

## ارزیابی فرسایش سطحی با استفاده از دندروژئومورفولوژی و بررسی نقش کاربری اراضی و جهت شیب بر فرسایش در حوضه آبخیز نچی، شهرستان مریوان

لقمان شیرزادی<sup>۱</sup>، محمدمهدی حسینزاده<sup>۱\*</sup>، کاظم نصرتی<sup>۱</sup>، سعیده متش بیرانوند<sup>۱</sup>  
۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
(دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰)

### چکیده

فرسایش سطحی یکی از فرآیندهای اصلی هدر رفت خاک است و جمع‌آوری اطلاعات قابل اعتماد از میزان فرسایش سطحی خاک برای درک ابعاد مشکل و توسعه روش‌های حفاظتی ضروری است. حوضه آبخیز نچی به سبب بهره‌برداری نامناسب از اراضی، کشاورزی بر روی اراضی شیب‌دار و عدم رعایت اصول حفاظتی با فرسایش شدید خاک، کاهش حاصلخیزی، افزایش رواناب، خطر پر شدن دریاچه از رسوبات و در نهایت ایجاد آلودگی منابع آب و مشکلات محیط زیستی روبه‌رو است. در این پژوهش جهت بررسی وضعیت فرسایش سطحی از تکنیک دندروژئومورفولوژی بر روی ۶۴ نمونه ریشه برون‌زده درختان بلوط از دو کاربری کشاورزی و جنگل در جهت‌های جغرافیایی مختلف دامنه استفاده شده است. نتایج نشان داد در حوضه آبخیز نچی فرسایش خاک در کاربری کشاورزی (میانگین نرخ فرسایش ۲/۴۳ میلی‌متر در سال) نسبت به کاربری جنگل (میانگین نرخ فرسایش ۰/۶ میلی‌متر در سال) حدود ۴ برابر است. جهت بررسی تاثیر کاربری (جنگل و کشاورزی) و جهت‌های مختلف دامنه بر مقدار فرسایش از آزمون آماری تحلیل واریانس استفاده شد. نتایج آزمون نشان داد که در حوضه مورد مطالعه نوع کاربری بر میانگین نرخ فرسایش سطحی سالانه تاثیرگذار بوده است. همچنین در خصوص تاثیر جهت‌های جغرافیایی بر میانگین سالانه نرخ فرسایش در حوضه آبخیز نچی، نتایج نشان داد که جهت‌های مختلف جغرافیایی بر میانگین نرخ فرسایش سطحی سالانه تاثیرگذار نیست. مقایسه مقادیر فرسایش در کاربری کشاورزی و جنگل اهمیت نقش حفاظتی و مهم پوشش‌های طبیعی در حفظ خاک و جلوگیری از فرسایش و هدر رفت آن را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: حوضه نچی، دندروژئومورفولوژی، فرسایش خاک و سطح، کاربری اراضی.

## Surface Erosion Estimation through Dendrogeomorphological Analysis and Investigating the Role of Land-use and Slope Direction on Erosion in Nachi Catchment

Shirzadi<sup>1</sup>, L., Hosseinzadeh<sup>1\*</sup>, M.M., Nosrati<sup>1</sup>, K., Beyranvand<sup>1</sup>, S.M.,

1. Physical Geography Department, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 07/09/2022 Accepted: 11/12/2022

### Abstract

Sheet soil erosion is one of the main processes leading to soil degradation. Moreover, collecting reliable information on the amount of sheet erosion is necessary to understand the dimensions of the problem and develop protective methods. Nachi catchment due to improper land use, cultivation on steeply sloping land, denial of conservative soil principles, severe soil erosion, reduction of soil fertility, increased surface runoff, and consequently filling of Zrebar Lake reservoir could be related to water resources pollution and some ecological outcomes. Therefore, the current study aims to examine surface erosion in the Nachi catchment concerning cultivation and forest in different geographical directions of the slope by using a dendrogeomorphological approach on 64 exposed *Quercus Brantii* root. The results indicated that the rate of soil erosion was four times greater for the cultivation area (average erosion rate: 2.43 mm per year) in comparison with the forest area (average erosion rate: 0.60 mm per year) ( $P < 0.05$ ). Statistical analysis of variance was used to examine land use and different slope directions on erosion rate. The results showed that the land use type significantly affected the mean rate of annual surface erosion in the catchment study area. The effect of different geographical directions on the mean annual erosion rate in Nachi catchment showed that the different geographical directions do not affect the mean annual sheet erosion rate. The importance of forest and natural covering in the conservation of soil and its prevention role was shown by comparing erosion rates in cultivation and forest use.

**Keywords:** Nachi catchment, Dendrogeomorphology, Soil and sheet erosion, Land use.

## مقدمه

فرسایش خاک یکی از فرآیندهای اصلی تخریب خاک است (Green, 1982; Larson et al., 1983; Stoffel and Huggel, 2012) که توسط عوامل محیطی و فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود. تاثیرات اقتصادی و محیط زیستی ناشی از فرسایش، تبدیل به یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌های جهانی شده است (Montgomer, 2007). افزایش خطر سیل، رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، تخریب اکوسیستم‌های طبیعی مانند جنگل‌ها و مراتع، از مشکلات ناشی از فرسایش است (Shen et al., 2009; Romero-Díaz et al., 2012). میزان هدر رفت سالانه خاک در دنیا حدود ۷۵ میلیارد تن است (Blanco and Lal, 2008). در ایران هم فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مشکلات محیط زیستی است و در حوضه‌های آبخیز میزان فرسایش خاک بین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۲ به میزان ۸۰۰ درصد بیشتر شده است (Nosrati et al., 2011). تشدید فرسایش خاک و به‌طور اعم فرسایش سازندهای سطحی در محدوده‌های کوهستانی در اثر ترکیبی از عوامل مختلف مانند تغییرات کاربری اراضی، وقوع بارش‌های ناگهانی، دست‌کاری دامنه‌ها و نبود کردن پوشش گیاهی صورت می‌گیرد (Casasnovas et al., 2002; Knapen et al., 2007; Pelacani et al., 2008; Shakesby., 2011). کاهش قابل توجه عملکرد حوضه‌های آبخیز ایران به دلیل حجم زیاد فرسایش، بیانگر ضرورت روزافزون پایش و پیگیری این پدیده مخرب است. در این مسیر، به کارگیری روش‌های نو و دانش روز، از اهمیت زیادی برخوردار است. برای مقابله با فرسایش، جمع‌آوری اطلاعات قابل‌اعتماد از میزان هدر رفت خاک با هدف بررسی ابعاد مشکل و درک بهتر از کنترل‌های محیط زیستی و توسعه معیارهای حفاظتی و راهبردهای مدیریت سرزمین ضروری است. در سراسر دنیا با توجه به اهمیت موضوع، تکنیک‌ها و روش‌های مختلف فیزیکی و تجربی، برای محاسبه نرخ فرسایش خاک در انواع مقیاس‌های زمانی و مکانی استفاده می‌شود که می‌توان به نمونه‌ها زیر اشاره کرد: استفاده از پین‌های فرسایش (Godfrey

et al., 2008)، دستگاه‌های رسوب‌گیر (Mathys et al., 2003)، تجزیه و تحلیل الگوهای زهکشی (Kasanin-Grubin and Bryan, 2007)، استفاده از عکس‌های هوایی و مدل‌های دیجیتالی ارتفاعی (Martínez-Casasnovas et al., 2009)، نقشه‌برداری‌های مبتنی بر لیزر (Lucía et al., 2011) (TLS)، ردیابی عناصر کمیاب (Zhu et al., 2011)، پایش فرسایش در مقیاس‌های زمانی و مکانی بزرگ (Cantón et al., 2011)، استفاده از رادیو کلونیدها (Theocharopoulos et al., 2003; Parsons and Foster, 2011; Fang et al., 2015; Nosrati et al., 2012)، استفاده از مدل‌ها و تکنیک‌های آماری (Hosseinzadeh et al., 2011). دندروژئومورفولوژی (Gartner, 2007)، بررسی اثر تغییر کاربری بر فرسایش خاک با تکنیک‌های مختلف (Feizizadeh, 2017; Safari et al., 2015; Bahrami et al., 2011; Garcia-Ruiz, 2010; Pacheco et al., 2014; Wijitkosum, 2012; Alkharabshes et al., 2011; Bouaziz et al., 2013) دندروژئومورفولوژی زیرمجموعه‌ای از دندروکرونولوژی (Cook, 1990) است که در توصیف و تعیین فرایندهای ژئومورفولوژی بسیار موفق عمل کرده است. اصطلاح دندروژئومورفولوژی را نخستین بار Alestalo (۱۹۷۱) در تحقیقی با عنوان تفسیر دندرولوژیکی 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 متاثر شده از فرایندهای ژئومورفیک پرداخت (Alestalo, 1971). دندروکرونولوژی در حقیقت استفاده از درختان به عنوان آرشیوهای طبیعی یا شاهدان خاموش است (Stoffel et al., 2013). این روش یکی از دقیق‌ترین منابع داده‌های غیر سیستماتیک برای تعیین سن وقایع است (Bodoque et al., 2011). با توجه به فرسایش سطحی، دندروژئومورفولوژی معمولاً به‌عنوان جایگزین، در مواردی به کار می‌رود که تعیین میزان فرسایش از روش‌های مستقیم محدود بوده و یا امکان‌پذیر نباشد. دندروژئومورفولوژی یک روش بسیار انعطاف‌پذیر برای ارزیابی فرسایش خاک است و نیز می‌تواند برای

