



ارزیابی تأثیرات شیوه بهره‌برداری نواری جنگل بر میزان فرسایش خاک (مطالعه موردی: جنگل چفرود گیلان)

شهریار صبح زاهدی^۱، رامین نقدی^{۲*}، محمدرضا غریب‌رضا^۳، علی صالحی^۴ و قوام‌الدین زاهدی^۵

^۱ دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا.

^۲ استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا.

^۳ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.

^۴ دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا.

^۵ استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۹)

چکیده

تحقیق حاضر برای نخستین بار، نرخ فرسایش خاک را با استفاده از روش رادیوایزوتوپی در جنگل‌های هیرکانی که با شیوه بهره‌برداری نواری در سه دهه قبل برداشت شده است نشان می‌دهد. براساس سوابق موجود، عرصه منتخب در پارسل ۷۰۳ حوزه چفرود گیلان انتخاب شد. در عملیات میدانی، به‌منظور بررسی پایداری خاک، با صفحه تراش از اعماق مختلف در منطقه مرجع به‌صورت طبقات ۲ تا ۳۰ سانتی‌متری (حداکثر عمق نفوذ سزیم) نمونه‌برداری شد. سپس در مناطق مرجع، برداشت‌شده و بهره‌برداری نشده، نمونه‌هایی با توجه به طول نوار و وضعیت توپوگرافی منطقه با دستگاه مغزه‌گیر هسته برداشت شد. نمونه‌ها مطابق دستورالعمل IAEA آماده و مقدار رادیوسزیم آنها در آزمایشگاه سازمان انرژی اتمی شمارش شد. میانگین فعالیت سزیم ۱۳۷ نقاط نمونه‌برداری مرجع ۵۸۹۴/۱ بکرل بر متر مربع محاسبه شد. بنابراین برای دستیابی به اهداف پژوهش، با استفاده از سه مدل توازن جرمی I و II و تبدیل تناسبی، مقدار فرسایش در نوار طبیعی برداشت‌نشده این مقدار ۰/۲، ۰/۷ و ۰/۶ تن در هکتار در سال است، در حالی که در نوار برداشت‌شده این مقدار به ترتیب ۸/۸۷، ۵/۸۰ و ۴/۷۷ تن در هکتار در سال افزایش یافته است. این فرایند پس از گذشت ۲۹ سال از بهره‌برداری، به‌طور متوسط، موجب هدررفت خاک به مقدار ۱/۲ میلی‌متر در نوار برداشت‌شده و ۰/۹ میلی‌متر در قسمت طبیعی در سال شده است. نتایج نشان داد که از این روش می‌توان در بررسی مباحث هیدرولوژی جنگل استفاده کرد. همچنین می‌توان به تأثیر حفاظتی جنگل در کاهش فرسایش و حفظ خاک اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: بازپخش خاک، برداشت جنگل، جنگل هیرکانی، رادیونوکلئید بارشی، سزیم ۱۳۷.

بهره‌برداری جنگل (Wagenbrenner et al., 2016)

موجب تشدید آن می‌شود. روش بهره‌برداری در سه دهه قبل، در طرح‌های جنگلداری شمال ایران کاربرد یافته است. در این شیوه، برش به‌صورت نوارهایی که

مقدمه

فرسایش خاک فرایندی طبیعی است که برخی فعالیت‌های انسانی مانند جاده‌سازی، تغییر کاربری (Gharibreza et al., 2013; Nosrati et al., 2017) و

