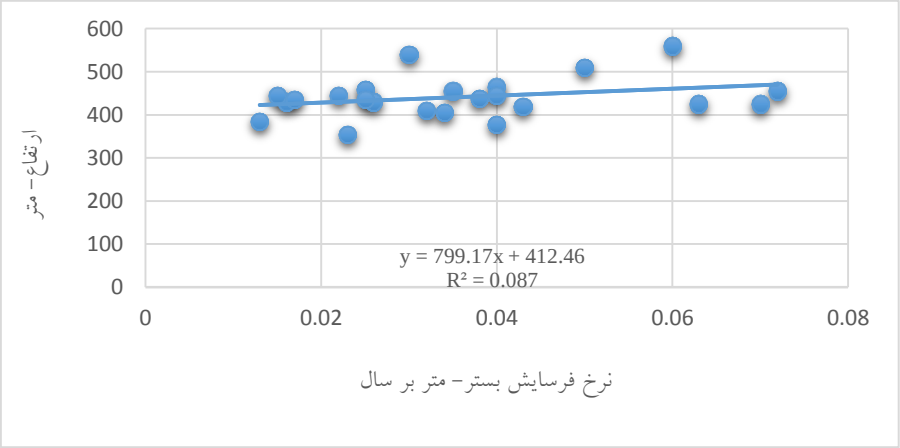
Figure 8: Linear relationship between lateral gully erosion and elevation

همان‌گونه که در شکل فوق نشان داده شده است، مقدار R^2 بین ارتفاع و فرسایش دیواره جانبی گالی برابر ۰/۱۰٦۱ می‌باشد.

شکل (۹) نیز رابطه بین ارتفاع و نرخ فرسایش بستر گالی را نشان می‌دهد. در این شکل، بین ارتفاع و نرخ فرسایش بستر گالی همبستگی مستقیم وجود دارد. نمودار خطی آن نشان می‌دهد که در ازای افزایش ارتفاع، نرخ فرسایش بستر گالی نیز افزایش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که در نقاط مرتفع رواناب‌های موقتی، بیش‌تر موجب حفر بستر گالی و در نقاط پست و کم ارتفاع رواناب‌ها موجب پسروی دیواره‌های کناری گالی می‌شود و در نتیجه شکل گالی‌ها در نقاط مرتفع به حالت ناپایدار V شکل و در نقاط پست به حالت پایدار U شکل گرایش پیدا می‌کنند. علت اصلی چنین وضعی کاهش سرعت رواناب در اثر کاهش شیب می‌باشد؛ بنابراین در نقاط کم شیب سرعت رواناب کاهش یافته و موجب پسروی کناره گالی می‌شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

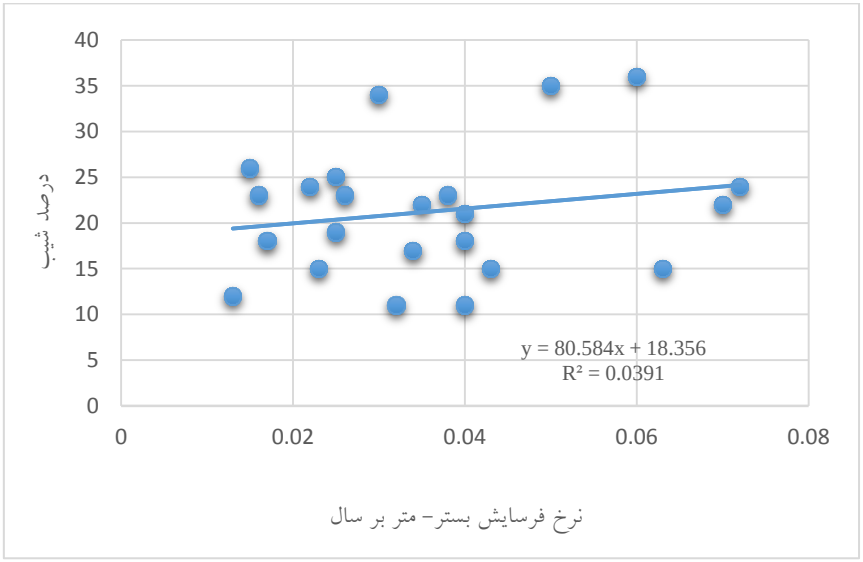


شکل ۹: رابطه خطی بین فرسایش بستر گالی و ارتفاع

Figure 9: Linear relationship between gully bed erosion and elevation

همان‌گونه که در شکل فوق نشان داده شده است، بین ارتفاع و فرسایش بستر گالی ارتباط مستقیم وجود دارد. مقدار R^2 بین ارتفاع و فرسایش بستر گالی برابر ۰/۰۸۷ می‌باشد.