دندروکلیماتولوژی بوده اما در زمینه دندروژئومورفولوژی تحقیقاتی محدودی صورت گرفته که اولین پژوهش توسط بهرامی و همکاران (۲۰۱۱) انجام شده و با استفاده از تحلیل دندروژئومورفولوژیکی ریشه‌های برون زد یافته درخت در حوضه قره‌چای (رامیان) در استان گلستان به برآورد میزان فرسایش ورقه‌ای پرداختند. حسین زاده و جهادی طرقي (۲۰۱۲) با استفاده از این تکنیک به بازسازی سیلاب‌های قدیمی رودخانه سه هزار پرداختند و براساس نوع تغییرات و واکنش تنه و ریشه درختان به فرایند سیلاب، زمان وقوع سیلاب‌های بزرگ مشخص و دبی تقریبی آن‌ها را برآورد کردند. همچنین حسین زاده و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تحلیل دندروژئومورفیک ریشه‌های برون‌زده درختان حاشیه رودخانه فرسایش کناری رودخانه‌های مناطق جنگلی حوضه آبخیز لایچ را برآورد کردند. وضعیت بسیار شکننده منطقه مورد مطالعه، همچنین شرایط طبیعی، دخالت‌های انسانی و تنوع کاربری اراضی در حوضه و بهره‌برداری نامناسب از اراضی، کشت و کار بر روی اراضی شیب‌دار و عدم رعایت اصول عملیات حفاظت خاک سبب افزایش شدت فرسایش، کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش رواناب و غیراقتصادی شدن کشاورزی در حوضه و در نهایت ایجاد آلودگی منابع آب و مشکلات زیست‌محیطی شده است که اهمیت بررسی وضعیت فرسایش سطحی در حوضه دریاچه زریوار را بسیار ضروری می‌نماید. هدف این تحقیق بررسی وضعیت فرسایش سطحی در حوضه دریاچه زریوار با استفاده از تکنیک دندروژئومورفولوژی بر روی ریشه‌های برون‌زده درخت بلوط (*Quercus brantii*) به‌عنوان گونه غالب منطقه است. با توجه به محدود بودن این قبیل مطالعات در ایران و وضعیت بسیار شکننده منطقه مورد مطالعه و خطر پرشدن مخزن دریاچه زریوار که از لحاظ محیط زیستی بسیار حائز اهمیت است، ضرورت دارد وضعیت فرسایش سطحی و هدر رفت خاک و انتقال رسوب مورد مطالعه قرار گیرد. وجود جامعه جنگلی بلوط غرب ایران و آثار و شواهد بیرون‌زدگی ریشه درختان شرایط بررسی وضعیت فرسایش سطحی در حوضه دریاچه با استفاده از تکنیک دندروژئومورفولوژی فراهم است. قابل

کالیبراسیون مدل‌های فیزیکی و تجربی مورد استفاده قرار گیرد و یا به‌عنوان یک منبع داده برای تشخیص قابلیت اطمینان داده‌های به دست آمده از تکنیک‌های برآورد مستقیم استفاده شود (Stoffel et al., 2013; Ballesteros-Cánovas et al., 2013). تکنیک دندروژئومورفولوژی شامل آنالیز ناهنجاری‌های رشد در سری حلقه‌های درخت به منظور تعیین سن وقایع فرآیندهای ژئومورفیک و برای مشخص کردن فراوانی و گسترش فضایی آن‌ها و در نتیجه کمک به ارزیابی مخاطرات طبیعی است (Stoffel et al., 2010). پژوهشگران از حلقه‌های رشد سالانه درختان برای بررسی موضوعات و مسائلی چون لغزش‌ها (Zhang et al., 2019; Silhán, 2015; Luckman, 2010; Arbella et al., 2010) بهمین‌ها (Bodoque et al., 2011; Barbara, 2018; Stoffel et al., 2013; Bodoque et al., 2011; Domínguez-Castillo et al., 2020; M. Dick et al., 2013) فرسایش کناری رودخانه‌ها (Hosseinzadeh et al., 2020) و سیلاب‌ها (Mayer et al., 2010; Casteller, 2015; Silhan, 2015; Quesada-Román et al., 2020) استفاده کردند. تحقیقات مذکور بیشتر از حلقه‌های ساقه درخت برای بررسی فرآیندهای ژئومورفیک استفاده کرده‌اند. در سال‌های اخیر، تحقیقات محدودی روی مورفولوژی، کالبد و ساختار حلقه رشد در بخش ریشه درختان برای ارزیابی میزان فرسایش ورقه‌ای، فرسایش خندقی و فرسایش کناری رودخانه‌ها انجام شده است. Gaertner و همکاران (۲۰۰۱ و ۲۰۰۳) تغییرات آناتومیکی خاص ریشه‌ها را در مطالعات دندروژئومورفولوژیکی وارد کردند. در مناطق بزرگی که ریشه‌های برون‌زده زیادی در آن وجود داشته باشد و حلقه‌های رشد سالیانه در الگوی رشد دچار محدودیت و ناهنجاری باشند می‌توان از این تکنیک استفاده کرد (Grissino-Mayer et al., 1993). آنالیز ریشه‌های برون‌زده عموماً برای تخمین نرخ‌های فرسایش در مقیاس زمانی متوسط استفاده می‌شود. با این روش تخمین میزان هدر رفت خاک با دقت بالا قابل تخمین است (Stoffel et al., 2013). در مورد گاه‌شناسی درختی تحقیقاتی در ایران انجام شده که بیشتر در زمینه

ذکر است تاکنون تحقیقی در زمینه فرسایش سطحی با استفاده از تکنیک دندروژئومورفولوژی و با استفاده از گونه بلوط جنگل‌های غرب کشور انجام نشده است.

## مواد و روش‌ها

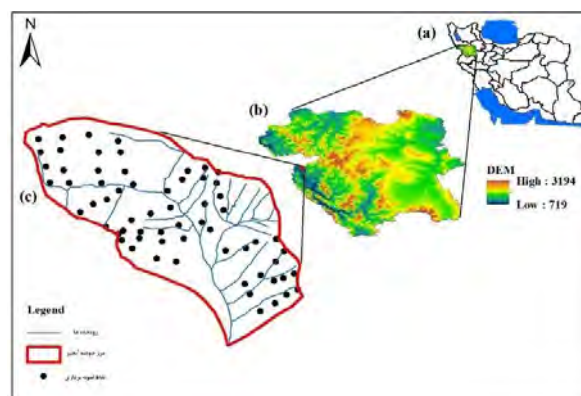
### برداشت‌های میدانی

مهم‌ترین بخش نمونه‌برداری، جمع‌آوری ریشه‌های برون‌زد یافته و اندازه‌گیری‌های میدانی در همین بخش است. برای دستیابی به اهداف پژوهش، پس از جمع‌آوری و تهیه اطلاعات اولیه شامل اطلاعات نوشتاری، داده‌های آماری، نقشه‌ها و تصاویر، پیمایش مقدماتی از منطقه انجام شد و سایت‌های نمونه‌برداری انتخاب گردید. نمونه‌ها طبق برنامه تهیه شده، براساس وضعیت حوضه (با توجه به وضعیت کاربری حوضه مورد مطالعه و جهت دامنه، واحدهای کاری موردنظر در محل‌های دارای ریشه برون‌زد یافته انتخاب شد). بر این اساس نمونه‌های مختلف در دو کاربری متفاوت جنگل و کشاورزی و در جهت‌های غربی، شرقی و جنوبی برداشت شد. معیارهای نمونه‌برداری ریشه‌ها شامل برون‌زد یافته بودن ریشه، زنده‌بودن بافت و حداقل نزدیکی ۱ متر با تنه اصلی درخت برای به حداقل رساندن انحراف حلقه‌های رشد ریشه در ارتباط با ساقه اصلی می‌باشند. قابل ذکر است که کلیه نمونه از گونه‌ی درختی بلوط (*Quercus brantii*) که اکثریت مطلق در منطقه مورد مطالعه است، تهیه شد. در نهایت از بین نمونه‌های برداشت‌شده، ۶۴ نمونه که قابلیت تحلیل آناتومی حلقه‌های رشد، براساس معیارهای اولیه را داشتند انتخاب گردید. از هر ریشه یک نمونه دیسکی به ضخامت ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر بریده شد. در هنگام برداشت نمونه، اطلاعاتی شامل کاربری اراضی محل نمونه‌برداری، مختصات محل قرارگیری درخت، ارتفاع درخت از سطح دریا، شیب محل، محل تماس ریشه با سطح خاک، فاصله سطح خاک با سطح فوقانی ریشه برای هر مقطع ثبت گردید. ضخامت پوست سطح بالایی و سطح پایینی نیز با کولیس اندازه‌گیری شد.