یافته‌اند (Gaspar et al., 2013; Mabit et al., 2008). تحقیقات متعدد در محیط‌های مختلف نشان می‌دهد که استفاده از این ایزوتوپ‌ها به صورت مستقل یا ترکیبی، برای ارزیابی مقدار فرسایش خاک یا تجمع رسوب ارزشمند است و مزایای بسیاری نسبت به روش‌های پایش یا مدل‌سازی معمول دارد (Mabit et al., 2008, 2014; Porto & Walling, 2012). مزایای اصلی آن، ارزیابی میان‌مدت (۵۰ ساله) مقدار فرسایش و رسوب براساس بازدید از منطقه به منظور جمع‌آوری اطلاعات توزیع شده برای نقاط مختلف حوضه است که برای بررسی الگوهای فضایی توزیع خاک و همچنین اعتبارسنجی مدل‌های فرسایش نیز کاربرد دارد (He & Walling, 2003). روش نمونه‌گیری آن نسبتاً ساده و مقرون به صرفه است و می‌تواند در زمانی کوتاه بسته به تراکم نمونه برداری و اندازه منطقه تحت بررسی کامل شود. جابه‌جایی خاک در طول نمونه برداری نیز کم است و با فعالیت‌های بذر و کشت تداخل نمی‌کند. به علاوه هیچ‌گونه تداخل رواناب طبیعی و فرایندهای فرسایش همانند محدوده کرت فرسایشی وجود ندارد (Mabit et al., 2008). هزینه‌های این روش تنها شامل هزینه حمل و نقل به عرصه، برداشت نمونه و شمارش موجودی سزیم ۱۳۷ خاک است. Walling & Quine (1992) استدلال کرده‌اند که پراکنش مجدد آن اصولاً با تحولات فیزیکی خاک مانند فرسایش و شخم همراه است و به همین علت می‌تواند به عنوان ردیاب محیطی مناسب برای تعیین جابه‌جایی خاک از طریق فرسایش آبی یا بادی به کار رود. سزیم ۱۳۷ منبع طبیعی ندارد و در طی شکافت هسته‌ای آزمایش‌های هسته‌ای و آزادسازی از راکتورهای هسته‌ای ایجاد می‌شود که نیمه‌عمری معادل ۳۰/۱۷ سال دارد و اشعه گاما با انرژی ۶۶۱/۶ keV ساطع می‌کند (Poreba, 2006). اساس محاسبه فرسایش به روش رادیوسزیم بر مبنای مقایسه مقدار ذخیره سزیم ۱۳۷ (برحسب بکرل بر

عرض آنها یک تا دو برابر طول درختان قطع شده است، انجام می‌گیرد. در شیوه برش نواری کلاسیک، جنگل به قطعات منظم تقسیم می‌شود و هر ساله در یکی از این قطعات برش صورت می‌گیرد (Marvie Mohadjer, 2005). در صورت استقرار نیافتن زادآوری یا به منظور کمک به تجدید حیات، از جنگلکاری نیز استفاده می‌شود. برداشت چوب و بهره‌برداری جنگل، موجب افزایش دبی اوج جریان آب می‌شود (Naghdi et al., 2015). Etehad Abari et al. (2017) گزارش کرده‌اند که مقدار رواناب، ضریب رواناب و غلظت رسوب در منطقه بهره‌برداری شده به روش تک‌گزینی، به ترتیب ۱/۴، ۲/۳ و ۱/۱۶ برابر بیشتر از منطقه شاهد (بدون بهره‌برداری) بوده است. قطع یکسره سبب نرخ از دست دادن خاک ۰/۵۴ میلی‌گرم در یک هکتار در سال می‌شود (Borrelli et al., 2017). هزینه جهانی سالانه فرسایش خاک و رسوب‌گذاری آن در پایین دست در حدود ۴۰۰ میلیارد دلار برآورد شده است (Pimentel, 2006). براساس برآوردهای فائو، بیش از ۵۶ میلیون هکتار از اراضی ایران در نتیجه فعالیت‌های انسانی در معرض فرسایش آبی بیشتر از ۱۰ تن در هکتار در سال است. کاهش شایان توجه عملکرد حوضه‌های آبخیز ایران به دلیل حجم زیاد فرسایش، بیانگر ضرورت روزافزون پایش و پیگیری این پدیده مخرب است. در این زمینه، به کارگیری روش‌های نو و دانش روز اهمیت زیادی دارد (Alipour et al., 2013). به منظور تخمین فرسایش خاک، روش‌های کمی و کیفی متعددی، ابداع و استفاده شده است، اندازه‌گیری فرسایش خاک و مقدار رسوب به صورت مستقیم به دلیل زمان‌بر و هزینه‌بر بودن در بسیاری از حوضه‌های آبخیز غیرممکن است. بنابراین برای رفع این مشکل می‌توان از مدل‌های فرسایشی استفاده کرد (IAEA, 2014). استفاده از رادیونوکلوئیدهای ریزشی سزیم ۱۳۷ و سرب ۲۱۰ به طور فزاینده‌ای برای ارزیابی مقدار فرسایش خاک در سراسر جهان به کار رفته و اعتبار

