

Estimating the Lateral and Bed Erosion of Gully by Dendrogeomorphological Analysis of Tree Roots in Nilkooh Catchment (Galikesh), Golestan Province

Shahram Bahrami ^{1*}, Alimhammad Tazari ², Kazem Parsiani ³

¹ Associate Professor of Natural Geography, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Assistant Professor of Biology, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

³ PhD Candidate of Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Abstract

Dendrogeomorphology is one of the most important techniques for determining the age of geomorphological processes such as slope movements, flooding, erosion, earthquakes and other processes. One advantage of application of dendrogeomorphology in the estimation of gully erosion is that it can estimate the annual rates of erosion. The aim of this research is to estimate the lateral and bed erosion of gully by dendrogeomorphological analysis of tree roots in Nilkooh catchment. To achieve this goal, a total of 50 samples from the roots of broadleaf trees, including Evangelical, wild persimmons, alder, oak, hornbeam, hawthorn and maple that have been exposed after erosion, were dated. The 35 samples were tested for lateral erosion of gully and 15 samples were also examined for gully bed erosion. During sampling, the information such as slope gradient, distance of the sample from the wall of gully and geographical coordinates were also recorded. Samples were dried in natural conditions and have been sanded for better clarity. In this study, exposed roots were sampled during 2013-2014. The minimum and maximum ages of roots were 3 and 14 years, respectively. The study reveals that the average rate of lateral and bed erosion of gully are 0.053 and 0.107 meter, respectively. The lateral erosion of gully has inverse correlation with elevation and gradient, whereas bed erosion of gully has positive correlation with elevation gradient.

Key words: Dendrogeomorphology, Lateral and Bed Gully Erosion, Tree Ring, Nilkooh, Galikesh.

برآورد میزان فرسایش جانبی و بستر گالی با استفاده از تحلیل دندروژئومورفولوژیک ریشه‌های درختی در حوضه نیل کوه (گالیکش)، استان گلستان

شهرام بهرامی*، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
علی محمد طزری، استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
کاظم پارسیانی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

وصول: ۱۳۹۴/۰۹/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۶، صص ۱۹۴-۱۷۳

چکیده

دندروژئومورفولوژی، یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های تعیین سن فرایندهای ژئومورفولوژیک مانند حرکات دامنه‌ای، سیلاب، فرسایش، زلزله و دیگر فرایندهاست. روش‌های دندروژئومورفولوژیک مبتنی بر درک آناتومی، مورفولوژی و ساختار ریشه، ساقه و تاج درختان است. فرسایش خاک به‌ویژه فرسایش ناشی از توسعه گالی‌ها، یکی از مشکلات جدی محیطی محسوب می‌شود. پس از فرسایش گالی و ظاهر شدن ریشه درختان، تغییراتی در الگوی رشد حلقه‌ها در ریشه ایجاد می‌شود. با بررسی این تغییرات و اندازه‌گیری موقعیت ریشه نسبت به دیواره‌ها و بستر گالی، میزان فرسایش جانبی و بستر گالی‌ها محاسبه می‌شود. یکی از مزایای استفاده از دندروژئومورفولوژی در تخمین فرسایش گالی‌ها این است که امکان محاسبه میزان فرسایش سالانه فراهم می‌شود. هدف این پژوهش، برآورد میزان فرسایش جانبی و بستر گالی با استفاده از تحلیل دندروژئومورفولوژیک ریشه‌های درختی در حوضه نیل‌کوه است. برای دستیابی به این هدف، تعداد ۵۰ نمونه از ریشه درختان پهن‌برگ شامل انجیلی، خرمالوی وحشی، توسکا، بلوط، ممرز، ولیک و افرا را تعیین سن کرده‌ایم که پس از فرسایش عریان شده بودند. از این تعداد، ۳۵ نمونه برای بررسی میزان فرسایش جانبی و ۱۵ نمونه برای بررسی میزان فرسایش بستر گالی (عمیق‌شدگی) مطالعه شد. هنگام برداشت نمونه‌ها، اطلاعاتی مانند جهت شیب، فاصله نمونه تا دیواره جانبی و زیرین گالی و مختصات جغرافیایی نمونه‌ها نیز ثبت و سپس نمونه‌های برداشتی در شرایط طبیعی خشک و برای وضوح حلقه‌ها سمباده برقی زده شد. در این بررسی، ریشه‌های برون‌زد یافته طی دو سال (۹۴-۱۳۹۲) نمونه‌برداری شدند. کمترین و بیشترین سن نمونه‌ها ۳ و ۱۴ سال است. پژوهش حاضر نشان می‌دهد میانگین میزان فرسایش سالانه دیواره جانبی و زیرین گالی به ترتیب برابر با ۰/۰۵۳ و ۰/۱۰۷ متر است. براساس نتایج به‌دست‌آمده شیب و ارتفاع با فرسایش دیواره جانبی گالی رابطه معکوس و با فرسایش بستر گالی ارتباط مستقیم دارد.

واژه‌های کلیدی: دندروژئومورفولوژی، فرسایش کناری و بستر گالی، حلقه درختی، نیل‌کوه، گالیکش.

مقدمه

دانش ژئومورفولوژی، یکی از شاخه‌های علوم زمین، ارتباط درونی و پیچیده یک لندفرم و پویایی آن را به واسطه فرایندهای بادی، آبی، گرانش و تکتونیک تشریح (Gartner, 2007: 243) و نقش مهمی در تفسیر سیستم‌های فرسایشی و چگونگی حفاظت آب و خاک ایفا می‌کند. از دهه ۱۹۶۰ تاکنون دندروژئومورفولوژی برای تخمین میزان فرسایش ورقه‌ای به کار گرفته شده و بیشترین تلاش‌ها در این زمینه مربوط به تعیین نخستین سال شروع فرسایش است که اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد (Bodoque et al, 2015: 3).

یکی از اشکال مهم فرسایش کاوشی گالی‌ها هستند که بر اثر حفر آب در نواحی کوهستانی به‌ویژه در مناطق اقلیمی خشک و نیمه‌خشک شکل می‌گیرند (عابدینی، ۱۳۹۲: ۹۹) و اطلاعات مهمی در زمینه ثبت پیشینه تحولات و دینامیک حوضه در اختیار پژوهشگران و برنامه‌ریزان قرار می‌دهند؛ بنابراین مطالعه این اشکال، هم از نظر بنیادی و هم از نظر مدیریتی، برای کاهش خطر رخدادهای طبیعی به‌ویژه فرسایش خاک و حفاظت آب جنبه کاربردی فوق‌العاده‌ای دارد (کوک و دورکمپ^۱، ۱۳۷۷: ۳۹).

یکی از مهم‌ترین روش‌های تعیین سن فرایندهای مورفولوژیک در دوره‌های زمانی چند صد تا چندین هزارساله، دندروکرونولوژی^۲ است (Winchester et al, 2007: 185). دندروکرونولوژی، رشته‌ای است که حلقه‌های سالیانه درختان را با استفاده از اندازه‌گیری تعداد و تغییرات حلقه‌ها مطالعه می‌کند؛ تغییراتی که به

علت آب‌وهوا و تغییرات محیطی ایجاد می‌شود (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۱۳). حلقه‌های درختی که از دهه ۱۹۳۰ در ژئومورفولوژی^۳ به کار رفته است (Winchester et al, 2007: 186) را در سال ۱۹۷۱ میلادی آلستالو^۴ با عنوان دندروژئومورفولوژی^۵ معرفی کرد (Winchester et al, 2007: 185; Ballesteros-Canovas et al, 2013: 114).

تکنیک دندروکرونولوژی در کلیات، وجوه اشتراک زیادی با دندروژئومورفولوژی دارد (Winchester et al, 2007: 186) و یکی از دقیق‌ترین و واقعی‌ترین روش‌ها برای تعیین سن فرایندهای سطحی زمین است و در دهه‌های اخیر از ابزاری مکمل برای تعیین سن درخت به علمی وسیع و روشی قاطع در بازسازی تاریخ تحولات رویدادهای سطحی زمین تبدیل شده است (Stoffel, 2009: 1015). دندروژئومورفولوژی از شاخه‌های زیرمجموعه دندروکرونولوژی است (Gartner, 2007: 246) که حلقه‌های رشد سالیانه در ساقه و ریشه درختان و مورفولوژی آنها را در بعد فضا و زمان در دوره هولوسن^۶ مطالعه می‌کند (Perret et al, 2007: 222; Goudie, 2005: 270). استفاده از حلقه‌های رشد سالیانه درختی به‌منزله شاهدی برای مطالعه فرایندهای سطحی زمین (Goudie, 2004: 115)، درباره کاربرد اکولوژی گیاهی و دندروکرونولوژی در مورفوننتیک و ژئومورفولوژی مبتنی بر مورفوکرونولوژی بحث و مطابقت سن

^۳ سابقه به‌کارگیری دندروکرونولوژی در جغرافیا (اقلیم‌شناسی) به سال ۱۹۱۹ و پژوهش داگلاس مربوط می‌شود (Winchester, 2007: 185).

^۴ Alestalo

^۵ dendrogeomorphology

^۶ holocen

^۱ Cooke & Doornkamp

^۲ dendrochronology

درخت را با تقویم حلقه‌های رشد سالیانه بررسی می‌کند (Vandekerckhove et al, 2001: 124).

پیشینه پژوهش

دامنه پژوهش با این تکنیک به قدری توسعه یافته است که پژوهشگران زیادی از این تکنیک در مطالعات محیطی همانند لرزه‌شناسی، فرسایش و رسوب‌گذاری، سیل، خزش، هیدرولوژی، حرکات دامنه‌ای، یخچال‌شناسی و آتشفشان‌شناسی^۱ استفاده کرده‌اند (Shroder, 1980; Winchester et al, 2007; Gartner, 2003; Gartner, 2007; Goudie, 2005; Cook, 1987; Corona et al, 2011; Vandekerckhove et al, 2001; Roer et al, 2006; Malik, 2008; Copini, 2007; Kaczka et al, 2006; Ballesteros- Canovas et al, 2013; Gartner et al, 2014; Silhan et al, 2016; Galia et al, 2017; Stoffel et al, 2017) و با توجه به شرایط محیطی گوناگون به نتایج متفاوتی نیز دست یافته‌اند.