همچنین روی دیسک برداشت شده جهت‌های بالا، پایین علامت‌گذاری شد. برای مقایسه آناتومی حلقه‌های رشد ریشه‌های برون‌زد یافته با ریشه‌های مدفون در هر سایت، یک نمونه از ریشه‌های مدفون در خاک به‌عنوان نمونه رفرنس نمونه‌برداری شد.

### محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز دریاچه زریوار با مساحت تقریبی ۳۱۶ هکتار در استان کردستان، شهرستان مریوان قرار گرفته است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه فقط دارای یک ساختار عمده زمین‌شناسی است که مربوط به سنگ‌های آهکی سازند انجیران می‌باشد و تقریباً کل مساحت حوضه را در بر گرفته است. ژئومورفولوژی حوضه شامل دره‌های به هم چسبیده‌ای است که بین آن‌ها برجستگی‌های محدب شکل مشاهده می‌شود. در راس ارتفاعات بلند می‌توان ستیغ‌های دنداندار را در تمام قله‌های حوضه مشاهده نمود. در ابتدای حوضه، آبراهه‌ها بسیار پرشیب و کم‌عمق است در میانه از شدت شیب کاسته و به میزان عمق اضافه می‌شود و در نهایت در انتهای حوضه به شیب بسیار ملایم و دره کاملاً پهن برخورد می‌کنیم. پایین‌ترین نقطه ارتفاعی حوضه ۱۳۴۰ متر و بالاترین نقطه ارتفاعی این حوضه ۲۵۰۲ و دارای متوسط ارتفاع ۱۷۴۰ متر از سطح دریا است. جهت عمومی شیب‌ها شمالی و شمال غربی و متوسط شیب منطقه ۳۰ تا ۴۰ درصد است. تیپ جنگل به‌صورت ترکیبی از گونه‌های بلوط، مازودار، زالزالک و گلایی بوده که بلوط از گونه غالب منطقه و زیراشکوب‌های آن، گونه‌های مختلف مرتعی است و در مناطقی که عمق تشکیل خاک بسیار کم است، این پوشش شامل پوشش درختی تنک از گونه‌های بلوط، همراه با گون و کما می‌باشد (پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۳). در مناطق تپه‌ای در برخی از دامنه‌ها اقدام به موکاری و کاشت درختان میوه شده است. خاک‌های موجود در طبقه‌بندی آمریکایی جزو خاک‌های رده اینسپتی‌سولز قرار می‌گیرد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

## یافته‌ها

### آماده‌سازی نمونه و اندازه‌گیری‌ها

پس از انتقال نمونه‌های ریشه برداشت شده به آزمایشگاه، نمونه‌ها به مدت یک ماه در معرض هوای آزاد قرار گرفتند تا با دمای محیط خشک شده و از کپک زدن احتمالی آن‌ها جلوگیری شود. دیسک‌های برداشت شده از ریشه‌ها برای آشکارسازی حلقه‌های رویشی دیسک‌ها از دو روش براق‌سازی و برش سطوح استفاده شد. با استفاده از دستگاه سمباده، با گریدهای مختلف به تدریج صیقلی شد تا مرز حلقه‌های رشد واضح شود. گردهای چوب سمباده خورده ممکن بود

کیفیت مشاهده حلقه رویشی را پایین بیاورد. برای حل این مشکل تمامی دیسک‌ها بعد از براق شدن در معرض فشار هوا قرار گرفتند. در بعضی از نمونه‌ها نیز هنگام شمارش و اندازه‌گیری عرض حلقه‌ها، نمونه با استفاده از پودر گچ خط‌کشی شد و تضاد بین چوب بهاره و تابستانه به حالت مشخص درآمد. سپس دیسک‌ها در آزمایشگاه جهت تعیین اولین سال برون‌زد ریشه و مشخص کردن پهنای حلقه‌های رویشی با استفاده از دستگاه لین‌تب<sup>۱</sup> مجهز به میکروسکوپ بینوکولار و نرم‌افزار تخصصی گاه‌شناسی تی - سپ<sup>۲</sup> با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.



شکل ۲: آماده‌سازی نمونه و اندازه‌گیری‌ها

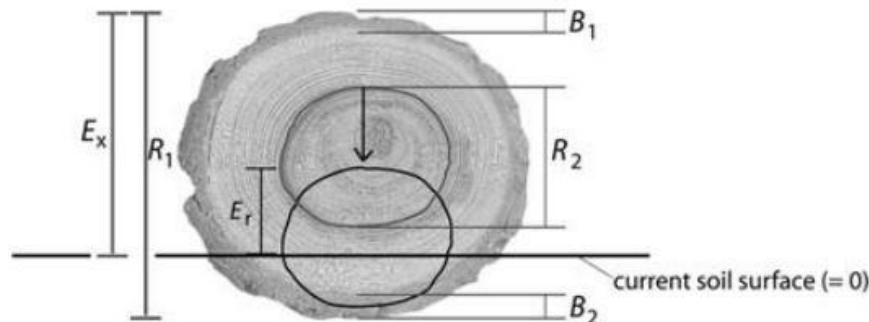
### محاسبه نرخ فرسایش

مهم‌ترین پارامتر در محاسبه نرخ فرسایش با استفاده از روش دندروژنومورفولوژی، تعیین سال برون‌زد ریشه

از خاک می‌باشد. مهم‌ترین شاخص‌های تعیین سال برون‌زدگی ریشه از خاک شامل خروج حلقه‌های رشد ریشه از حالت متحدالمرکز و تغییرات چشمگیر در

برون زدگی ریشه از خاک برای هر نمونه تعیین شد. پس از مشخص نمودن اولین سال بیرون زدگی ریشه با استفاده از روش Gärtner (۲۰۰۷) مقدار فرسایش سطحی و همچنین نرخ فرسایش سالانه محاسبه شد.

عرض حلقه‌های رشد می‌باشد. پس از اندازه‌گیری عرض حلقه‌های رویش و مطابقت با نمونه رفرنس، با استفاده از شاخص‌های خروج از حالت متحدالمرکزی و افزایش یا کاهش ناگهانی در عرض حلقه رویشی سال



شکل ۳: بازسازی فرسایش پهنه‌ای به کمک ریشه‌های رخنمون یافته در تماس با خاک (Gärtner, H., 2007)

روش تصمیم‌گیری در آن براساس مقدار آماره F و همچنین P\_ مقدار است. تمام آزمون‌های انجام شده در این بخش در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است و فرض برابری میانگین‌ها در صورتی که P\_ مقدار کمتر از ۰/۰۵ باشد پذیرفته نخواهد شد و برعکس اگر P\_ مقدار بیشتر از ۰/۰۵ باشد فرض برابری میانگین‌ها پذیرفته خواهد شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌های برداشت شده از ریشه برون زده، ابتدا اولین سال برون زدگی ریشه براساس شاخص‌های تعیین شده (تغییر حلقه‌های رشد از حالت متحدالمرکزی و تغییرات ناگهانی در عرض حلقه‌های رویشی) استخراج گردید. با مشخص کردن تعداد حلقه‌های غیر متحدالمرکز و اندازه‌گیری ارتفاع سطح فوقانی ریشه تا سطح فعلی خاک، می‌توان مقدار فرسایش را در دوره زمانی معینی براساس معادلات گارتنر مشخص ساخت (شکل ۳). در جدول ۱ نرخ فرسایش، میانگین نرخ فرسایش سالانه (ابتدا فرسایش کلی به میلی‌متر برای هر نمونه محاسبه شد و پس از تقسیم آن به تعداد سال‌های بعد از رخنمون ریشه مقدار فرسایش سالانه به میلی‌متر محاسبه شد) ارتفاع محل نمونه‌برداری و جهت شیب ارائه شده است. به دلیل کوچک بودن حوضه، ساختار زمین‌شناسی آن تنوع زیادی ندارد. منطقه مورد مطالعه فقط دارای دو ساختار عمده است که مربوط به سنگ‌های آهکی سازند