رفته بودند، کاهش یافته بود. هدف پژوهش حاضر، بررسی کاربرد رادیویازوتوپ سزیم ۱۳۷ در بررسی مباحث هیدرولوژی جنگل و همچنین برای اولین بار تعیین نرخ فرسایش و مقدار هدررفت خاک ناشی از شیوه بهره‌برداری نواری است که در سه دهه قبل، در جنگل‌های هیرکانی شمال کشور تحت سرپرستی شرکت شفاورد در غرب استان گیلان انجام گرفته بود.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

محدوده تحقیق، سری ۷ اورما در حوزه ۱۰ چفرود بین مختصات جغرافیایی $30^{\circ} 30' 10''$ تا $37^{\circ} 30' 45''$ عرض شمالی و $49^{\circ} 03' 50''$ تا $49^{\circ} 04' 24''$ طول شرقی در شهرستان رضوانشهر استان گیلان واقع شده است (شکل ۱). مساحت کل سری بالغ بر $1577/97$ هکتار است. میانگین بارندگی حوضه $1007/9$ میلی‌متر است. از نظر موقعیت رویشگاهی محدوده مورد پژوهش در ارتفاع میان‌بند و بین حداقل 300 متر و حداکثر 600 متر از سطح دریا واقع شده است. با توجه به وضعیت میانگین ارتفاعی رویشگاه، از جنگل آمیخته پهن‌برگ با تنوع درختی بسیار تشکیل شده است. از لحاظ نسبت فراوانی گونه ممرز با $19/23$ درصد و بلوط $5/62$ درصد، توسکا $10/98$ درصد، گونه‌های صنعتی مانند افرا، شیردار، نمدار، ملج، آزاد، گیلان وحشی $16/94$ درصد و سایر گونه‌ها نظیر انجیلی، خرمندی، لیلکی، لرگ و کاج تنها $46/79$ درصد سطح سری را تشکیل می‌دهند. بررسی‌ها نشان می‌دهد در منطقه مذکور در سال 1369 با تمرکز برداشت در ده پارسل شامل قطعات 701 تا 710 به مساحت 575 هکتار با شیوه قطع یکسره و نواری متناوب و لکه‌ای حجمی معادل 25561 متر مکعب برداشت شده است (Tarahan Sabz Alborz Consulting Engineers, 2015). منطقه مورد پژوهش بین شیب 50 – 30 درصد قرار دارد. تقریباً 80 درصد بافت خاک از سیلت و رس تشکیل شده است.