براساس پژوهشی که در گالی‌های لسی جنوب لهستان انجام شده است، میانگین میزان فرسایش در گالی‌های کوچک ۰/۶۳ متر در سال برآورد شده است. بر همین اساس میزان 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).

در پژوهشی دیگر که در شبه‌جزیره ایبری انجام شده است، میانگین میزان فرسایش ورقه‌ای در حد فاصل بین گالی‌ها بین ۶/۲ تا ۸/۸ میلی‌متر در سال (۱۲۵/۲ و ۱۷۷/۸ تن در هکتار در سال) برآورد شده است (Bodoque et al, 2011).

مطالعه‌ای دیگر در جنوب لهستان نشان داد زیربری دامنه در قسمت‌های پایین‌دست گالی با دوره‌های

فرسایشی شدید و بارش‌های سنگین سال‌های ۱۹۷۱ و ۱۹۸۴ مطابقت دارد (Malik, 2006).

در مطالعه‌ای دیگر تاریخچه فرسایش کناری در رودخانه بیلا اپرا^۲ در جمهوری چک با تغییرات آناتومیک ریشه درختی بررسی شده است (Malik and Matyja, 2008).

همچنین در منطقه پاتاگونای کوه‌های آند، تعداد ۲۱ سیل ناگهانی از دهه ۱۸۷۰ با ریشه‌های عریان در دیواره کناری گالی‌ها و رودها بررسی شده است. نتایج نشان‌دهنده قابلیت مناسب آنالیز ریشه‌ها برای تعیین نواحی برداشت رسوب و همچنین شناسایی سیلاب‌هاست (Stoffel et al, 2012: 247).

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در دندروژئومورفولوژی در دهه‌های اخیر، تاکنون تحلیل فرایندهای ژئومورفیک براساس حلقه درختی بیشتر در نواحی کوهستانی آمریکای شمالی و اروپا تمرکز داشته است (Stoffel et al, 2009: 1031).

پژوهشی در کشور اسلواکی براساس ۵۳ نمونه از ریشه‌های برون‌زدیافته درختان پهن‌برگ نشان داد میزان فرسایش کناره‌ای گالی‌ها یک سانتی‌متر در سال است (Silhan et al, 2016: 108).

پژوهش‌های مربوط به دندروژئومورفولوژی در ایران محدود بوده (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰، حسین‌زاده و جهادی طرقي، ۱۳۹۱، صفدری و همکاران، ۱۳۹۱، خزاعیان و همکاران، ۱۳۸۸، عزیزی و ارسلانی، ۱۳۹۱) و در منطقه پژوهش نیز تاکنون پژوهشی با این تکنیک انجام نشده است.

² Billa opera

¹ pyrological

هدف پژوهش

با توجه به این کاستی‌ها، هدف از این مطالعه، بسط نظری و عملی حلقه درختی به‌منزله تکنیکی مستقل در برآورد مقدار فرسایش خاک در ابعاد فضایی و زمانی در شرایط محیطی ایران است.

روش‌شناسی پژوهش

به‌منظور تعیین میزان فرسایش گالی براساس تحلیل حلقه‌های درختی در حوضه پژوهش، نخست محدوده حوضه آبخیز از نقشه ۱:۵۰۰۰۰۰ توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ در محیط ArcGIS 9.3 رقومی و سپس براساس آن نقشه‌های شیب و جهت و ارتفاع منطقه تهیه شد؛ علاوه بر این نقشه‌ها، نقشه مربوط به زمین‌شناسی و واحدهای مورفولوژیک منطقه نیز تهیه شد. در این بررسی ریشه‌هایی که سن آنها بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ را دربرمی‌گیرند، طی دوره ۲ ساله (۹۴-۱۳۹۲) نمونه‌برداری شده‌اند. کمترین و بیشترین سن نمونه‌ها ۳ و ۱۴ سال است.

در این مطالعه تعداد ۵۰ نمونه از ریشه درختان پهن‌برگ تعیین سن شدند؛ شامل انجیلی^۱ (۱۵ نمونه)، خرمالوی وحشی^۲ (۱ نمونه)، توسکا^۳ (۲ نمونه)، بلوط^۴ (۹ نمونه)، ممرز^۵ (۱۷ نمونه)، ولیک^۶ (۳ نمونه) و افرا^۷ (۳ نمونه) که پس از فرسایش عریان شده بودند. هنگام برداشت نمونه‌ها، اطلاعاتی مانند مختصات نقاط برداشتی (شیب، مختصات جغرافیایی

و ارتفاع نمونه از سطح دریا) به کمک دستگاه GPS و فاصله هریک از نمونه‌ها از دیواره جانبی و زیرین گالی ثبت شد. پس از برداشت، مقاطع به مدت دست‌کم یک تا دو ماه در شرایط طبیعی قرار داده شد تا خشک شوند و سپس به‌منظور وضوح بهتر و شمارش حلقه‌ها با دستگاه سمباده برقی مقاطع تهیه‌شده صیقل داده شدند. به‌منظور حذف اثر مزاحم کشش قائم ساقه، نمونه‌ها در فاصله دست‌کم ۱۰۰ سانتی‌متری از تنه انتخاب شدند. این موضوع به‌صورت تجربی و از سوی برخی پژوهشگران نیز از ۵۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر است (Gartner, 2006: 122; Bodoque, 2005: 88).

شکل (۱) نمونه‌هایی از موقعیت ریشه‌ها را برای محاسبه میزان فرسایش زیرین و جانبی گالی نشان می‌دهد.

برای اندازه‌گیری میزان پس‌روی کناری و عمیق‌شدگی بستر گالی روش‌های بسیاری در مقیاس بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت به کار برده می‌شود (Goudie, 2004: 48). مقیاس به‌کاررفته در این مطالعه در واحد زمانی میان‌مدت (۳-۴۶ سال) است (Vandekerckhove et al, 2001: 1) که به عقیده متخصصان نسبت به مقیاس‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت از دقت و اعتبار بیشتری برخوردار است؛ به‌ویژه اگر طول دوره زمانی کمتر از ۳۵ سال باشد (Beck, 2006: 248).

¹ Evangelical

² Wild persimmons

³ Alder

⁴ Oak

⁵ Hornbeam

⁶ Hawthorn

⁷ Maple



شکل ۱. نمونه‌هایی از موقعیت ریشه‌ها برای محاسبه میزان فرسایش زیرین (نمونه ۱) و جانبی گالی (نمونه‌های ۲ و ۳)

مطالعه این روش بر ۳ پیش‌فرض استوار است که در تخمین میزان واقعی فرسایش لازم است (Vandekerckhove et al, 2001: 125)؛ براساس پیش‌فرض اول، نمونه قابل تعیین سن پیش از شکل‌گیری گالی وجود داشته است. در این صورت دوره زمانی فرسایش واقعی (Δt_e) نسبت به سن نمونه تعیین سن شده (datable object Δt_m) کمتر برآورد می‌شود؛ به بیان دیگر میزان فرسایش در نمونه قابل تعیین سن را بیشتر از دوره زمانی واقعی برآورد می‌کند؛ بنابراین:

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

پیش‌فرض دوم به این موضوع اشاره دارد که نمونه قابل تعیین سن، نتیجه بلافاصله فرسایش است (مانند درختان افتاده در اثر رانش)؛ بنابراین دوره زمانی فرسایش واقعی (Δt_e) با سن نمونه قابل تعیین سن (datable object Δt_m) برابری می‌کند؛ به بیانی، میزان واقعی فرسایش با سن نمونه تعیین سن شده مطابقت دارد؛ بنابراین:

$$\Delta t_e = (\text{datable object}) \Delta t_m \quad \text{معادله ۲}$$

فرایندهای فرسایشی و عریان‌سازی ریشه‌ها با توجه به ماهیت رویداد فرسایشی (پیوسته^۱، ناگهانی^۲) واکنش‌های متفاوتی را در ساقه و ریشه‌های عریان ایجاد می‌کند. از آنجا که بعضی از ریشه‌های عریان پس از رویداد فرسایشی (جریان آواری، لاهار، سیل و زمین‌لغزش) به مدت طولانی زنده نمی‌مانند و می‌میرند، درخت با کمبود آب و فرآورده‌های مغذی مواجه خواهد شد؛ بنابراین همزمان با تغییرات آناتومیک، قطر ساقه اصلی یا تنه درخت نیز باریک‌تر خواهد شد.

در حالتی که پدیده عریان‌شدن جزئی و انتهای ریشه کماکان در خاک باشد، ریشه به رشد خود ادامه و نقش خود را انجام خواهد داد؛ ولی در قسمت عریان آن، تغییرات کالبدی صورت خواهد گرفت. مشخص کردن این تغییر در مجموعه حلقه درختی، تعیین‌کننده لحظه عریان‌سازی است. عریان‌سازی متوالی ریشه‌ها معمولاً به فرایندهای آرام مربوط است که میزان آن کم است (Stoffel and Bollschweiler, 2008: 194).