رابطه (۱)

$$E_r = E_x - Gr \left( \frac{B_1 + B_2}{2} \right)$$

رابطه (۲)

$$E_{r_a} = E_r / NR_{ex}$$

در رابطه شماره ۱،  $E_r$  مقدار کل فرسایش به میلی‌متر،  $E_x$  فاصله بین بخش رویشی ریشه و سطح فعلی خاک،  $Gr$  رشد ریشه بعد از برون زد شدن،  $\left( \frac{B_1 + B_2}{2} \right)$  متوسط عرض پوسته ریشه است. در رابطه شماره ۲،  $E_{r_a}$  نرخ سالانه فرسایش و  $NR_{ex}$  تعداد سال‌های برون زد بودن ریشه است. در نهایت براساس معادلات مذکور، میانگین سالانه فرسایش سطحی محاسبه شد و نتایج با توجه به عوامل مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

#### آنالیزهای آماری

با توجه به اینکه در پژوهش به بررسی تاثیر کاربری اراضی و جهت‌های جغرافیایی دامنه‌ها، بر فرسایش سطحی می‌پردازیم، ابتدا برای بررسی، تحلیل‌های اکتشافی مبتنی بر آماره‌های توصیفی مربوط به پارامترها و همچنین نمودارهای مربوطه ارائه می‌شود. در ادامه برای بررسی دقیق‌تر از آزمون تحلیل واریانس جهت بررسی فرض برابری میانگین هر کدام از پارامترها استفاده می‌شود که در واقع نتیجه این آزمون مشخص‌کننده تاثیر عوامل ذکر شده بر پارامترهای اندازه‌گیری شده می‌باشد.

لایه خاک و بیرون زدگی های سنگی، فاقد پوشش درختی هستند نمونه برداری انجام نشد. پراکندگی نقاط نمونه برداری شده در ارتباط با کاربری اراضی، سازند زمین شناسی و جهت شیب در شکل ۵ نشان داده شده است.

انجیران و رسوبات دریاچه ای و تقریباً کل مساحت حوضه را در بر گرفته است. به همین دلیل در نمونه برداری ساختارهای زمین شناسی مورد توجه قرار نگرفته است. به دلیل اینکه در تکنیک دندروژئومورفولوژی برای برآورد فرسایش از نمونه ریشه درختان استفاده می شود، در بخش هایی از حوضه که علت ارتفاع بالاتر، ضخامت ناچیز

جدول ۱: مشخصات کل نمونه ها منطقه مورد مطالعه

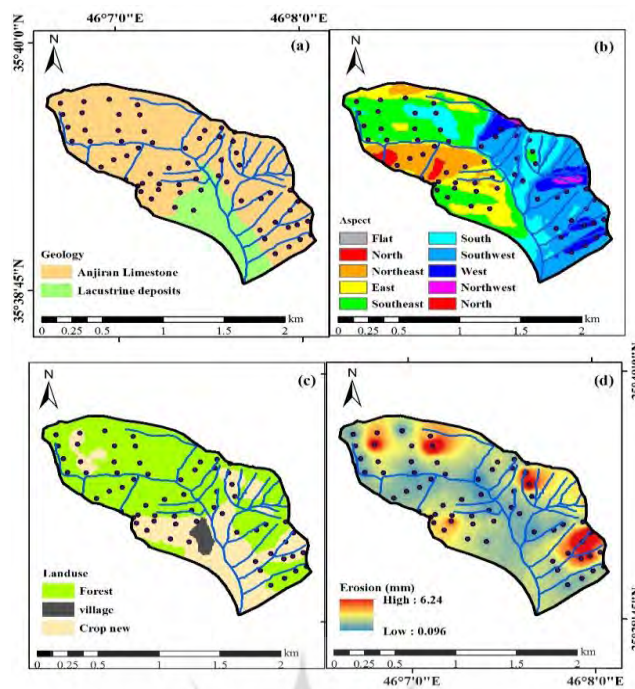
شماره نمونه	جهت شیب	کاربری	ارتفاع (متر)	وزن مخصوص (p: g cm-3)	فرسایش (میلی متر)	فرسایش (میلی متر در سال)
۱	غربی	جنگل	۱۵۸۶	۱/۳۵	۱۴/۹۶	-۰/۷۹
۲	غربی	جنگل	۱۵۱۸	۱/۱۲	۲۶/۰۵	۱/۱۳
۳	غربی	جنگل	۱۴۰۶	۱/۱۱	۷/۰۳	-۰/۶۴
۴	غربی	جنگل	۱۳۵۸	۱/۲۹	۳/۴۵	-۰/۲۵
۵	غربی	کشاورزی	۱۵۶۰	۱/۳۱	۳۶/۱۶	۱/۹۰
۶	غربی	کشاورزی	۱۴۹۲	۱/۲۷	۳۳/۴۵	۲/۰۹
۷	غربی	کشاورزی	۱۳۸۷	۱/۲۱	۲۱/۰۶	۱/۲۴
۸	غربی	کشاورزی	۱۳۷۸	۱/۲۴	۷/۲۹	-۰/۷۳
۹	شرقی	جنگل	۱۴۷۲	۱/۱۸	۶/۸۸	-۰/۴۶
۱۰	شرقی	جنگل	۱۴۰۰	۱/۳۱	۱۵/۵۱	-۰/۷۸
۱۱	شرقی	جنگل	۱۳۷۱	۱/۱۸	۳/۵۹	-۰/۳۳
۱۲	شرقی	جنگل	۱۳۵۱	۰/۹۴	۶/۲۹	-۰/۴۵
۱۳	شرقی	کشاورزی	۱۴۷۶	۱/۲۶	۳۶/۷۵	۱/۷۵
۱۴	شرقی	کشاورزی	۱۴۲۴	۱/۲۴	۴۶/۹۲	۳/۶۱
۱۵	شرقی	کشاورزی	۱۴۰۴	۱/۳۱	۶۱/۹۸	۳/۲۶
۱۶	شرقی	کشاورزی	۱۳۷۲	۱/۲۲	۱۲/۳۴	-۰/۵۹
۱۷	شرقی	جنگل	۱۴۷۸	۱/۳۷	۱۲/۱۶	-۰/۶۸
۱۸	شرقی	جنگل	۱۴۴۶	۱/۱۶	۵/۰۵	-۰/۳۲
۱۹	شرقی	جنگل	۱۳۸۴	۱/۲۰	۴/۶۸	-۰/۵۲
۲۰	شرقی	جنگل	۱۳۶۴	۱/۲۴	۲/۵۱	-۰/۲۱
۲۱	شرقی	کشاورزی	۱۴۵۵	۱/۱۵	۸۴/۳۲	۴/۴۴
۲۲	شرقی	کشاورزی	۱۴۱۷	۱/۰۴	۹۳/۴۶	۶/۲۴
۲۳	شرقی	کشاورزی	۱۳۹۶	۱/۴۵	۵۶/۴۳	۲/۶۹
۲۴	شرقی	کشاورزی	۱۳۷۴	۱/۲۹	۱۹/۸۵	۱/۱۰
۲۵	جنوبی	جنگل	۱۵۷۲	۱/۲۹	۶/۸۷	-۰/۴۹
۲۶	جنوبی	جنگل	۱۵۴۶	۱/۳۵	۱۵/۶۳	-۰/۶۸
۲۷	جنوبی	جنگل	۱۴۰۴	۱/۱۶	۵/۸۲	-۰/۶۵
۲۸	جنوبی	جنگل	۱۳۸۲	۱/۳۸	۴/۹۲	-۰/۳۸
۲۹	جنوبی	کشاورزی	۱۵۲۵	۱/۰۴	۵۶/۳۰	۳/۷۵
۳۰	جنوبی	کشاورزی	۱۴۵۵	۱/۲۴	۹۸/۳۱	۴/۶۸
۳۱	جنوبی	کشاورزی	۱۴۳۰	۱/۱۵	۱۴/۸۴	-۰/۹۳
۳۲	جنوبی	کشاورزی	۱۳۹۳	۱/۳۹	۱۲/۹۷	-۰/۵۰
۳۳	غربی	جنگل	۱۵۸۹	۱/۰۳	۸/۶۰	-۰/۸۶
۳۴	غربی	جنگل	۱۵۴۹	۱/۳۱	۱۴/۴۱	۱/۰۳
۳۵	غربی	جنگل	۱۴۶۲	۱/۲۳	۹/۶۹	-۰/۸۸
۳۶	غربی	جنگل	۱۳۹۶	۱/۵۱	۱/۴۲	-۰/۱۸
۳۷	غربی	کشاورزی	۱۵۶۲	۱/۳۲	۶۰/۸۵	۲/۷۷