متر مربع) موجود در خاک در معرض فرسایش با ذخیره رادیو سزیم در سایت مرجع^۱ است. منطقه مرجع، عرصه‌ای است که از آغاز سال 1950 کشت یا تخریب نشده باشد. این سایت باید از زمان اولین واقعه جهانی بارش سزیم 137 (1954) ثابت بوده باشد. از مرتع دائمی اطراف محل پژوهش یا منطقه‌ای از جنگل دست‌نخورده مسطح و همچنین در برخی شرایط از مناطقی مانند باغ‌ها، گورستان‌ها، قطعه‌ای از باغ میوه، باغ‌ها، تاکستان‌ها و باتلاق‌ها نیز می‌توان به‌عنوان مکان‌های مرجع مناسب استفاده کرد (IAEA, 2014). کاهش نسبی سزیم 137 در خاک نسبت به نمونه مرجع، نشان‌دهنده هدررفت خاک و فرسایش و افزایش نسبی سزیم 137 نسبت به نمونه مرجع نشان‌دهنده انباشت خاک و رسوب در طول دامنه است. (Nosrati et al., 2017). نرخ فرسایش خاک را برای کاربری‌های حوضه آبخیز زیارت گرگان با استفاده از عنصر رادیواکتیو سزیم 137 برآورد کردند. در آن پژوهش اراضی کشاورزی با میزان $39/8$ و اراضی جنگلی با $5/2$ تن در هکتار در سال، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان فرسایش را به خود اختصاص دادند. همچنین (Azmodeh et al., 2010). فرسایش در خاک‌های تحت پوشش کاربری‌های جنگل، زراعی و باغ را با استفاده از شبیه‌ساز باران بررسی کرده و مقدار فرسایش خاک در اراضی زراعی و باغ را به ترتیب $1/76$ و $1/36$ برابر کاربری جنگل اندازه‌گیری کردند. پژوهش‌های انجام‌گرفته (Gharibreza et al., 2013) که تغییر کاربری اراضی و برآورد توزیع مجدد خاک با استفاده از سزیم 137 را در مناطق گرمسیری دریاچه حوضه آبریز BERA، مالزی بررسی کرده‌اند، نشان داد که میانگین نرخ فرسایش در مناطقی که قطع یکسره صورت گرفته بود، $915 \pm 345 \text{ t h}^{-1} \text{ y}^{-1}$ برآورد شد، در صورتی که این مقدار به 117 ± 36 و $70 \pm 35 \text{ t h}^{-1} \text{ y}^{-1}$ برای زمین‌هایی که به ترتیب زیر کشت نخل روغنی و چوب لاستیک

(بکرل بر متر مربع)؛ R: نرخ فرسایش (کیلوگرم بر متر مربع در سال)؛ d: عمق جرم انباشتگی نشان‌دهنده عمق متوسط شخم یا جابه‌جایی خاک (کیلوگرم بر متر مربع)؛ λ: ثابت واپاشی سزیم ۱۳۷ (در سال)؛ I(t): ریزش رسوب سالانه سزیم ۱۳۷ (بکرل بر متر مربع در سال)؛ Γ: نسبت جابه‌جایی سزیم ۱۳۷ تازه رسوب‌یافته در اثر فرسایش قبل از مخلوط شدن با لایه شخم.

پس‌زمینه ریاضی مدل‌های تبدیل رادیونوکلوئیدهای ریزشی (FRNs) که اخیراً نیز توسط Walling et al. (2014) تصحیح شده است (Rabesiranana et al., 2016)، همه محاسبات لازم مربوط به مدل‌های تبدیل برای رادیونوکلوئیدهای ریزشی سزیم ۱۳۷، سرب مازاد ۲۱۰ و بریلیوم ۷ را در خود دارد و به‌عنوان یک بسته نرم‌افزاری مناسب براساس یک ماکرو قابل اجرا در نرم‌افزار اکسل (Add in) در سایت IAEA^۱ موجود است و قابلیت دریافت و بهره‌برداری به‌صورت رایگان را دارد.

نتایج

نتایج نشان داد که بین موجودی سزیم ۱۳۷ خاک و ذرات سیلت که قسمت اعظم بافت خاک را تشکیل می‌دهد، رابطه افزایشی با ضریب تعیین ۰/۷۵ برقرار است (شکل ۲). همچنین بین مواد آلی و موجودی و فعالیت سزیم رابطه توانی مستقیم با ضریب تعیین (۰/۴۲۳) وجود دارد (شکل ۳)، یعنی در افق‌های بالای خاک که بیشترین مواد آلی خاک متمرکز است، مقدار سزیم بیشتری نیز مشاهده می‌شود. به‌عبارتی بین مواد آلی و مقدار و فعالیت سزیم با توجه به افزایش عمق رابطه نزولی وجود دارد؛ یعنی با افزایش عمق که مقدار مواد آلی خاک کاهش می‌یابد، مقدار و فعالیت سزیم نیز کم می‌شود. بررسی بافت خاک نمونه‌های گرفته‌شده از نقاط مرجع نشان می‌دهد که