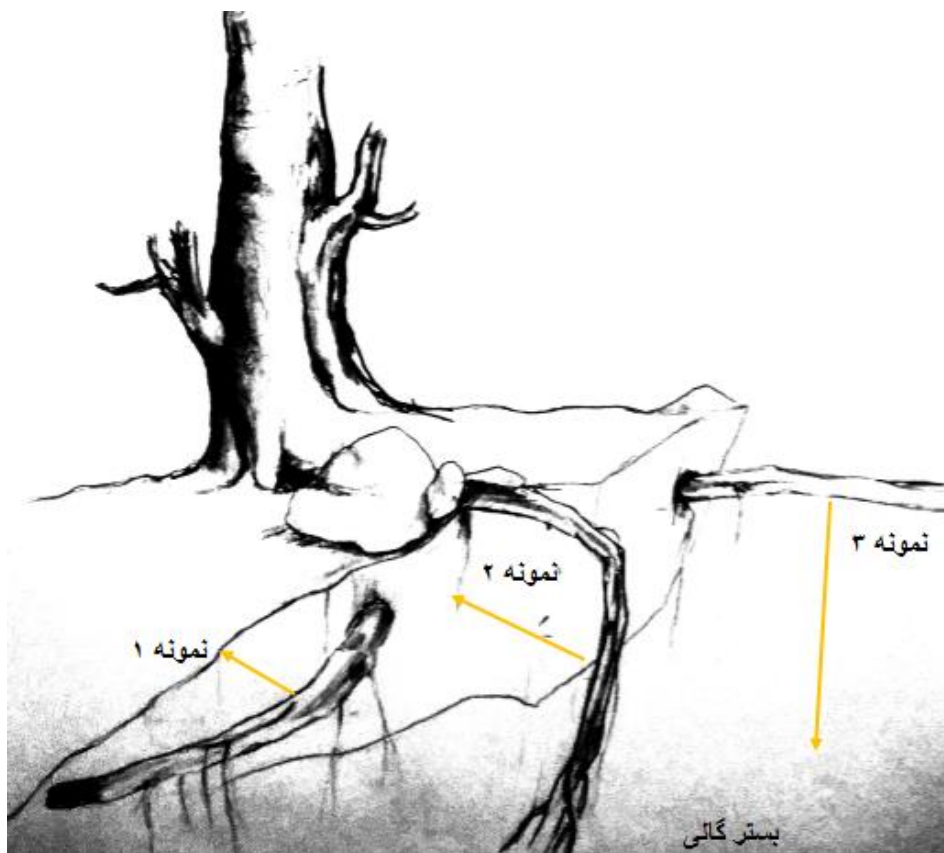
¹ continual
² catastrophic

ریشه در دیواره جانبی گالی و انتهای آن در بستر گالی قرار داشته است (نمونه ۲). در این دو حالت ریشه کمتر از نصف پهنای گالی را دربرمی‌گیرد؛ بنابراین علت عریان‌شدن ریشه، پس‌روی دیواره جانبی گالی است. گاهی ریشه عرض یک گالی را طی می‌کند و یک سر آن در یک دیواره و سر دیگر آن در دیواره مقابل گالی قرار می‌گیرد؛ بنابراین علت عریان‌شدن ریشه، پس‌روی بستر گالی است (Vandekerckhove et al, 2001: 129 (نمونه ۳). لازم به یادآوری است در تمامی این حالات ریشه مقدم بر گالی است و بنابراین پیش‌فرض اول و معادله ۱ مصداق پیدا می‌کند.

براساس پیش‌فرض سوم، نمونه قابل تعیین سن با اندکی تأخیر پس از رویداد فرسایش شکل می‌گیرد (مانند رشد مجموعه‌ای از درختان در بستر گالی). در این حالت سرعت یا میزان فرسایش در نمونه قابل تعیین سن (datable object) Δt_m ، کمتر از دوره زمانی واقعی (Δt_e) برآورد می‌شود؛ بنابراین:

$$\Delta t_e > (\text{datable object}) \Delta t_m \quad \text{معادله ۳}$$

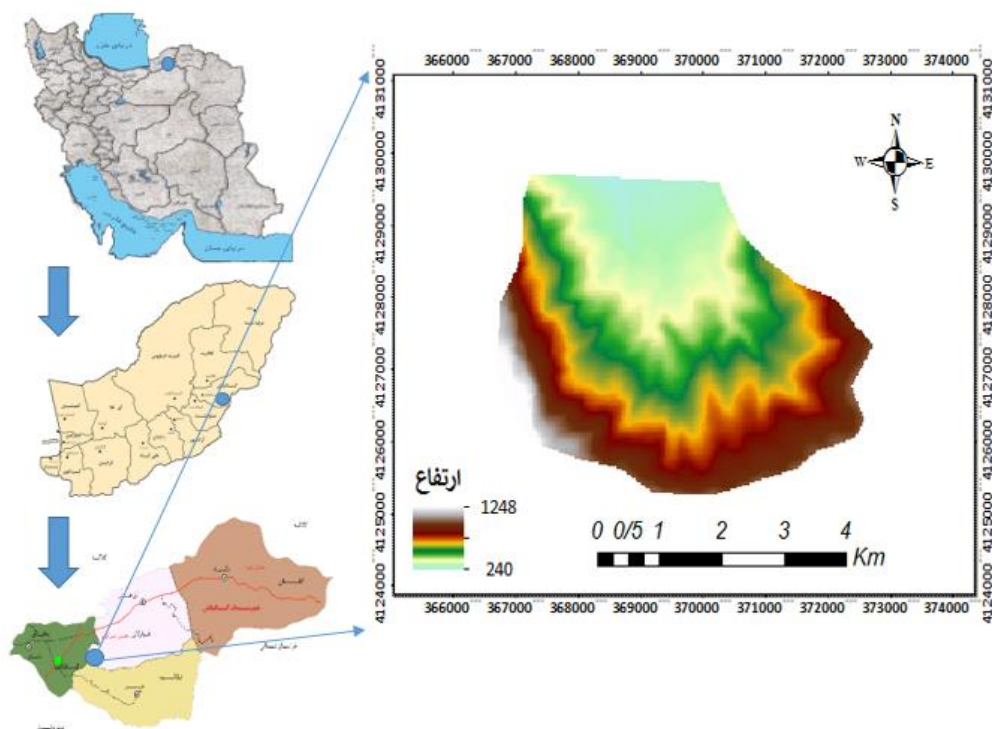
همان‌طور که در شکل (۲) نیز مشخص شده است، برای محاسبه میزان پس‌روی گالی سه حالت وجود دارد؛ در حالت اول ریشه روی یک دیواره جانبی گالی قرار داشته است؛ یعنی فقط یک دیواره گالی تکیه‌گاه دو سر ریشه است (نمونه ۱). در حالت دوم ابتدای



شکل ۲. طرح شماتیک ریشه‌ها روی دیواره کناری و بستر گالی که برگرفته از اشکال ۱ است. در این شکل نوع و جهت پس‌روی گالی با پیکان مشخص شده است.

آن برابر با ۵۸۴/۵ متر از سطح دریاست که با استفاده از معادله گرادیان، میزان متوسط بارندگی سالیانه آن برابر با ۶۹۲/۴۲ میلی‌متر و حجم بارندگی سالیانه برابر با ۹/۷۸ میلیون مترمکعب برآورد شده است که در اسفند با ۶۸/۵ میلی‌متر بارندگی بیشترین و خرداد با ۱۶/۹ میلی‌متر بارندگی کمترین میزان بارندگی ماهانه را دارد. این حوضه در زمستان با ۱۶۸/۱۸ میلی‌متر بیشترین و در تابستان با ۹۹/۶ میلی‌متر بارندگی کمترین میزان بارندگی فصلی را دارد. طبق برآورد، میانگین کمترین درجه حرارت سالیانه برابر با ۸/۶۱، میانگین بیشترین درجه حرارت سالیانه برابر با ۲۲/۰۷ و میانگین ماهانه دما برابر با ۱۶/۷۱ درجه سانتی‌گراد است. در این منطقه بهمن، سردترین و مرداد، گرم‌ترین ماه سال است. نوع اقلیم منطقه به روش دمارتن و آمبرژه به ترتیب به صورت نیمه‌مرطوب و نیمه‌مرطوب معتدل است.

منطقه پژوهش با مساحت ۱۹/۷۵ کیلومتر مربع در شمال کشور و شرق دریاچه خزر با نام حوضه نیل کوه (بخشی از محدوده پارک ملی گلستان) در محدوده شهرستان گالیکش در طول جغرافیایی ۵۵،۴۸۹۵۴۸ درجه تا ۵۵،۵۶۷۶۷۶ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷،۲۶۷۸۳۶ درجه تا ۳۷،۳۱۹۶۴۱ درجه شمالی واقع شده است (شکل ۳) و از سه طرف جنوب، شرق و غرب با کوه‌های البرز شرقی و از ضلع شمالی به جاده ارتباطی شمال - بجنورد - مشهد محصور است. حوضه پژوهش در شهرستان گالیکش، بخش لوه و دهستان قراولان قرار دارد و در آن روستاهای پاسنگ بالا، پاسنگ پایین، سرخن‌آباد و پتکی واقع شده‌اند که براساس سرشماری سال ۱۳۹۰ در مجموع ۲۲۹۶ نفر در آن ساکن هستند که فعالیت بیشتر آنها کشاورزی است. کمترین و بیشترین ارتفاع در حوضه آبخیز نیل کوه به ترتیب ۲۴۰ و ۱۲۴۸ متر است. ارتفاع متوسط وزنی



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش

در حوضه نیل کوه به دلیل عمق خوب خاک و نبود لایه محدودکننده ریشه‌دوانی با محدودیت خاصی مواجه نیست و به دلیل غلبه سازندهای آهکی در زیر و خاک لس در سطح در بیشتر وسعت ناحیه، PH خاک از حد متوسط (۷) بیشتر است که یکی از عوامل مؤثر در تشکیل و توسعه گالی‌ها به شمار می‌رود (کردوانی، ۱۳۷۶: ۱۰۸). گونه‌های درختی مهم حوضه آبخیز نیل کوه عبارت‌اند از: ممرز، بلوط، توسکا، افرا، انجیلی، خرمالوی وحشی، ون یا زبان‌گنجشک^۱. مهم‌ترین کاربری زمین‌های حوضه به‌صورت جنگل و زمین‌های کشاورزی دیم و آبی است.

تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش

تکنیک دندروژئومورفولوژیک بر این اصل کلی استوار است که تا زمانی که ریشه در درون خاک قرار دارد، حلقه‌های رشد سالیانه آن به‌صورت دایره‌ای یا متحدالمرکز است؛ اما پس از اینکه فرایند فرسایش موجب رخنمون ریشه شود، ادامه رشد حلقه‌ها از حالت قبلی خارج و به‌صورت غیردایره‌ای یا مختلف‌المرکز ظاهر می‌شود؛ در این صورت تعیین محل دقیق این تغییر در مجموعه حلقه‌های درختی موجب تعیین لحظه عریان‌شدن ریشه می‌شود که اهمیت زیادی بر نتایج حاصله خواهد داشت. پدیده عریان‌شدن تدریجی ریشه به فرایندهای آهسته محیطی چون خزش، جریان سطحی بارش و فرسایش وابسته است که در تعیین میزان دقیق فرسایش مؤثرند (Stoffel and Bollschweiler, 2008: 193).

از نظر زمین‌شناسی، منطقه پژوهش جزئی از زون البرز شرقی و کپه‌داغ به حساب می‌آید (درویش‌زاده و محمدی، ۱۳۸۶: ۷۱) که ویژگی‌های چینه‌شناسی و تکتونیکی آن عبارت‌اند از: سازند لار (JL) که از سنگ آهک، آهک‌های دولومیتی و دولومیت قهوه‌ای روشن شکل گرفته است؛ این سازند در جنوب حوضه واقع شده است و ۱۷۶ هکتار مساحت دارد و ۸/۹۱ درصد حوضه را تشکیل می‌دهد (جدول ۱)؛ سازند خوش‌بیلاق (Dkh) از سنگ آهک رسی فسیل‌دار زردرنگ شکل گرفته است؛ این سازند ۱۰۷۶ هکتار مساحت دارد و ۵۴/۴۸ درصد مساحت حوضه را دربرمی‌گیرد. سنگ آهک دولومیتی (JMZ) که با مساحت ۵۴۲ هکتار غرب حوضه را دربرگرفته است، ۲۷/۴۴ درصد از مساحت حوضه را می‌پوشاند. پرتگاه دیواره جانبی گسلی در سطح این سازند و سازند خوش‌بیلاق به‌راحتی دیده می‌شود. رسوبات لسی سست و منفصل دشت‌های آبرفتی و پادگانه‌های جوان کواترنر (Qm) از فرسایش ارتفاعات بالادست شکل گرفته و نقاط پست و کم‌ارتفاع شمال حوضه را دربرگرفته است. مساحت این بخش از حوضه ۱۸۱ هکتار (۹/۱۶ درصد کل حوضه) است.

جدول ۱. واحدهای زمین‌شناسی حوضه آبخیز نیل کوه

نام واحد	علامت اختصاری	مساحت (هکتار)	درصد
رسوبات عهد حاضر	Qm	۱۷۸	۹/۳۴
سنگ آهک (سازند لار)	JL	۱۵۰	۷/۸۷
سنگ آهک و مارن	Dkh	۱۰۵۹	۵۵/۵۶
سنگ آهک دولومیتی (سازند مزدوران)	Jmz	۵۱۹	۲۷/۲۲

¹ Ash

نمونه‌های ۳۶ تا ۵۰ مربوط به فرسایش بستر گالی است. بررسی حاضر نشان می‌دهد تعداد ۹ مورد از نمونه‌ها در واحد مورفولوژیک کوهستان و ۴۱ مورد از نمونه‌ها نیز در واحد مورفولوژیک کوهپایه قرار دارد.

جدول (۲) مختصات جغرافیایی، نوع سازند، مقدار و جهت شیب دامنه و واحد مورفولوژیک نمونه‌های برداشت شده را نشان می‌دهد که در ترکیب با داده‌های مندرج در جدول (۳) تجزیه و تحلیل شده است. نمونه‌های ۱ تا ۳۵ مربوط به فرسایش کناری و

جدول ۲. مختصات جغرافیایی، ارتفاع، نوع سازند، جهت و میزان شیب و واحدهای مورفولوژیک نمونه‌های برداشت شده

ردیف	نوع درخت	مختصات <i>u.t.m</i>	ارتفاع	نوع سازند	جهت دامنه	شیب	واحد مورفولوژی
۱	انجیلی	۰۳۷۱۷۴۹ ۴۱۳۱۲۱۷	۳۰۵	JMZ	شمال شرق	۹	پایکوه
۲	توسکا	۰۳۷۱۷۱۹ ۴۱۳۱۰۵۵	۴۱۱	JMZ	شمال	۲۰	پایکوه
۳	بلوط	۰۳۶۸۷۰۶ ۴۱۲۷۵۲۱	۴۴۰	DKH	شمال شرق	۸	پایکوه
۴	انجیلی	۰۳۶۸۴۰۳ ۴۱۲۷۴۲۹	۴۶۰	DKH	شمال شرق	۱۸	کوه
۵	انجیلی	۰۳۶۸۹۵۳ ۴۱۲۷۱۱۹	۴۶۲	DKH	شمال شرق	۱۷	پایکوه
۶	ممرز	۰۳۶۸۴۸۴ ۴۱۲۷۱۰۷	۴۸۷	JMZ	شمال	۱۶	کوه
۷	بلوط	۰۳۶۸۴۷۹ ۴۱۲۷۰۹۷	۵۰۰	JMZ	شمال	۲۳	کوه
۸	ممرز	۰۳۶۸۲۹۶ ۴۱۲۶۸۱۹	۵۷۸	JMZ	شمال	۲۹	کوه
۹	توسکا	۰۳۶۹۱۲۳ ۴۱۲۷۰۰۷	۴۳۳	DKH	شمال	۱۷	پایکوه
۱۰	انجیلی	۰۳۶۱۰۰۸ ۴۱۲۵۶۱۴	۳۲۲	DKH	شمال غرب	۵	پایکوه
۱۱	انجیلی	۰۳۶۹۲۴۹ ۴۱۲۷۱۳۲	۴۱۸	DKH	شمال غرب	۱۷	پایکوه
۱۲	ممرز	۰۳۶۱۰۲۸ ۴۱۲۵۶۱۹	۵۴۱	DKH	شمال غرب	۴۱	پایکوه
۱۳	ممرز	۰۳۶۱۰۲۸ ۴۱۲۵۶۱۹	۵۴۱	DKH	شمال غرب	۴۱	پایکوه
۱۴	ممرز	۰۳۶۱۰۰۵ ۴۱۲۵۶۱۲	۴۸۵	DKH	شمال غرب	۲۲	پایکوه

ردیف	نوع درخت	مختصات <i>u.t.m</i>	ارتفاع	نوع سازند	جهت دامنه	شیب	واحد مورفولوژی
۱۵	ولیک	۰۳۶۱۰۱۱ ۴۱۲۵۶۱۱	۴۸۴	DKH	شمال غرب	۲۸	پایکوه
۱۶	ولیک	۰۳۶۱۰۱۸ ۴۱۲۵۶۱۰	۴۸۶	DKH	شمال غرب	۳۰	پایکوه
۱۷	ولیک	۰۳۶۱۰۰۲ ۴۱۲۵۶۰۴	۴۸۱	DKH	شمال غرب	۳۴	پایکوه
۱۸	انجیلی	۰۳۶۱۰۰۴ ۴۱۲۵۶۱۶	۳۸۵	JMZ	غرب	۱۳	پایکوه
۱۹	ممرز	۰۳۶۹۳۷۰ ۴۱۲۷۲۲۳	۳۹۵	JMZ	غرب	۱۹	پایکوه
۲۰	ممرز	۰۳۶۹۳۷۰ ۴۱۲۷۲۲۳	۳۹۵	JMZ	غرب	۱۹	پایکوه
۲۱	خرمالو	۰۳۶۹۳۹۰ ۴۱۲۷۱۶۲	۴۰۳	DKH	شمال غرب	۱۷	پایکوه
۲۲	انجیلی	۰۳۶۹۴۰۵ ۴۱۲۷۰۸۵	۴۰۸	DKH	شمال غرب	۱۷	پایکوه
۲۳	انجیلی	۰۳۶۰۹۹۱ ۴۱۲۵۶۳۷	۳۴۹	DKH	شمال غرب	۷	پایکوه
۲۴	انجیلی	۰۳۶۰۹۹۱ ۴۱۲۵۶۳۷	۳۴۵	DKH	شرق	۵	کوه
۲۵	ممرز	۰۳۶۰۹۹۱ ۴۱۲۵۶۳۷	۳۲۱	DKH	شرق	۴	پایکوه
۲۶	انجیلی	۰۳۶۰۹۹۱ ۴۱۲۵۶۳۷	۳۲۹	DKH	شرق	۵	پایکوه
۲۷	انجیلی	۰۳۶۰۹۹۱ ۴۱۲۵۶۳۷	۳۵۴	DKH	شرق	۶	پایکوه
۲۸	انجیلی	۰۳۶۸۹۳۵ ۴۱۲۶۸۴۶	۴۹۲	JMZ	شمال شرق	۱۷	پایکوه
۲۹	ممرز	۰۳۶۸۶۱۸ ۴۱۲۷۷۲۹	۳۸۷	DKH	شمال شرق	۲۲	پایکوه
۳۰	افرا	۰۳۶۱۰۰۵ ۴۱۲۵۶۰۸	۴۱۶	DKH	شمال غرب	۱۴	کوه
۳۱	افرا	۰۳۶۱۰۰۵ ۴۱۲۵۶۰۸	۳۹۹	JMZ	شمال غرب	۱۵	کوه
۳۲	افرا	۰۳۶۱۰۰۵ ۴۱۲۵۶۰۸	۳۹۹	JMZ	شمال غرب	۱۵	پایکوه