شماره نمونه	جهت شیب	کاربری	ارتفاع (متر)	وزن مخصوص ( $\rho: g\ cm^{-3}$ )	فرسایش (میلی‌متر)	فرسایش (میلی‌متر در سال)
۳۸	غربی	کشاورزی	۱۵۰۳	۱/۲۴	۸۷/۸۸	۳/۳۸
۳۹	غربی	کشاورزی	۱۴۴۹	۱/۴۴	۲۴/۵۹	۱/۶۴
۴۰	غربی	کشاورزی	۱۳۹۱	۱/۳۳	۲۴/۷۳	۱/۳۰
۴۱	جنوبی	جنگل	۱۷۳۳	۱/۳۷	۸/۰۶	-۰/۳۴
۴۲	جنوبی	جنگل	۱۶۸۶	۱/۱۸	۱۳/۰۴	-۰/۹۳
۴۳	جنوبی	جنگل	۱۶۲۷	۱/۴۲	۴	-۰/۳۶
۴۴	جنوبی	جنگل	۱۵۹۶	۱/۲۵	۴/۴۳	-۰/۳۴
۴۵	جنوبی	کشاورزی	۱۵۸۳	۱/۳۶	۳۷/۳۷	۱/۸۷
۴۶	جنوبی	کشاورزی	۱۵۵۰	۱/۱۲	۱۴۲/۹۵	۵/۹۶
۴۷	جنوبی	کشاورزی	۱۴۸۹	۱/۴۳	۱۶/۱۱	۱/۱۵
۴۸	جنوبی	کشاورزی	۱۴۳۳	۱/۳۸	۱۸/۳۳	-۰/۸۷
۴۹	غربی	جنگل	۱۶۱۵	۱/۱۲	۸/۱۷	-۰/۶۸
۵۰	غربی	جنگل	۱۵۷۹	۱/۴۶	۱۰/۲۶	-۰/۶۰
۵۱	غربی	جنگل	۱۵۲۳	۱/۱۰	۷/۴۴	-۰/۵۰
۵۲	غربی	جنگل	۱۴۷۷	۱/۰۸	۶/۰۱	-۰/۳۸
۵۳	جنوبی	جنگل	۱۶۴۲	۱/۲۳	۷/۲۵	-۰/۲۸
۵۴	جنوبی	جنگل	۱۵۷۰	۱/۱۲	۲۱/۲۷	۱/۲۵
۵۵	جنوبی	جنگل	۱۵۲۸	۱/۱۵	۱۰/۵۵	-۰/۷۰
۵۶	جنوبی	جنگل	۱۵۰۶	۱/۳۵	۲/۸۴	-۰/۱۴
۵۷	جنوبی	کشاورزی	۱۶۶۰	۱/۲۹	۴۵/۷۳	۲/۴۱
۵۸	جنوبی	کشاورزی	۱۶۵۴	۱/۱۲	۶۸/۹۵	۴/۳۱
۵۹	جنوبی	کشاورزی	۱۶۰۰	۱/۱۶	۳۷/۳۸	۱/۵۶
۶۰	جنوبی	کشاورزی	۱۵۷۵	۱/۱۸	۲۴/۷۰	۱/۴۵
۶۱	شرقی	جنگل	۱۵۵۸	۱/۳۵	۲۰/۰۶	-۰/۸۷
۶۲	شرقی	جنگل	۱۵۲۶	۱/۲۲	۲۱/۱۷	۱/۵۱
۶۳	شرقی	جنگل	۱۴۵۳	۱/۱۸	۱۲/۷۵	-۰/۸۰
۶۴	شرقی	جنگل	۱۴۱۱	۱/۳۲	۱/۲۴	-۰/۱۰

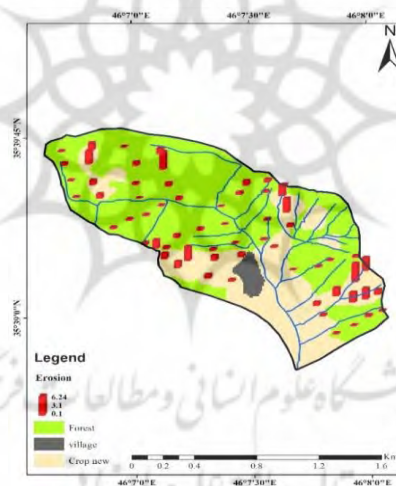
همان‌گونه که در جدول ۱ آمده است از بین کل نمونه‌های برداشت شده، ۶۴ نمونه از ریشه درختان بلوط که قابلیت تحلیل آناتومی حلقه‌های رشد را داشتند انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از این تعداد ۲۸ نمونه از کاربری کشاورزی و ۳۶ نمونه از کاربری جنگل برداشت شده است. با توجه به یکی از اهداف پژوهش که بررسی جهت‌های مختلف دامنه بر میزان فرسایش سطحی است، نمونه‌ها در جهت‌های مختلف برداشت شده است. تعداد ۲۰ نمونه از دامنه غربی، ۲۰ نمونه از دامنه شرقی و ۲۴ نمونه از دامنه جنوبی برداشت شد. به دلیل اینکه حوضه مورد مطالعه را به سمت جنوب بود و دامنه‌های شمالی در حوضه آبخیز دیگری قرار داشت، دامنه شمالی قابلیت نمونه‌برداری نداشت. در شکل ۶ میانگین نرخ فرسایش در دو کاربری کشاورزی و جنگل نشان داده شده است. براساس

تحلیل‌های توصیفی، نتایج حاصل از برآورد نرخ فرسایش سطحی در حوضه آبخیز زریوار نشان می‌دهد که میزان فرسایش سطحی در دو کاربری کشاورزی و جنگلی دارای تفاوت فاحشی است. همانطوری که در شکل ۶ اختلاف میانگین فرسایش سالانه در کاربری جنگل و کشاورزی آمده، فرسایش خاک در کاربری کشاورزی با میانگین نرخ فرسایش ۲/۴۳ میلی‌متر در سال (به‌طور تقریبی ۲۹/۶۵ تن در سال) نسبت به ناحیه جنگلی با فرسایش ۰/۶۰ میلی‌متر در سال (به‌طور تقریبی ۷/۲۹ تن در سال)، بسیار بیشتر و حدود ۴ برابر است. بیشترین مقدار فرسایش در سال در نمونه شماره ۲۲ با مقدار ۶/۲۴ میلی‌متر در سال در کاربری کشاورزی قرار دارد. کمترین مقدار فرسایش نیز در نمونه شماره ۶۴ با مقدار ۰/۱۰ میلی‌متر در سال در کاربری جنگلی قرار دارد.

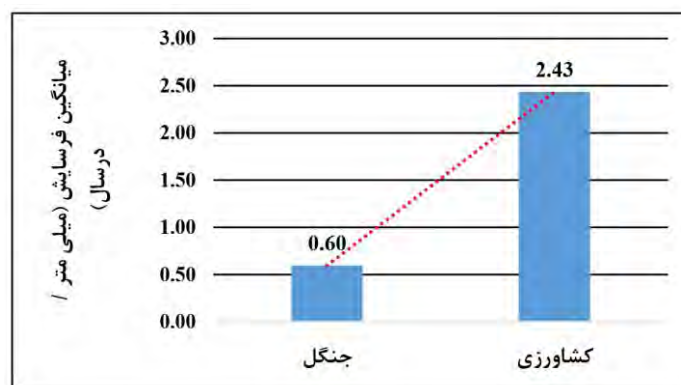




شکل ۴: موقعیت نقاط نمونه برداری بر روی نقشه زمین شناسی (a)، جهت شیب (b)، کاربری اراضی (c) و پهنه بندی فرسایش (d)