شکل (۱۰) نیز رابطه بین شیب و نرخ فرسایش بستر گالی را نشان می‌دهد. در این شکل، بین شیب و نرخ فرسایش بستر گالی همبستگی مستقیم وجود دارد. نمودار خطی آن نشان می‌دهد که در ازای افزایش شیب، نرخ فرسایش بستر گالی نیز افزایش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که در نقاط پرشیب رواناب‌های موقتی، بیش‌تر موجب حفر بستر گالی و در نقاط کم شیب رواناب‌ها موجب پسروی دیواره‌های کناری گالی می‌شود و در نتیجه شکل گالی‌ها در نقاط شیب‌دار به حالت ناپایدار V شکل و در نقاط کم شیب پست به حالت پایدار U شکل گرایش پیدا می‌کند. علت اصلی چنین وضعی کاهش سرعت رواناب در اثر کاهش شیب می‌باشد.



شکل ۱۰: رابطه خطی بین فرسایش بستر گالی و شیب

Figure 10: Linear relationship between gully bed erosion and slope gradient

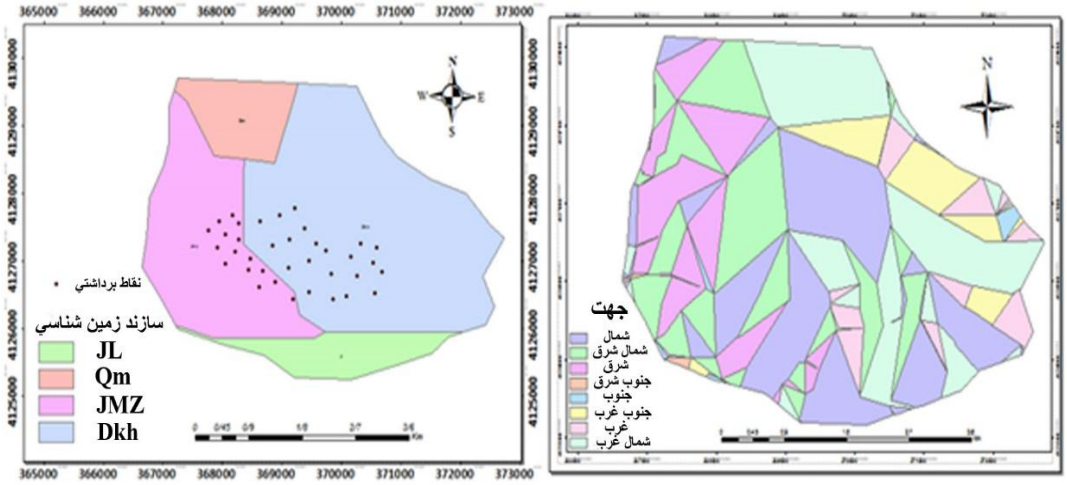
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

همان‌گونه که انتظار می‌رفت، بین شیب و فرسایش بستر گالی ارتباط مستقیم وجود دارد که مقدار R^2 بین شیب و فرسایش بستر گالی برابر ۰/۰۳۹۱ می‌باشد.