ردیف	نوع درخت	مختصات <i>u.t.m</i>	ارتفاع	نوع سازند	جهت دامنه	شیب	واحد مورفولوژی
۳۳	بلوط	۰۳۶۱۰۰۵ ۴۱۲۵۶۰۸	۳۸۴	JMZ	شمال غرب	۱۴	پایکوه
۳۴	انجیلی	۰۳۶۱۰۰۵ ۴۱۲۵۶۰۸	۳۶۲	JMZ	شمال غرب	۱۳	پایکوه
۳۵	ممرز	۰۳۶۱۰۰۵ ۴۱۲۵۶۰۸	۳۶۴	JMZ	شمال غرب	۱۰	پایکوه
۳۶	بلوط	۰۳۶۸۱۳۶ ۴۱۲۸۱۳۳	۳۴۰	JMZ	شمال شرق	۱۱	کوه
۳۷	ممرز	۰۳۶۸۱۷۶۰ ۴۱۲۷۶۱۴	۴۱۱	JMZ	شمال	۱۷	پایکوه
۳۸	انجیلی	۰۳۶۹۱۸۰ ۴۱۲۷۱۲۷	۴۰۹	DKH	شمال غرب	۱۰	پایکوه
۳۹	بلوط	۰۳۶۹۵۳۸ ۴۱۲۷۰۴۳	۴۲۱	DKH	شمال غرب	۲۲	پایکوه
۴۰	بلوط	۰۳۶۹۵۱۱ ۴۱۲۷۰۲۸	۴۱۷	DKH	شمال غرب	۱۳	پایکوه
۴۱	بلوط	۰۳۶۹۶۲۵ ۴۱۲۷۶۱۳	۳۴۸	DKH	غرب	۵	پایکوه
۴۲	بلوط	۰۳۶۹۶۲۵ ۴۱۲۷۶۱۳	۳۴۸	DKH	غرب	۵	پایکوه
۴۳	بلوط	۰۳۶۹۶۲۵ ۴۱۲۷۶۱۳	۳۴۸	DKH	غرب	۵	پایکوه
۴۴	انجیلی	۰۳۶۹۸۹۷ ۴۱۲۷۰۵۴	۵۰۴	DKH	شمال غرب	۱۸	پایکوه
۴۵	ممرز	۰۳۶۹۳۶۹ ۴۱۲۷۲۳۵	۳۹۷	JMZ	شمال غرب	۱۲	پایکوه
۴۶	ممرز	۰۳۶۹۳۶۹ ۴۱۲۷۲۳۵	۳۹۷	JMZ	شمال غرب	۱۲	پایکوه
۴۷	ممرز	۰۳۶۹۳۵۲ ۴۱۲۷۲۷۱	۳۹۴	JMZ	شمال غرب	۶	پایکوه
۴۸	ممرز	۰۳۶۹۳۹۵ ۴۱۲۷۱۸۰	۴۰۰	DKH	شمال غرب	۱۱	پایکوه
۴۹	ممرز	۰۳۶۹۴۳۸ ۴۱۲۷۰۶۵	۴۰۷	DKH	شمال غرب	۱۴	پایکوه
۵۰	ممرز	۰۳۶۸۶۴۱ ۴۱۲۷۳۹۷	۴۱۱	DKH	شمال غرب	۱۵	کوه

مقدار شیب به ترتیب ۴۱ و ۴ درصد است. بیشترین و کمترین ارتفاع موجود در نمونه‌های به‌دست‌آمده برابر با ۵۷۸ و ۳۰۵ متر بالاتر از سطح دریاست. بیشترین میزان پس‌روی سالیانه دیواره جانبی گالی ۰/۱۷۵ متر و کمترین میزان پس‌روی ۰/۰۱۶ متر است؛ میانگین میزان پس‌روی جانبی برابر با ۰/۰۵۳ متر است.

بر این اساس، نتایج بررسی نمونه‌های تعیین‌شده مندرج در جدول (۲) برای بررسی و مقایسه به تفکیک در دو جدول جداگانه ارائه شده است. جدول (۳) میزان پس‌روی جانبی گالی و جدول (۴) میزان افت بستر زیرین گالی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول (۳) ارائه شده است، بیشترین و کمترین

جدول ۳. نمونه‌های برداشتی مربوط به فرسایش جانبی گالی

ردیف	نوع درخت	سن نمونه (سال)	میزان پس‌روی کل دیواره (m)	میزان پس‌روی سالیانه (m/y)
۱	انجیلی	۳	۰/۴۵	۰/۱۵۰
۲	توسکا	۳	۰/۲۸	۰/۰۹۰
۳	بلوط	۵	۰/۲۲	۰/۰۴۴
۴	انجیلی	۶	۰/۱۰	۰/۰۱۶
۵	انجیلی	۵	۰/۱۳	۰/۰۲۶
۶	ممرز	۴	۰/۲۵	۰/۰۶۲
۷	بلوط	۶	۰/۱۲	۰/۰۲۰
۸	ممرز	۶	۰/۱۲	۰/۰۲۰
۹	توسکا	۶	۰/۳۴	۰/۰۵۶
۱۰	انجیلی	۵	۰/۳۵	۰/۰۷۰
۱۱	انجیلی	۹	۰/۲۸	۰/۰۳۱
۱۲	ممرز	۱۰	۰/۲۰	۰/۰۲۰
۱۳	ممرز	۸	۰/۳۰	۰/۰۳۷
۱۴	ممرز	۷	۰/۲۳	۰/۰۳۲
۱۵	ولیک	۹	۰/۳۰	۰/۰۳۳
۱۶	ولیک	۷	۰/۲۶	۰/۰۳۷
۱۷	ولیک	۶	۰/۳۰	۰/۰۵۰
۱۸	انجیلی	۹	۰/۴۵	۰/۰۵۰
۱۹	ممرز	۱۱	۰/۶۰	۰/۰۵۴
۲۰	ممرز	۸	۰/۳۰	۰/۰۳۷
۲۱	خرمالو	۵	۰/۳۰	۰/۰۶۰
۲۲	انجیلی	۵	۰/۳۲	۰/۰۶۴
۲۳	انجیلی	۱۲	۰/۲۲	۰/۰۱۸
۲۴	انجیلی	۴	۰/۷۰	۰/۱۷۵
۲۵	ممرز	۹	۰/۷۵	۰/۰۸۳
۲۶	انجیلی	۱۰	۰/۴۳	۰/۰۴۳
۲۷	انجیلی	۴	۰/۲۵	۰/۰۶۲
۲۸	انجیلی	۹	۰/۲۴	۰/۰۲۶

ردیف	نوع درخت	سن نمونه (سال)	میزان پس‌روی کل دیواره (m)	میزان پس‌روی سالیانه (m/y)
۲۹	ممرز	۱۴	۰/۵۵	۰/۰۳۹
۳۰	افرا	۵	۰/۳۰	۰/۰۶۰
۳۱	افرا	۳	۰/۲۰	۰/۰۶۶
۳۲	افرا	۴	۰/۱۸	۰/۰۴۵
۳۳	بلوط	۴	۰/۲۵	۰/۰۶۲
۳۴	انجیلی	۴	۰/۲۸	۰/۰۷۰
۳۵	ممرز	۵	۰/۲۵	۰/۰۵۰
۱/۸۵۸	کل	-	۹/۲۴	
۰/۰۵۳	میانگین	-	۰/۲۶۴	

میزان فرسایش بستر ۰/۳ و کمترین میزان فرسایش بستر سالیانه ۰/۰۶ متر است؛ میانگین میزان فرسایش بستر سالیانه برابر با ۰/۱۰۷ متر است.

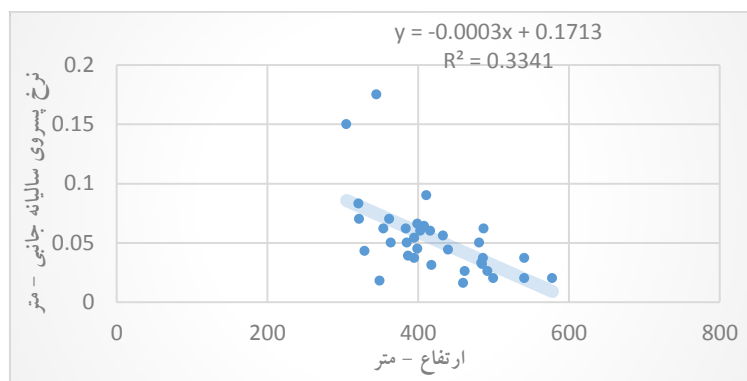
براساس نتایج به‌دست‌آمده ارائه‌شده در جدول (۴)، بیشترین و کمترین مقدار شیب به ترتیب برابر با ۲۲ و ۵ درصد است. بیشترین و کمترین ارتفاع نمونه‌برداری‌ها برابر با ۵۰۴ و ۳۴۰ متر است. بیشترین

جدول ۴. نمونه‌های برداشتی مربوط به فرسایش بستر گالی

ردیف	نوع درخت	سن نمونه	میزان فرسایش کل (m)	میزان فرسایش سالیانه (m/y)
۱	بلوط	۳	۰/۱۵	۰/۰۵
۲	ممرز	۴	۰/۲۵	۰/۰۶
۳	انجیلی	۶	۰/۶۴	۰/۱۰
۴	بلوط	۶	۱/۴۰	۰/۲۳
۵	بلوط	۵	۰/۵۵	۰/۱۱
۶	بلوط	۳	۰/۲۰	۰/۰۶
۷	بلوط	۴	۰/۲۵	۰/۰۶
۸	بلوط	۳	۰/۲۰	۰/۰۶
۹	انجیلی	۶	۱/۸۵	۰/۳۰
۱۰	ممرز	۴	۰/۵۰	۰/۱۲
۱۱	ممرز	۵	۰/۵۵	۰/۱۱
۱۲	ممرز	۶	۰/۶۰	۰/۱۰
۱۳	ممرز	۷	۰/۵۰	۰/۰۷
۱۴	ممرز	۵	۰/۶۰	۰/۱۲
۱۵	ممرز	۸	۰/۵۰	۰/۰۶
۱/۶۱	کل	-	۸/۷۴	
۰/۱۰۷	میانگین	-	۰/۵۸۲	

دیواره جانبی رابطه معناداری دارد و برابر با $0/3341$ است. براساس معادله خطی درجه اول که در شکل زیر نشان داده شده است، به ازای افزایش هر ۱۰۰ متر ارتفاع مقدار فرسایش جانبی به اندازه $0/030$ متر کاهش می‌یابد. براساس شکل زیر، دامنه ارتفاعی مقاطع نمونه برداری شده در محدوده ارتفاعی $305-578$ متر است.