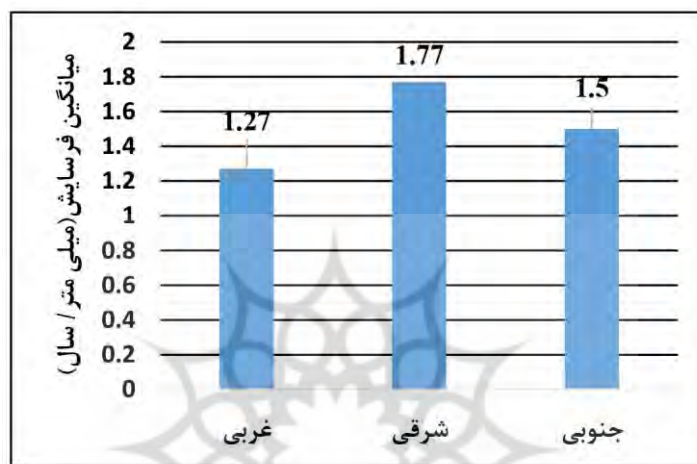
شکل ۵: میزان فرسایش در دو کاربری (کشاورزی و جنگل)



شکل ۶: میانگین فرسایش در کاربری های اراضی

مختلف حوضه‌ها ظاهر می‌شود. شکل شماره ۵ نشان می‌دهد بیشترین میانگین فرسایش سالانه خاک مربوط به دامنه شرقی با مقدار ۱/۷۷ میلی‌متر در سال می‌باشد. پس از آن دامنه جنوبی با میانگین ۱/۵۰ میلی‌متر در سال جایگاه دوم و دامنه غربی با میانگین ۱/۲۷ میلی‌متر در سال کمترین میزان فرسایش را به خود اختصاص داده است.

شکل ۸ نتایج حاصل از برآورد نرخ فرسایش سطحی خاک با جهت دامنه را نشان می‌دهد. جهت دامنه و تغییرات آن نقش فراوانی در تغییرات محیط شکل‌زایی به وجود می‌آورد. مهم‌ترین تأثیر جهت دامنه به صورت ایجاد تفاوت در میزان گرما و شرایط دریافت بارش است. دامنه‌ها در مقدار بارش و میزان رطوبت نیز تفاوت‌هایی دارند (بدری فر، ۱۳۷۹). حاصل این ناهم‌هنگی‌ها به صورت تغییر حدود و نوع پوشش گیاهی در جهات



شکل ۷: نمودار میانگین نرخ فرسایش سالانه در جهت‌های مختلف دامنه (شرقی، غربی، جنوبی)

آزمون مشخص‌کننده میزان تأثیر عوامل اثرگذار بر میزان فرسایش سطحی است.

در ادامه برای بررسی دقیق‌تر از آزمون تحلیل واریانس جهت بررسی فرض برابری میانگین هر کدام از پارامترها اثرگذار بر فرسایش استفاده شد که در واقع نتیجه این

جدول ۲: مهم‌ترین ویژگی‌های آماری داده‌های به دست آمده از منطقه مورد مطالعه

متغیر (فرسایش)	تعداد نمونه	میانگین (میلی متر / سال)	حداکثر (میلی متر / سال)	حداقل (میلی متر / سال)	انحراف معیار
کاربری کشاورزی	۲۸	۲/۴۳	۶/۲۴	۰/۵۰	۱/۶۰
کاربری جنگلی	۳۶	۰/۶۰	۱/۵۱	۰/۱۰	۰/۳۳
جهت غربی	۲۰	۱/۲۷	۳/۳۸	۰/۱۸	۰/۸۳
جهت شرقی	۲۰	۱/۷۷	۶/۲۴	۰/۱۰	۱/۶۶
جهت جنوبی	۲۴	۱/۵	۵/۹۶	۰/۱۴	۱/۵۸

فرض برابری میانگین‌های آن در دو ناحیه نامبرده تصمیم‌گیری شد. اکنون با توجه به آنچه بیان شد و براساس نتایج که در جدول ۳ نشان داده شده است تصمیم‌گیری و نتایج تحلیل و بررسی شد.

برای بررسی تأثیر کاربری (جنگل و کشاورزی) بر مقدار فرسایش در حوضه مورد مطالعه، از آزمون آماری تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده شد. لازم به ذکر است براساس مقدار  $P$  به دست آمده برای هر پارامتر، در مورد

جدول ۳: نتایج تحلیل واریانس متغیرها در دو کاربری (کشاورزی و جنگل)

متغیر فرسایش	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F آماره	مقدار P
	۵۳/۱۹۰	۱	۵۳/۱۹۰	۴۵/۴۶۵	۰/۰۰۰

طبیعی منطقه به وجود آمده است را به عنوان فاکتوری مهم در فرسایش خاک نشان می‌دهد. برای بررسی تأثیر جهت‌های مختلف جغرافیایی بر متغیرها نیز از آزمون آماری تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده شد. براساس مقدار  $P_2$  به دست آمده برای هر پارامتر که به شرح جدول ۴ است تصمیم‌گیری و نتیجه آن بررسی شد.

نتایج به دست آمده از جدول ۳ و مقدار  $p$  آزمون در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ نشان می‌دهد که فرض برابری میانگین‌ها در دو کاربری مورد مطالعه رد می‌شود. بدین معنا که نوع کاربری در حوضه مورد مطالعه به صورت کامل بر میانگین نرخ فرسایش سطحی سالانه تأثیرگذار بوده است. این نتیجه، اثرگذاری مستقیم کاربری زمین که در نتیجه دخالت مستقیم انسان در تغییر پوشش

جدول ۴: نتایج تحلیل واریانس متغیرها در سه جهت جغرافیایی (شرقی، غربی، جنوبی)

متغیر فرسایش	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F آماره	مقدار P
	۲/۵۴۳	۲	۱/۲۷۲	۰/۵۹۹	۰/۵۵۳

پژوهش، با توجه به اهمیت بسیار بالای پدیده فرسایش خاک و تخریب اراضی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین معضلات زیست‌محیطی کنونی دنیا و ایران که به دلیل ناملموس بودن آن در کشور ما کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد پرداخته شد. همچنین اثرگذاری دو عامل کاربری زمین و جهت‌های مختلف دامنه بر میانگین نرخ فرسایش سطحی مورد بررسی قرار گرفت. تکنیک‌های سنتی موجود در خصوص برآورد نرخ فرسایش سطحی خاک، تنها جوابگوی پاره‌ای از نیازها است. با توجه به نارسایی‌های موجود در روش‌های سنتی و تجربه‌های استفاده موفقیت آمیز محققین از تکنیک دندروژئو مورفولوژی، در این پژوهش نیز سعی شد با به کارگیری این تکنیک و استفاده از ریشه درختان بلوط در غرب کشور، بتوان نتایج قابل‌اعتمادی از روند فرسایش سطحی استخراج کرد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تکنیک دندروژئو مورفولوژی یک روش مناسب برای برآورد فرسایش سطحی خاک در منطقه مورد مطالعه، با توجه به محدودیت استفاده از روش‌های دیگر است. نتایج حاصل از برآورد میزان فرسایش سطحی در منطقه مورد مطالعه نشان داد بیشترین مقدار فرسایش متعلق به کاربری کشاورزی با میانگین نرخ فرسایش ۲/۴۳ میلی متر در سال (به‌طور تقریبی ۲۹/۶۵ تن در

نتایج به دست آمده از جدول ۴ نشان می‌دهد که جهت‌های مختلف جغرافیایی بر میانگین نرخ فرسایش سطحی سالانه با مقدار  $p_2$  ۰/۵۵۳ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تأثیرگذار نیست. بدین معنی که تأثیر جهت‌های جغرافیایی مختلف بر میانگین سالانه نرخ فرسایش در حوضه مورد مطالعه به میزانی نیست که بتوان آن را به‌عنوان عامل مهم تأثیرگذار بر نرخ فرسایش در نظر گرفت و تغییر آن با جهت جغرافیایی، دارای رابطه معنی‌داری نیستند و فرض برابری میانگین‌ها در این متغیر مورد قبول قرار می‌گیرد. در این مطالعه نمی‌توان جهت دامنه را به‌عنوان عامل قطعی اثرگذاری بر فرسایش بر مبنای نتایج آزمون آماری در نظر گرفت.