بر اساس نظر متخصصان هیدرولوژی، نیمرخ طولی آبراهه‌ها و گالی‌ها، به‌صورت مقعر است و شیب آن به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد تا به حالت تعادل برسد. بر این اساس، در بالادست پدیده حفر بستر و در پایین‌دست پدیده پسروی دیواره کناری غلبه دارد. در نتیجه، نیمرخ عرضی گالی در بالادست V شکل و در پایین‌دست U شکل می‌باشد. از طرفی، می‌دانیم که فرسایش کل گالی معمولا به‌صورت خطی و پیوسته نیست، بلکه مراحل رشدِ ابتدایی، تثبیت و تکامل را در طی دهه‌ها به‌طور نامنظم می‌گذراند (Ballesteros-Cánovas et al., 2013)؛ بنابراین، اندازه و شکل گالی نشانگر مراحل تکاملی یک گالی می‌باشد. اگر اندازه گالی کوچک و شکل آن به‌صورت V باشد، گالی در مراحل رشد اولیه قرار دارد و حالت ناپایداری در آن دیده می‌شود و فرسایش در آن با سرعت بیش‌تری در جریان است. در صورتی که در گالی‌های U شکل عکس حالت قبل رخ می‌دهد. نتایج به‌دست آمده این ادعا را اثبات می‌کند.

علی‌رغم این‌که فرسایش گالی در رسوبات منفصل و رگولیتی و یا خاک شکل می‌گیرد از این‌رو خصوصیات خاک ارتباط بیش تری را نشان می‌دهد تا ویژگی‌های سنگ‌شناسی حوضه. با این وجود، بررسی جداول (۱، ۲ و ۳) نشان می‌دهد که نرخ فرسایش کناری در سازند دولومیتی مزدوران (Jmz)، برابر ۰/۰۱۳ متر و در سازند مارنی خوش ییلاق برابر ۰/۰۰۲۳ متر (Dkh) می‌باشد و نرخ فرسایش بستر در سازند مزدوران برابر ۰/۰٤۸ متر و در سازند خوش ییلاق برابر ۰/۰۳۲ متر است. بررسی میانگین نرخ فرسایش دیواره جانبی و بستر گالی به‌صورت توامان در این دو سازند نشان می‌دهد که فرسایش سالیانه در سازند خوش ییلاق که ۰/۱۷۱ متر و در سازند مزدوران ۰/۳۰۵ متر است. حجم فرسایش در سازند خوش ییلاق برابر ۰/۰۳۸ و در سازند مزدوران برابر ۰/۰٦٤ می‌باشد. شکل (۱۱) موقعیت نمونه‌های برداشتی را بر اساس سازندهای زمین‌شناسی نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: موقعیت نقاط برداشت شده در سازندهای زمین‌شناسی و جهات شیب

Figure 11: Location of collected samples in geological formations and slope aspects

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

بررسی این پژوهش نشان می‌دهد که بیش‌ترین و کم‌ترین نمونه‌های برداشتی در جهت شمال و جنوب‌شرق با تعداد ۱۰ و ۱ نمونه می‌باشد، سایر نمونه‌ها در جهات شمال‌شرق و شمال‌غرب با تعداد ۷ و ۵ مورد می‌باشد. جدول (٤) نرخ فرسایش سالیانه جهات دامنه‌ای را به تفکیک فرسایش جانبی و بستر و حجم فرسایش نشان می‌دهد.

جدول ٤- نرخ فرسایش سالیانه و نوع پسروی گالی در جهات مختلف دامنه

Table 4- Rate of annual erosion and type of gully retreat in different slope aspects

پارامتر	جهت دامنه											
	شمال شرق			شمال			شمال غرب			جنوب شرق		
	جانبی	بستر	حجمی	جانبی	بستر	حجمی	جانبی	بستر	حجمی	جانبی	بستر	حجمی
تعداد	۷	۷	۷	۱۰	۱۰	۱۰	۵	۵	۵	۱	۱	۱
نرخ فرسایش	۰/۰۱۷	۰/۰٤٥	۰/۰٥٦	۰/۰۱٦	۰/۰۳٥	۰/۰۳۹	۰/۰۱۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱٦	۰/۰۱٦	۰/۰۷	۰/۱۳۸