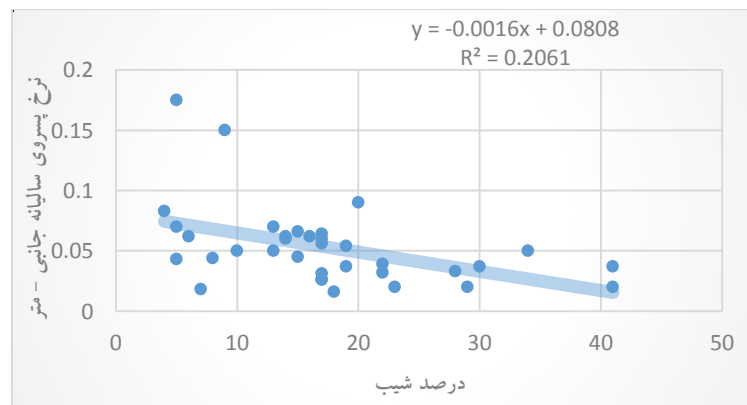
در این پژوهش ارتباط بین میزان فرسایش کناری و بستر گالی با درصد شیب، ارتفاع و سازندهای زمین‌شناسی بررسی شده است. شکل (۴) رابطه بین ارتفاع و میزان فرسایش سالیانه دیواره جانبی را برای مقاطع جدول (۳) نشان می‌دهد که شامل ۳۵ نمونه است. همان‌گونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، ضریب همبستگی بین ارتفاع و میزان فرسایش



شکل ۴. نمودار خطی بین میزان فرسایش سالیانه جانبی گالی و ارتفاع

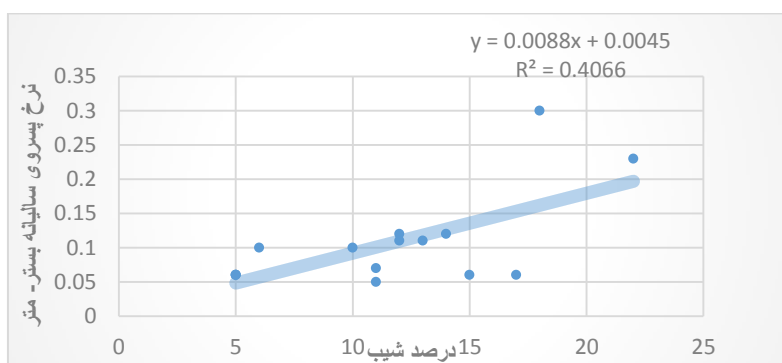
براساس معادله خطی درجه اول که در شکل زیر نشان داده شده است، به ازای افزایش هر یک درصد شیب، مقدار فرسایش جانبی به اندازه $0/0016$ متر کاهش می‌یابد. براساس شکل زیر، کمترین و بیشترین شیب مقاطع نمونه برداری شده به ترتیب ۴ و ۴۱ درصد است.

شکل (۵) رابطه بین شیب و میزان فرسایش سالیانه دیواره جانبی گالی را برای مقاطع جدول (۳) نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۵) نشان داده شده است، ضریب همبستگی بین درصد شیب و میزان فرسایش دیواره جانبی گالی برابر با $0/2061$ است.



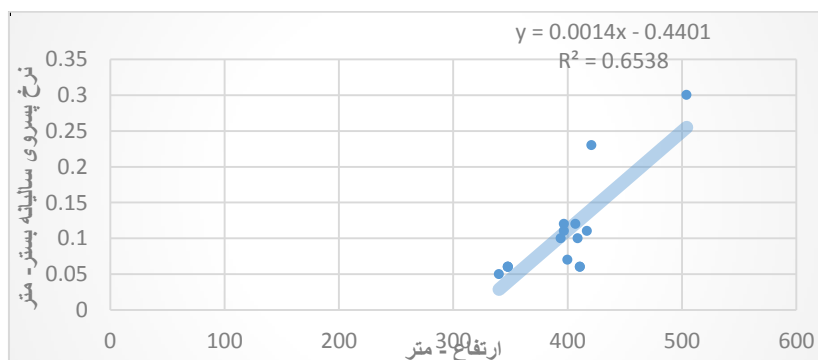
شکل ۵. نمودار خطی بین میزان فرسایش سالیانه جانبی گالی و شیب

و برابر با ۰/۴۰۶۶ است. براساس معادله خطی درجه اول که در شکل زیر نشان داده شده است، بین شیب و فرسایش زیرین ارتباط مستقیم وجود دارد و به ازای افزایش هر یک درصد افزایش شیب، مقدار فرسایش بستر به اندازه ۰/۰۰۸۸ متر افزایش می‌یابد. براساس شکل زیر، کمترین و بیشترین شیب در نمونه‌ها برابر با ۵ و ۲۲ درصد است.



شکل ۶. نمودار خطی بین میزان فرسایش سالیانه بستر گالی و شیب

براساس معادله خطی که در شکل زیر نشان داده شده است، به ازای افزایش هر ۱۰۰ متر ارتفاع مقدار فرسایش بستر به اندازه ۰/۱۴ متر افزایش می‌یابد. شکل زیر، دامنه ارتفاعی مقاطع نمونه برداری شده در محدوده ارتفاعی ۳۴۰-۵۰۴ متر را نشان می‌دهد.



شکل ۷. نمودار خطی بین میزان فرسایش سالیانه بستر گالی و ارتفاع

سو و مقدار شیب و ارتفاع از سوی دیگر رابطه مستقیم وجود دارد.

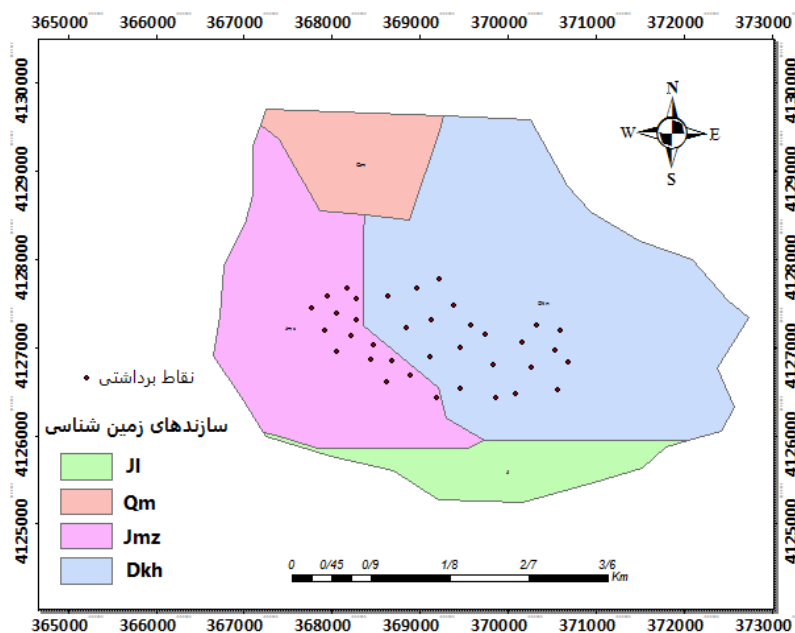
همان‌طور که در اشکال (۴) و (۵) نشان داده شده است، بین میزان فرسایش جانبی از یک سو و مقدار شیب و ارتفاع از سوی دیگر رابطه معکوس برقرار است. شکل (۶) رابطه بین شیب و میزان فرسایش سالیانه بستر گالی را برای مقاطع جدول (۴) نشان می‌دهد که شامل ۱۵ نمونه است. بر این اساس ضریب همبستگی بین شیب و میزان فرسایش بستر رابطه معناداری دارد

شکل (۷) رابطه بین ارتفاع و میزان فرسایش سالیانه بستر را برای مقاطع جدول (۴) نشان می‌دهد که شامل ۱۵ نمونه است. همان‌گونه که در شکل (۷) نشان داده شده است، ضریب همبستگی بین ارتفاع و میزان فرسایش بستر گالی برابر با ۰/۶۵۳۸ است.

بنابراین همان‌طور که در اشکال (۶) و (۷) نشان داده شده است، بین میزان فرسایش بستر گالی از یک

دولومیتی دارد، برابر با $0/057$ متر و در سازند خوش‌بیلاق (Dkh) که ترکیبی از آهک و مارن است، برابر با $0/050$ متر است و میزان فرسایش بستر در سازند مزدوران برابر با $0/088$ متر و در سازند خوش‌بیلاق برابر با $0/117$ متر است. بررسی میانگین میزان فرسایش دیواره جانبی و زیرین گالی به صورت توأمان در این دو سازند نشان می‌دهد فرسایش سالیانه در سازند خوش‌بیلاق برابر با $0/0835$ متر بیشتر از سازند مزدوران برابر با $0/0725$ متر است. علت فرسایش بیشتر در سازند خوش‌بیلاق را باید در ترکیب شیمیایی عناصر سازنده آن و نیز سختی کمتر آن نسبت به سازند مزدوران جست‌وجو کرد. بر این اساس وجود عنصر منیزیم (mg) در ترکیب دولومیتی سازند مزدوران موجب افزایش مقاومت آن در برابر عوامل فرساینده شده است. سختی آهک در مقیاس موس برابر با ۳ و سختی دولومیت در مقیاس موس برابر با ۴-۳/۵ است (صداقت، ۱۳۸۹: ۴۴). شکل (۸) سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبخیز و پراکندگی نمونه‌های مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.