### بحث و نتیجه‌گیری

فرسایش خاک جزء لاینفک طبیعت و یکی از عوامل موثر در تکامل و شکل‌گیری چهره کنونی سطح زمین است که همیشه پویا و فعال است. در ایران به دلیل شکننده‌تر بودن اکوسیستم، تخریب و تغییر کاربری‌های طبیعی زمین، فرسایش خاک بسیار و اثرات زیست‌محیطی حاصل از آن بسیار حادث‌تر است و جبران و جایگزینی خاک فرسایش یافته به علت نامساعد بودن شرایط اقلیمی آن بسیار کند و دشوار است. در این

بررسی اثرگذاری جهت دامنه بر فرسایش نشان داده شد که بالاترین میانگین فرسایش خاک با مقدار ۱/۷۷ میلی‌متر در سال در جهت شرقی و ناحیه کشاورزی و کمترین آن با مقدار ۱/۲۷ میلی‌متر در سال در جهت غربی و در کاربری جنگلی قرار دارد. همان‌طور که بیان شد از لحاظ توصیفی جهت‌های مختلف در میزان فرسایش تفاوت‌هایی با هم داشتند اما در آزمون آماری تفاوت میانگین‌های فرسایش خاک در جهت‌های شرقی، غربی و جنوبی به میزانی نبود که اثرگذاری قطعی این عامل، در فرسایش خاک منطقه مورد مطالعه را تایید نماید. به نظر می‌رسد با توجه به تفاوت بسیار زیاد دامنه‌های شمالی با سایر جهت‌ها از نظر تفاوت در میزان تابش، دریافت بارش، میزان رطوبت که در نتیجه موجب بروز خصوصیات متفاوت فیزیکی و شیمیایی در خاک و همچنین میزان تراکم پوشش گیاهی می‌شود که تاثیرات زیادی بر فرسایش‌پذیری خاک دارند. وجود نمونه از دامنه شمالی می‌توانست تاثیرگذاری عامل جهت دامنه را بهتر و دقیق‌تر مشخص کند. نتایج این تحقیق ضرورت توجه بیشتر به مطالعات قابلیت اصلاح و تغییر کاربری اراضی در این مناطق را بیش از پیش نشان می‌دهد. همین‌طور اثرات محیط زیستی، در نتیجه فرسایش خاک نه فقط به دلیل آزادسازی کربن در هوا بلکه از نظر در معرض خطر قرار گرفتن دریاچه زریوار بسیار حائز اهمیت است. پیشنهاد می‌شود در کارهای آتی برای اعتبارسنجی نرخ فرسایش به دست آمده، از یک روش دیگر موازی با این روش استفاده شود. همچنین در مطالعات آتی برای بررسی دقیق‌تر تاثیر جهت‌های دامنه بر فرسایش خاک، از دامنه‌های شمالی نیز نمونه‌برداری صورت گیرد.

سال) و کمترین مقدار فرسایش را ۰/۶۰ میلی‌متر در سال (به‌طور تقریبی ۷/۲۹ تن در سال) در ناحیه جنگلی است. نتیجه مطالعه نشان داد که مهم‌ترین عامل ایجاد تفاوت در مقدار فرسایش در منطقه مورد مطالعه انسان است. نقش انسان به‌عنوان یک عامل خارجی که دست به تخریب و برهم زدن ساختار طبیعی خاک، شخم زدن و از بین بردن پوشش طبیعی و افزایش چند برابری روند طبیعی فرسایش خاک است. در منطقه مورد مطالعه خودنمایی می‌کند. براساس شواهد و اسناد موجود جاهایی که قبلاً تحت پوشش درخت بلوط بودند در طول دهه‌های اخیر با اهداف گوناگون از جنگل به کشاورزی تبدیل شده است. مطالعات مختلف در دنیا و ایران نشان داده است در دهه‌های اخیر تغییرات کاربری رشد فزاینده‌ای داشته است که این تغییرات، زمینه افزایش رواناب و اثرگذاری در میزان هدر رفت خاک دارد ( Garcia-Ruiz, 2010; Pacheco et al., 2014; Wijitkosum, 2012; Alkharabshes et al., 2013; Bouaziz et al., 2011; Martínez-Murillo et al., 2011). (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰؛ ارخی، ۱۳۹۴؛ فیضی زاده، ۱۳۹۶؛ صفاری و همکاران، ۱۳۹۷). مقایسه ارقام ذکر شده در ناحیه کشاورزی با ناحیه جنگلی، نشان از نقش حفاظتی و مهم پوشش‌های طبیعی و جنگلی در حفظ خاک و جلوگیری از فرسایش و هدر رفت این ماده ارزشمند دارد. این تغییر کاربری و اثرات منفی ناشی از دخالت انسانی، نه‌تنها در حوضه، بلکه در محل خارج از وقوع آن به صورت انباشت بر روی اراضی مرغوب کشاورزی، مراتع، منابع ذخیره آب و کانال‌های آبیاری شده است. همچنین ایجاد آلودگی توسط رسوبات و فلزات سنگین و مواد شیمیایی همراه آن، بالاخص تهدید اکوسیستم بسیار شکننده دریاچه زریوار امروزه بیش از هر زمان دیگری مشهود است. در مورد

## پی‌نوشت

1- Lintab

2- T.sap

## منابع

دور و GIS مطالعه موردی: منطقه بیابانی دهلران، جغرافیا و توسعه، ۱۳(۴۰)، ۵۹-۶۸.  
<https://dx.doi.org/10.22111/gdij.2015.2098>

- ارخی، ص.، ۱۳۹۴. کاربرد متریک‌های سیمای سرزمین در ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از

- استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و Gis، هیدروژئومورفولوژی، ۴(۱۱)، ۲۱-۳۸.  
[https://hyd.tabrizu.ac.ir/article\\_6712.html](https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_6712.html)
- صفاری، ا.، نوری، ع. و کرمی، ج.، ۱۳۹۷. بررسی تاثیر تغییرات پوشش و کاربری زمین در قابلیت فرسایش خاک (مطالعه موردی حوضه قره سو گرگانرود). تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱(۵)، ۸۳-۹۶.  
<https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2701-en.html>
- ورهاشمی، م.، زندهبصری، م. و پناهی، پ.، ۱۳۹۳. بررسی ویژگی‌های ساختاری توده‌های شاخه‌زاد بلوط جنگل‌های مریوان. پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۲۷(۵)، ۷۶۶-۷۷۶.  
<https://doi.org/27502.776-766>
- Alestalo, J., 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. Fennia.
- Alkharabsheh, M.M., Alexandridis, T., Bilas, G., Misopolinos, N. and Silleos, N., 2013. Impact of land cover change on soil erosion hazard in northern Jordan using remote sensing and GIS. *Procedia Environmental Sciences*: 19, 912-921.  
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.06.101>
- Arbellay, E., Stoffel, M. and Bollschweiler, M., 2010., Dendrogeomorphic reconstruction of past debris-flow activity using injured broad-leaved trees. *Earth Surface Processes and Landforms*, 4(35), 399-406. <https://doi.org/10.1002/esp.1934>
- Ballesteros-Cánovas, J.A., Bodoque, J., Lucía, A., Martín-Duque, J.F., Díez-Herrero, A., Ruiz-Villanueva, V., Rubiales, J. and Genova, M., 2013. Dendrogeomorphology in badlands: methods, case studies and prospects. *Catena*, 106, 113-122.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.009>
- Blanco, H. and Lal, R., 2008. Principles of soil conservation and management, Springer New York.
- Bodoque, J., Lucía, A., Ballesteros, J., Martín-Duque, J.F., Rubiales, J.M. and 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*, 3(134), 417-425.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.07.016>
- Bouaziz, M., Leidig, M. and Gloaguen, R., 2011. Optimal parameter selection for qualitative regional erosion risk monitoring: A remote sensing study of SE Ethiopia. *Geoscience Frontiers*, 2(2), 237-245.  
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.03.004>
- Cantón, Y., Solé-Benet, A., De Vente, J., Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Asensio, C. and Puigdefábregas, J., 2011. A review of runoff generation and soil erosion across scales in semiarid south-eastern Spain, *Arid Environments*, 12(75), 1254-1261.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.03.004>
- Caster, A., Stoffel, M., Crespo, S., Villalba, R., Corona, C. and Bianchi, E., 2015. Dendrogeomorphic reconstruction of flash floods in the Patagonian Andes, *Geomorphology*, 228, 116-123.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.08.022>
- Cook, E.R., Briffa, K., Shiyatov, S. and Mazepa, V., 1990. Tree-ring standardization and growth-trend estimation. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*.
- Domínguez-Castillo, V., Bovi, R.C., Chartier, M.P., Tomazello filho, M. and Cooper, M., 2020. Using dendrogeomorphology to estimate soil erosion in mixed native species and pine forests on Ultisols in Piracicaba, Brazil. *Geoderma Regional*, 21, e00276.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00276>
- Fang, H., Sun, L., Qi, D. and Cai, Q., 2012. Using <sup>137</sup>Cs technique to quantify soil erosion and deposition rates in an agricultural catchment in the black soil region, Northeast China. *Geomorphology*, 169, 142-150.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.04.019>
- García-Ruiz, J.M. 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 1(81), 1-11.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.001>
- Gärtner, H., 2007. Tree roots—methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes. *Geomorphology*, 3(86), 243-251.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.001>
- Gärtner, H., Schweingruber, F.H. and Dikau, R., 2001. Determination of erosion rates by

- analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots. *Dendrochronologia*, 19(1), 81-91.  
<https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A2853>
- Gärtner, H., Stoffel, M., Lièvre, I., Conus, D., Grichting, M. and Monbaron, M., 2003. Debris-flow frequency derived from tree-ring analyses and geomorphic mapping, Valais, Switzerland. International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Proceedings, Davos, Switzerland, 1, 201-207.
- Giménez, R., Marzoff, I., Campo, M., Seeger, M., Ries, J., Casali, J. and Alvarez-Mozos, J., 2009. Accuracy of high-resolution photogrammetric measurements of gullies with contrasting morphology. *Earth Surface Processes and Landforms: The British Geomorphological Research Group*, 14(34), 1915-1926.  
<https://doi.org/10.1002/esp.1868>
- Godfrey, A.E., Everitt, B.L. and Duque, J.F.M., 2008. Episodic sediment delivery and landscape connectivity in the Mancos Shale badlands and Fremont River system, Utah, USA. *Geomorphology*, 2(102), 242-251.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.002>
- Green, C.P., 1982. Assessment of erosion. *Earth Science Reviews*, 18, 77-78.
- Grissino-Mayer, H.D., 1993. An updated list of species used in tree-ring research.
- Hosseinzadeh, M.M., Matsh Beyranvand, S. and Esmaili, R., 2020. Analysis of channel bank erosion rate using exposed roots of trees: a case study of lavij stream, northern Alborz Mountains, Iran, *Mountain Science*, 17, 1096-1105. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5558-9>
- Kasanin-Grubin, M. and Bryan, R., 2007. Lithological properties and weathering response on badland hillslopes. *Catena*, 70(1), 68-78.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.08.001>
- Larson, W.E., Pierce, F.J. and Dowdy, R.H., 1983. The threat of soil erosion to long-term crop production. *Science*, 219(4584), 458-465.  
<https://doi.org/10.1126/science.219.4584.458>
- Lucia, A., Laronne, J.B. and Martin-Duque, J.F., 2011. Geodynamic processes on sandy slope gullies in central Spain field observations, methods and measurements in a singular system. *Geodinámica acta*, 24(2), 61-79.  
<http://dx.doi.org/10.3166/ga.24.61-79>
- Martinez-Casasnovas, J., Ramos, M. and Ribes-Dasi, M., 2002. Soil erosion caused by extreme rainfall events: mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models. *Geoderma*, 105(1-2), 125-140.  
[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00096-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00096-9)
- Martínez-Murillo, J.F., López-Vicente, M., Poesen, J. and Ruiz-Sinoga, J.D., 2011. Modelling the effects of land use changes on runoff and soil erosion in two Mediterranean catchments with active gullies (South of Spain), *Landform Analysis*, 17, 99-104.  
<https://www.researchgate.net/publication/256443620>
- Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C. and García-Hernández, D., 2009. Effects of land-use changes in vegetation cover and sidewall erosion in a gully head of the Penedès region (northeast Spain). *Earth Surface Processes and Landforms: The British Geomorphological Research Group*, 34(14), 1927-1937.  
<https://doi.org/10.1002/esp.1870>
- Mathys, N., Brochet, S., Meunier, M. and Richard, D., 2003. Erosion quantification in the small marly experimental catchments of Draix (Alpes de Haute Provence, France). Calibration of the ETC rainfall-runoff-erosion model, *Catena*, 50(1-2), 527-548.  
[https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(02\)00122-4](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00122-4)
- Mayer, B., Stoffel, M., Bollschweiler, M., Hübl, J. and Rudolf-Miklau, F., 2010. Frequency and spread of debris floods on fans: a dendrogeomorphic case study from a dolomite catchment in the Austrian Alps. *Geomorphology*, 118(1-2), 199-206.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.12.019>
- Montgomery, D.R., 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268-13272. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104>
- Nosrati, K., Feiznia, S., Van Den Eeckhaut, M. and Duiker, S.W., 2011. Assessment of soil erodibility in Taleghan Drainage Basin, Iran, using multivariate statistics. *Physical Geography*, 32(1), 78-96.  
<https://doi.org/10.2747/0272-3646.32.1.78>
- Nosrati, K., Haddadchi, A., Zare, M.R. and Shirzadi, L., 2015. An evaluation of the role of hillslope components and land use in soil erosion using <sup>137</sup>Cs inventory and soil organic carbon stock. *Geoderma*, 243, 29-40.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.008>
- Pacheco, F., Varandas, S., Fernandes, L.S. and Junior, R.V., 2014. Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Science of the Total Environment*, 485, 110-120.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.069>
- Parsons, A. and Foster, I.D., 2011. What can we learn about soil erosion from the use of <sup>137</sup>Cs?

- Earth-Science Reviews, 108(1-2), 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.06.004>
- Pelacani, S., Märker, M. and Rodolfi, G., 2008. Simulation of soil erosion and deposition in a changing land use: a modelling approach to implement the support practice factor. *Geomorphology*, 99(1-4), 329-340. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.11.010>
- Quesada-Román, A., Ballesteros-Cánovas, J.A., Granados-Bolaños, S., Birkel, C. and Stoffel, M., 2020. Dendrogeomorphic reconstruction of floods in a dynamic tropical river, *Geomorphology*, 359, 107133. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107133>
- Romero-Díaz, A., Marín-Sanleandro, P. and Ortiz-Silla, R., 2012. Loss of soil fertility estimated from sediment trapped in check dams. South-eastern Spain. *Catena*, 99, 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.07.006>
- Shakesby, R., 2011. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: review and future research directions. *Earth-Science Reviews*, 105(3-4), 71-100. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.001>
- Shen, Z., Gong, Y., Li, Y., Hong, Q., Xu, L. and Liu, R., 2009. A comparison of WEPP and SWAT for modeling soil erosion of the Zhangjiachong Watershed in the Three Gorges Reservoir Area. *Agricultural Water Management*, 96(10), 1435-1442. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.017>
- Silhan, K., 2015. Frequency, predisposition, and triggers of floods in flysch Carpathians: regional study using dendrogeomorphic methods, *Geomorphology*, 234, 243-253. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.12.041>
- Silhan, K. and Stoffel, M., 2015. Impacts of age-dependent tree sensitivity and dating approaches on dendrogeomorphic time series of landslides. *Geomorphology*, 236, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.02.003>
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Butler, D.R. and Luckman, B.H., 2010. Tree rings and natural hazards: a state-of-art, Springer Science and Business Media.
- Stoffel, M., Butler, D.R. and Corona, C., 2013a. Mass movements and tree rings: A guide to dendrogeomorphic field sampling and dating. *Geomorphology*, 200, 106-120. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.017>
- Stoffel, M., Corona, C., Ballesteros-Cánovas, J.A. and Bodoque, J.M., 2013b. Dating and quantification of erosion processes based on exposed roots. *Earth-Science Reviews*, 123, 18-34. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.002>
- Stoffel, M. and Huggel, C., 2012. Effects of climate change on mass movements in mountain environments. *Progress in physical geography*, 36(3), 421-439. <https://doi.org/10.1177%2F0309133312441010>
- Theocharopoulos, S., Florou, H., Walling, D., Kalantzos, H., Christou, M., Tountas, P. and Nikolaou, T., 2003. Soil erosion and deposition rates in a cultivated catchment area in central Greece, estimated using the <sup>137</sup>Cs technique. *Soil and Tillage Research*, 69(1-2), 153-162. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00136-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00136-8)
- Wijitkosum, S., 2012. Impacts of land use changes on soil erosion in Pa Deng sub-district, adjacent area of Kaeng Krachan National Park, Thailand. *Soil and Water Research*, 7(1), 10-17. <https://doi.org/10.17221/32/2011-SWR>
- Zhang, Y., Zhu, S., Zhang, W. and Liu, H., 2019. Analysis of deformation characteristics and stability mechanisms of typical landslide mass based on the field monitoring in the Three Gorges Reservoir, China. *Earth System Science*, 128(9), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12040-018-1036-y>
- Zhu, M., Tan, S., Dang, H. and Zhang, Q., 2011. Rare earth elements tracing the soil erosion processes on slope surface under natural rainfall, *Environmental radioactivity*, 102(12), 1078-1084. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.07.007>