با بررسی تک‌تک پاجوش‌ها، مشاهده می‌شود که بیش‌ترین و کم‌ترین نرخ فرسایش جانبی به‌ترتیب در جهت شمال شرق و شمال‌غرب، بوده که برابر ۰/۰۱۷ و ۰/۰۱۱ متر می‌باشد. بیش‌ترین و کم‌ترین نرخ فرسایش بستر نیز به‌ترتیب در جهت شمال‌شرق و جنوب‌شرق می‌باشد که برابر ۰/۰٤٥ و ۰/۰۷ متر است. بر همین اساس، بیش‌ترین و کم‌ترین حجم فرسایش به ترتیب در جهت شمال‌شرق و شمال‌غرب می‌باشد که برابر ۰/۰٥٦ و ۰/۰۱٦ متر می‌باشد. البته اظهارنظر در مورد تاثیر جهت جنوب‌شرق به دلیل عدم وجود نمونه کافی نتیجه مطمئن و رضایت بخشی به دنبال نخواهد داشت.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، میزان پسروی کناری و بستر گالی با استفاده از تحلیل دندروژئومورفولوژیک ریشه‌های درختان خرمالوی وحشی و انجیلی که نسبت به درختان دیگر منطقه از قابلیت بالای تولید پاجوش برخوردارند، برآورد شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع و شیب توپوگرافی نرخ فرسایش کناری گالی کاهش می‌یابد. برعکس، با کاهش ارتفاع و شیب توپوگرافی، نرخ فرسایش بستر گالی کاهش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد ارتفاع و شیب توپوگرافی مهم‌ترین عوامل کنترل کننده فرسایش بستر و کناره‌های گالی‌ها هستند. در نقاط مرتفع، رواناب‌های سطحی بیش‌تر باعث حفر بستر گالی و در نقاط پست و کم ارتفاع رواناب‌ها موجب پسروی دیواره‌های کنار گالی می‌شود و در نتیجه شکل گالی‌ها در نقاط مرتفع به حالت ناپایدار V شکل و در نقاط پست به حالت پایدار U شکل گرایش پیدا می‌کنند. بررسی این تحقیق نشان می‌دهد که بین نرخ فرسایش بستر و کناره‌ای گالی‌ها با شیب و ارتفاع روابط معنی‌داری وجود ندارد (مقدار پائین R^2). این موضوع را می‌توان به تفاوت در لیتولوژی و جهات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نسبت داد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

در مجموع استفاده از پاجوش‌های ریشه درختی روشی مناسب در برآورد فرسایش گالی در مناطق فاقد داده‌های آماری می‌باشد. با این وجود باید در نظر داشت که برای تعمیم نتایج حاصل از این روش، تعداد نمونه‌ها متناسب با وسعت ناحیه مورد مطالعه انتخاب شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

References

- Abedini, M., (2013), "Quantitative analysis of gully erosion on the Kalgan Chayi basin (east of Sahand)", ***Geography and Territorial Spatial Arrangement***, 7: 97-110. [In Persian].
- Bahrami, S., Mahboobi, F., Sadidi, J., Jafari Aghdam, M., (2011), "Estimating the rate of sheet erosion by dendrogeomorphological analysis of tree roots in Gharechai (Ramian) Catchment", ***Physical Geography Research Quarterly***, 75: 20-36. [In Persian].
- Balapour, S., Tofiq Sadeq, M., (2014), "***Principles, methods and application of tree ring chronology***", (1st edition), Tehran: Jeddikar Pub. [In Persian].
- Ballesteros-Cánovas, J. A., Bodoque, J. M., Lucía, A., Martín-Duque, J. F., Díez-Herrero, A., Ruiz-Villanueva, V., Rubiales, J. M., Génova, M., (2013), "Dendrogeomorphology in badlands: Methods, case studies and prospects", ***Catena***, 106: 113-122.
- Besharati, B., Abedini, M., Asgari, S., (2021), "Investigation of morphometric characteristics of gullies and its relationship with soil characteristics in Shoor Chai basin", ***Geographical Space***, 76: 1-18. [In Persian].
- Bodoque, J. M., LucíaJ, A.. Ballesteros, A., Martín-Duque, J. F., Rubiales, J. M., Genova, M., (2011), "Measuring medium-term sheet erosion in gullies from trees: A case study using dendrogeomorphological analysis of exposed pine roots in central Iberia", ***Geomorphology***, 134 (3-4): 417-425.
- Cook, E. R., (1987), "The decomposition of tree-ring series for environmental studies", ***Tree-Ring Bulletin***, 47: 37-59.
- Copini, P., Sass-Klaassen, U., Den Ouden, J., (2006), "Dendrochronology as a tool for historical ecological research. Two case studies from the Netherlands", In: Haneca, K., Verheyden, A., Beekmann, H., Gärtner, H., Schleser, G., (eds) TRACE, Tree Rings in Archaeology, Jülich: Forschungszentrum Jülich Pub, pp 179-188.
- Corona, C., Lopez-Saez, J., Rovéra, G., Stoffel, M., Astrade, L., Berger, F., (2011), "High resolution, quantitative reconstruction of erosion rates based on anatomical changes in exposed roots at Draix, Alpes de Haute-Provence- critical review of existing approaches and independent quality control of results", **G*eomorphology***, 125: 433-444.
- Darvishzadeh, A., Mohammadi, M., (2007), "***Geology of Iran***", Payame Noor University Press: Tehran. [In Persian].
- Gartner, 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,*** Jülich: Forschungszentrum Jülich Pub, pp 12-120.
- Gartner, H., (2007), "Tree roots_ methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes", ***Geomorphology***, 86: 243-251.
- Génova, M., Díez-Herrero, A., Furdada, G., Guinau, M., Victoriano, A., (2018), "Dendrogeomorphological evidence of flood frequency changes and human activities (Portainé basin, Spanish Pyrenees)", ***Tree-Ring Research***, 74 (2): 144-161 .
- Goudie, A., (2005), "***Geomorphological techniques***", second edition, Oxford University, pub: oxford.
- Hoseinzadeh, S. R., Jahadi Toroghi, M., (2012), "The study of paleofloods in the Seh- Hezar river using dendrogeomorphology", ***Geography and Environmental Hazards***, 2: 29-53. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]