بر اساس نظر متخصصان هیدرولوژی، نیم‌رخ طولی آبراهه‌ها و گالی‌ها به صورت مقعر است و شیب آن به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد (کک، ۱۳۷۳: ۲۰۷) تا به حالت تعادل برسد. بر این اساس، در بالادست پدیده حفر زیرین و در پایین‌دست پدیده پس‌روی دیواره کناری غلبه دارد. در نتیجه نیم‌رخ عرضی گالی در بالادست V شکل و در پایین‌دست U شکل است. از طرفی می‌دانیم فرسایش کل گالی معمولاً به صورت خطی و پیوسته نیست؛ بلکه مراحل رشد ابتدایی، تثبیت و تکامل را طی دهه‌ها به‌طور نامنظم می‌گذراند (Ballesteros- Canovas et al, 2013: 113)؛ بنابراین اندازه و شکل گالی نشان‌دهنده مراحل تکاملی یک گالی است. اگر اندازه گالی کوچک و شکل آن V باشد، گالی در مراحل رشد اولیه قرار دارد و حالت ناپایداری شدیدتری در آن دیده می‌شود و فرسایش در آن با سرعت بیشتری در جریان است. بررسی جداول (۳) و (۴) نشان می‌دهد میزان فرسایش کناری در سازند مزدوران (Jmz) که ترکیب



شکل ۸. موقعیت نقاط برداشت شده نسبت به سازندهای زمین‌شناسی

بررسی این پژوهش نشان می‌دهد بیشترین نمونه‌های برداشتی در جهت شمال غرب با تعداد ۲۷ نمونه است و سایر نمونه‌ها در جهات دیگر بین ۴-۷ مورد است. جدول (۵) میزان فرسایش سالیانه جهات دامنه‌ای را به تفکیک فرسایش جانبی و زیرین نشان می‌دهد.

جدول ۵. میزان فرسایش سالیانه براساس جهت دامنه و نوع پسر روی

پارامتر	جهت دامنه									
	شمال شرق		شمال		شمال غرب		غرب		شرق	
نوع پسر روی	جانبی	بستر	جانبی	بستر	جانبی	بستر	جانبی	بستر	جانبی	بستر
تعداد نمونه	۶	۱	۵	۱	۱۷	۱۰	۳	۳	۴	-
میزان فرسایش	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴۹	۰/۰۶	۰/۰۴۷	۰/۱۳۸	۰/۰۱۵	۰/۰۶	۰/۰۹	-

می‌کند. این تکنیک داده‌های گذشته ژئومورفیک را طی دهه‌ها و حتی سده‌ها ثبت می‌کند که براساس آن اطلاعات ارزشمندی درباره پیش‌بینی، کاهش و دفاع در مقابل مخاطرات طبیعی فراهم می‌آید (Stoffel and Bollschweiler, 2010: 2355).

در پژوهش حاضر برای نخستین بار در کشور میزان فرسایش دیواره جانبی و بستر گالی در بازه زمانی ۹۴-۱۳۹۲ در حوضه آبخیز کوچک نیل کوه (۱۹/۷۵ کیلومترمربع) با استفاده از ۵۰ نمونه درختان پهن‌برگ شمال کشور برآورد شده است. انتخاب حوضه کوچک به این دلیل است که در فضای برنامه‌ریزی بیشتر به آن توجه شود. به بیانی، اعتبار مفهوم «کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی»، بیشتر در گرو مطالعه پدیده‌های ژئومورفیک در واحدهای فضایی با مقیاس کوچک است (معتد و مقیمی، ۱۳۷۸: ۶۳). از طرفی، میزان فرسایش طولانی‌مدت بیشتر در حوضه‌های بزرگ بررسی می‌شود؛ در صورتی که در حوضه‌های کوچک، مقیاس زمانی متوسط کارایی بیشتری دارد (Stoffel, 2013: 22).

براساس جدول بالا، بیشترین و کمترین میزان فرسایش جانبی به ترتیب در جهت شرق و غرب و بیشترین و کمترین میزان فرسایش بستر نیز به ترتیب در جهت شمال غرب و شمال شرق است. البته اظهار نظر درباره تأثیر بعضی جهات به دلیل نبود نمونه و نیز اندک بودن نمونه‌ها، نتیجه درستی به دنبال نخواهد داشت. بر این اساس، میانگین فرسایش بستر و جانبی در جهات شمال شرق، شمال، شمال غرب، غرب و شرق به ترتیب برابر با ۰/۰۵۱، ۰/۰۵۱، ۰/۰۷۸، ۰/۰۵۳ و ۰/۰۹ متر در سال است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نظر کارشناسان اکولوژی کشور که میزان تخریب جنگل در کشور را بسیار زیاد و میانگین فرسایش سالیانه خاک را ۳۳ تن در هکتار می‌دانند (مخدوم، ۱۳۹۰: ۱۲)، لزوم توجه به روش‌های علمی جدید برای شناسایی عوامل فرسایش و راههای پیشگیری از آن ضروری می‌نماید. تجزیه و تحلیل دندروژئومورفولوژیک به منزله روشی نو به تشخیص مناطق متأثر از انواع فرایندهای مورفولوژیک کمک

در بعضی نمونه‌ها به علت واضح نبودن به‌سختی صورت می‌گیرد. نکته دیگری که در ارتباط با این روش باید به آن توجه کرد اینکه این تکنیک فقط مقدار فرسایش را در بالادست گالی در اختیار قرار می‌دهد و براساس نتایج حاصل از آن، امکان برآورد مقدار فرسایش در پایین‌دست گالی وجود ندارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد نیمرخ عرضی گالی در بالادست V شکل و در پایین‌دست U شکل است. این مسئله نشان می‌دهد میزان فرسایش جانبی گالی در پایین‌دست و میزان فرسایش زیرین در بالادست غلبه دارد.

از سویی در گالی‌هایی که تفاوت‌هایی از نظر جنس، مقدار و جهت شیب دیواره‌ای دارند، سرعت فرسایش متفاوت است و کاربرد این تکنیک در برآورد فرسایش باید با احتیاط لازم و با توجه به این تفاوت‌ها صورت گیرد تا در دام روش‌های کلاسیک برآورد میزان فرسایش گرفتار نشویم. چنانچه در شکل (۸) نشان داده شده است، یکی از نکات جالب توجه در بررسی فرایندهای محیطی با این تکنیک، توزیع فضایی غیرهمگن نقاط نمونه‌برداری شده است که تعمیم آن را با احتیاط لازم همراه می‌سازد.

به‌طورکلی با وجود بعضی محدودیت‌ها، امروزه این تکنیک جایگزین مناسبی در مطالعه تغییرات محیطی به‌ویژه در مناطقی است که روش‌های مرسوم اندازه‌گیری فرسایش را ندارند. دقت زیاد در تخمین مقدار فرسایش خاک یا تولید رسوب، از جمله امتیازات این روش نسبت به روش‌های دیگر برآورد فرسایش است (Ballesteros-Canovas et al, 2013: 114) که با تعداد نمونه در واحد سطح نیز رابطه مستقیم و تنگاتنگی دارد.

براساس یافته‌ها رابطه میزان فرسایش خندقی و ارتفاع نشان می‌دهد در ارتفاعات کمتر از ۳۰۰ و بیشتر از ۶۰۰ متر نمونه‌ای دیده نشده است. به این دلیل که در ارتفاعات کم، تغییر کاربری جنگل و تبدیل آن به زمین‌های کشاورزی عملاً کاربرد این تکنیک را غیرممکن می‌سازد؛ ولی ثبت نشدن نمونه در ارتفاعات بیش از ۶۰۰ متر به دلیل غلبه فرسایش ورقه‌ای و توسعه نیافتن فرسایش شیاری و تشکیل گالی است.

براساس نتایج به‌دست آمده، میانگین میزان فرسایش سالیانه دیواره جانبی گالی برابر با ۰/۰۵۳ متر و میانگین میزان فرسایش بستر برابر با ۰/۱۰۷ متر است. با وجود تأثیر عوامل گوناگونی همچون توپوگرافی، جهت شیب دامنه و لیتولوژی، رابطه معناداری بین ارتفاع و شیب از یک سو و میزان فرسایش جانبی و بستر گالی از سوی دیگر وجود دارد. بر این اساس، میزان فرسایش سالیانه دیواره جانبی گالی با شیب و ارتفاع رابطه معکوس و میزان فرسایش بستر گالی با شیب و ارتفاع ارتباط مستقیم دارد. انطباق مقدار فرسایش کل با لیتولوژی حوضه نشان از این واقعیت دارد که بین مقاومت سازندها و میزان فرسایش حوضه نیز ارتباط معناداری وجود دارد که براساس آن با افزایش مقاومت سازنده مقدار فرسایش کاهش می‌یابد؛ بنابراین میزان فرسایش در سازنده دولومیتی مزدوران کمتر از سازنده آهکی خوش‌بیلاق است.

از آنجا که تحلیل فرایندهای ژئومورفیک از طریق بررسی رشد بی‌قاعده حلقه درختی انجام می‌شود، بررسی این تغییرات یکی از چالش‌های پیش روی این روش است؛ بدین‌صورت که تمیز حلقه دایره‌ای از غیردایره‌ای، یکی از ارکان اصلی این تکنیک است که

منابع

- بهرامی، شهرام، محبوبی، فاطمه، سدیدی، جواد و جعفری اقدم، مریم، (۱۳۹۰). برآورد میزان فرسایش ورقه‌ای با استفاده از تحلیل دندروژئومورفولوژیک ریشه‌های درخت در حوضه قره‌چای (رامیان)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۳، شماره ۷۵، ۱۱۳-۱۳۰.
- حسین‌زاده، سید رضا و جهادی طرقي، مهناز، (۱۳۹۱). بازسازی سیلاب‌های قدیمی رودخانه سه هزار با استفاده از دندروژئومورفولوژی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱، شماره ۲، ۲۹-۵۳.
- خزاعیان، ابوالقاسم، یغمایی، فرهاد و طبرسا، تقی، (۱۳۸۸). بررسی مقاومت خمشی و فشاری چوب پالونیای (*paulownia fortunei*) کشت‌شده در منطقه گرگان، مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، دوره ۱۶، شماره ۳، ۱-۱۲.
- درویش‌زاده، علی و محمدی، مهین، (۱۳۸۶). زمین‌شناسی ایران، تک‌جلد، چاپ ۵، تهران، انتشارات پیام نور، ۲۵۷ صفحه.
- صداقت، محمود، (۱۳۸۹). زمین‌شناسی برای جغرافیا، تک‌جلد، چاپ ۱۲، تهران، انتشارات پیام نور، ۲۲۵ صفحه.
- صفدری، وحیدرضا، اسکینی، نیما، تاج‌دینی، آژنگ و بایرام‌زاده، ویلما، (۱۳۹۱). اثر فرسایش خاک بر ویژگی‌های آناتومیکی چوب و پوست ریشه درخت ارس (*Juniperus excelsa*)، فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، دوره ۲۷، شماره ۴، ۵۸۳-۵۶۹.
- عابدینی، موسی، (۱۳۹۲). تجزیه و تحلیل فرسایش خندقی در حوضه آبخیز کلکان چای (شرق سهند)، جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، دوره ۳، شماره ۷، ۹۷-۱۱۰.
- عزیزی، قاسم و ارسلانی، محسن، (۱۳۹۱). بازسازی تغییرات بارش اکتبر تا می شهر کرمانشاه طی دوره ۲۰۱۰-۱۷۰۵ با استفاده از حلقه‌های درختی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۴، شماره ۷۹، ۳۷-۵۳.
- کردوانی، پرویز، (۱۳۷۶). حفاظت خاک، تک‌جلد، چاپ ۶، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۶۴ صفحه.
- کک، رژه، (۱۳۷۳). ژئومورفولوژی، ترجمه: محمودی، فرج‌الله، جلد ۱، چاپ ۲، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۰۸ صفحه.
- کوک، آریو و دورکمپ، جی.سی، (۱۳۷۷). ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، ترجمه: گودرزی‌نژاد، شاپور، جلد ۱، چاپ اول، تهران، انتشارات سمت، ۳۸۶ صفحه.
- مخدوم، مجید، (۱۳۹۰). شالوده آمایش سرزمین، تک‌جلد، چاپ ۱۲، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۸۹ صفحه.
- معتمد، احمد و مقیمی، ابراهیم، (۱۳۷۸). کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی، تک‌جلد، چاپ اول، تهران، انتشارات سمت، ۱۴۳ صفحه.

- Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Vol 5, Pp 179-188.
- Corona, C., J., Lopez-Saez, G., Rovéra, M., Stoffel, L., Astrade, and F., Berger, (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**, Geomorphology, Vol 125, Pp 433-444.
- Galia, T., K., Šilhán, and V., Škarpich, (2017). **The geomorphic impacts of culverts at paved forest roads: Examples from Carpathian headwater channels, Czech Republic**, Catena, Vol 157, Pp 424-435.
- Gartner, H., (2006). **The applicability of roots in dendrogeomorphology**, In Schleser, G., Winiger, M., Bräuning, A., Gärtner, H., Helle, G., Jansma, E., Neuwirth, B. and Treydte, K. (eds.) TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Vol 1, Pp 120-124.
- Gartner, H., (2007). **Tree roots_ methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes**, Geomorphology, Vol 86, Pp 243-251.
- Gartner, H., (2007). **Glacial landforms, tree ring, Dendrogeomorphology, Encyclopedia of Quaternary Sciences**, Vol 2, Pp 979-988.
- Gartner, H., S., Lucchinetti, and F.H., Schweingruber, (2014). **New perspectives for wood anatomical analysis in dendrosciences: the GSL1-microtome**, Dendrochronologia, Vol 32, Pp 47-51.
- Goudie, A.S., (2004). **Encyclopedia of Geomorphology**, volume 1, First published, London, Simultaneously published in the USA and Canada, 578 p.
- Goudie, A., (2005). **Geomorphological techniques**, second edition, University of oxford, 692 p.
- Kaczka, R.J., H., Morin, (2006). **The dendrochronological records of debris flow activity in SE Quebec**, In : Haneca, Ballesteros- Cánovas, J.A., J.M., Bodoque, A., Lucía, J.F., Martín-Duque, A., Díez-Herrero, V., Ruiz-Villanueva, J.M., Rubiales, and M., Génova, (2013). **Dendrogeomorphology in badlands: Methods, case studies and prospects**, Catena, Vol 106, Pp 113-122.
- Beck, W., (2006). **Finding best regression approach for description of climate-growth relationships by floating time spans of varying width**, In: Haneca, K.; Verheyden, A.; Beekmann, H.; Gärtner, H.; Schleser, G. (eds) TRACE, Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Vol 5, Pp 248-258.
- Bodoque, J.M., J.A., Ballesteros- Cánovas, A., Lucía, A., Díez-Herrero, and M., Martín-Duque, (2015). **Source of error and uncertainty in sheet erosion rates estimated from dendrogeomorphology**, Earth surface processes and landforms, Vol 40 (9), Pp 1146- 1157.
- Bodoque, J.M., A., Díez-Herrero, J.F., Martín-Duque, J.M., Rubiales, A., Godfrey, J., Pedraza, R.M., Carrasco, and M.A., Sanz, (2005). **Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: Two examples from Central Spain**, Catena, Vol 64, Pp 81-102.
- Bodoque, J.M., A., Lucía, J.A., Ballesteros-Cánovas, J.F., Martín-Duque, J.M., Rubiales, and M., Genova, (2011). **Measuring medium-term sheet erosion in gullies from trees: a case study using dendrogeomorphological analysis of exposed pine roots in central Iberia**, Geomorphology, Vol 134, Pp 417-425.
- Cook, E.R., (1987). **The decomposition of tree-ring series for environmental studies**, Tree-Ring Bulletin, Vol 47, Pp 37-59.
- Copini, P., U., Sass- Klaassen, and J., den Ouden, (2007). **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,

- and Earth System Sciences, Vol 8, Pp 187-202.
- Stoffel, M., M., Bollschweiler, (2009). **What Tree Rings Can Tell About Earth-Surface Processes: Teaching the Principles of Dendrogeomorphology**, Institute of Geological Sciences, University of Bern, Geography Compass, Vol 3, Pp 1013-1037.
- Stoffel, M., M., Bollschweiler, (2010). **Tree-ring reconstructions in natural hazards research**, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol 10, Pp 2355-2357.
- Stoffel M., J.A., Ballesteros-Cánovas, C., Corona, and K., Šilhán, (2017). **Deciphering Dendroecological Fingerprints of Geomorphic Process Activity**, In: Amoroso M., Daniels L., Baker P., Camarero J., (eds) Dendroecology. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), Vol 231, Pp 279-303.
- Stoffel, M, Casteller, A, Luckman, B.H, Villalba, R., (2012). **Spatiotemporal analysis of channel wall erosion in ephemeral torrents using tree roots - an example from the Patagonian Andes**, Geology, Vol 40, Pp 247-250.
- Stoffel, M, Corona, C, Ballesteros-Cánovas, J.A, Bodoque del poso, J.M., (2013). **Dating and quantification of erosion processes based on exposed roots**, Earth-Science Reviews, Vol 123, Pp 18-34.
- Vandekerckhove, L, Muys, B, Poesen, J, De Weerd, B, Coppe, N, (2001). **A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates**, Catena, Vol 45, Pp 123- 161.
- Winchester, V, Gärtner, H., and Bezzi, M., (2007). **Dendrogeomorphological applications**, In, J. Kalvoda and A.S. Goudie (eds.) Geomorphological variations: on the occasion of the 150th Anniversary of Geography and Geoecology, Faculty of Science, at the Charles University in Prague. pp 183-203.
- K.; Verheyden, A.; Beekmann, H.; Gärtner, H.; Schleser, G. (eds) TRACE, Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Vol 5, Pp 233-239.
- Malik, I., (2006). **Gully erosion dating by means of anatomical changes in exposed roots (Proboszczowicka plateau, southern Poland)**, Geochronometria, Vol 25, Pp 57-66.
- 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, Vol 93, Pp 421- 436.
- Malik, I., M. Matyja, (2008). **Bank erosion history of a mountain stream determined by means of anatomical changes in exposed tree roots over the last 100 years (Bílá Opava River - Czech Republic)**, Geomorphology, Vol 98, Pp 126-142.
- Perret, S., M., Stoffel, and H., Kienholz, (2007). **Spatial and temporal rockfall activity in a forest stand in the Swiss prealps- a dendrogeomorphological case study**, Geomorphology, Vol 74, Pp 219-231.
- Roer, I., H., Gärtner, and I., Heinrich, (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, Vol 5, Pp 248-258.
- Shroder, J. F., (1980). **Dendrogeomorphology: Review and new techniques of tree-ring dating**, Progress in Physical Geography, Vol 4, Pp 161-188.
- Šilhán, K., T., Galia, and V., Škarpich, (2016). **Detailed spatio-temporal sediment supply reconstruction using tree roots data**, Hydrological Processes, Vol 30, Pp 4139-4153.
- Stoffel, M., M., Bollschweiler, (2008). **Tree-ring analysis in natural hazards research- an overview**, Natural Hazards