- Kaczka, R. J., Morin, H., (2006), "The dendrochronological records of debris flow activity in SE Quebec", In: Haneca, K., Verheyden, A., Beekmann, H., Gärtner, H., Schleser, G., (eds) ***TRACE, Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology***, julich: forshungszentrum, julich pub pp 233-239.
- Malik, I., (2008), "Dating of small gully formation and establishing erosion r ates in old gullies under forest by means of anatomical changes in exposed tree toots (southern poland)", ***Geomorphology***, 93: 421-436.
- Malik, I., (2006), "Gully erosion dating by means of anatomical changes in exposed roots (proboszczowicka plateau, southern poland)", ***Geochronometria***, 25: 57-66.
- Perret, S., Stoffel, M., Kienholz, H., (2006), "Spatial and temporal rockfall activity in a forest stand in the Swiss prealps: A dendrogeomorphological case study", ***Geomorphology***, 74: 219-231.
- Roer, I., Gärtner, H., Heinrich, I., (2006), "Dendrogeomorphological analysis of alpine trees and shrubs growing on active and inactive rockglaciers", In: Haneca, K., Verheyden, A., Beekmann, H., Gärtner, H., Schleser, G., (eds). TRACE, ***Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology***, Jülich: Forschungszentrum Jülich Pub, pp 248-258.
- Shroder, J. F., (1980), "Dendrogeomorphology: Review and new techniques of tree-ring dating", ***Progress in Physical Geography***, 4: 161-188.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., (2009), "What tree rings can tell about earth-surface processes: Teaching the principles of dendrogeomorphology, ***Geography Compass***, 3: 1013-1037.
- Vandekerckhove, L., Muys, B., Poesen, J., De Weerdt, B., Coppe´, N., (2001), "A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates", ***Catena***, 45: 123-161.
- Winchester,V., Gärtner, H., Bezzi, M., (2007), "Dendrogeomorphological applications", In: Kalvoda, J., Goudie, A. S., (eds.), ***Geomorphological variations: on the occasion of the 150th Anniversary of Geography and Geoecology***, Prague: Charles University, pub, pp 183-203.
- Wronska-Walach, D., (2009), "Dendrogeomorphological analysis of a headwater area in the Gorce mountains", ***Stud.Geomorph. Carpatho-Balc***, 63: 97-114.
- Zarean, H., Movahedi, S., Yazdanpanah, H., Jalilvand, H., Yarali, N., Momeni, M., (2016), "Reconstructing maximum and minimum seasonal temperature from Quercus persica tree rings in Zagros forests (Case study of Dena region)", ***Geographical Space***, 53: 209-227. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.4.3]