گرم جدا و به‌صورت پودر به اندازه ریزدانه در ظروف مخصوص دستگاه طیف‌نگار گاما آماده شد. شمارش سزیم ۱۳۷ در آزمایشگاه‌های آنالیز هسته‌ای پژوهشکده مواد و چرخه سوخت هسته‌ای پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران انجام گرفت. فعالیت سزیم ۱۳۷ از پرتوهای گاما در انرژی ۶۶۲ keV با شمارش مدت ۱۴ ساعت به‌دست آمد. همچنین پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، ارتباط بین عوامل بافت خاک، فرسایش برآوردشده با مدل‌های مختلف در مناطق بهره‌برداری شده و مناطق طبیعی دست‌نخورده در محیط برنامه SPSS 18 تجزیه و تحلیل شد.

برآورد فرسایش با مدل‌های تبدیل

با توجه به تغییرات صورت‌گرفته در خاک در زمان عملیات بهره‌برداری، حمل و نقل چوب و حفر چاله به‌منظور نهالکاری، مقدار فرسایش با مدل‌های برآورد بازپخش خاک: مدل تناسبی و مدل‌های توازن جرمی I و II محاسبه شد که متناسب با شرایط عملیات انجام‌گرفته (حفر گودال، خاک‌برداری و جابه‌جایی خاک)، کاربری اراضی و توپوگرافی حوضه‌های جنگلی است.

مدل‌های توازن جرمی

مدل‌های توازن جرمی برای ارزیابی نرخ طولانی‌مدت فرسایش آبی خاک (۵۰ و ۱۰۰ سال برای سزیم ۱۳۷ و سرب مازاد ۲۱۰) استفاده می‌شود. نرخ فرسایش برای مدل‌های توازن جرمی I و II به‌ترتیب از روابط ۱ و ۲ به‌صورت زیر محاسبه شد (Walling et al., 2014):

رابطه ۱

$$Y = [10 (B.D.X) / P] [1 - (1 - (X/100))^{1/(t-1963)}]$$

رابطه ۲

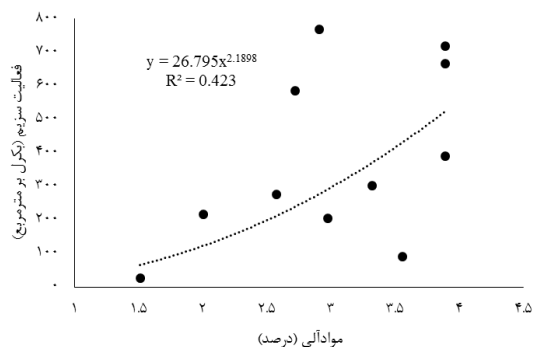
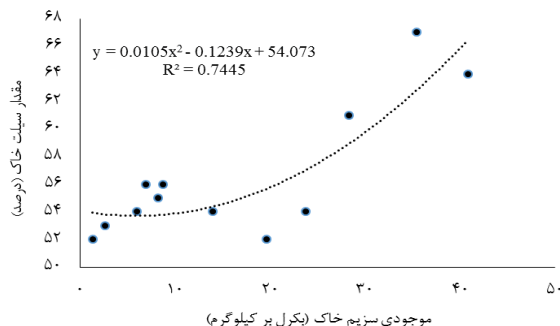
$$dA(t)/dt = (1-\Gamma)I(t) - (\lambda+P(R/d)) A(t)$$

A(t): فعالیت تجمعی سزیم ۱۳۷ در واحد سطح

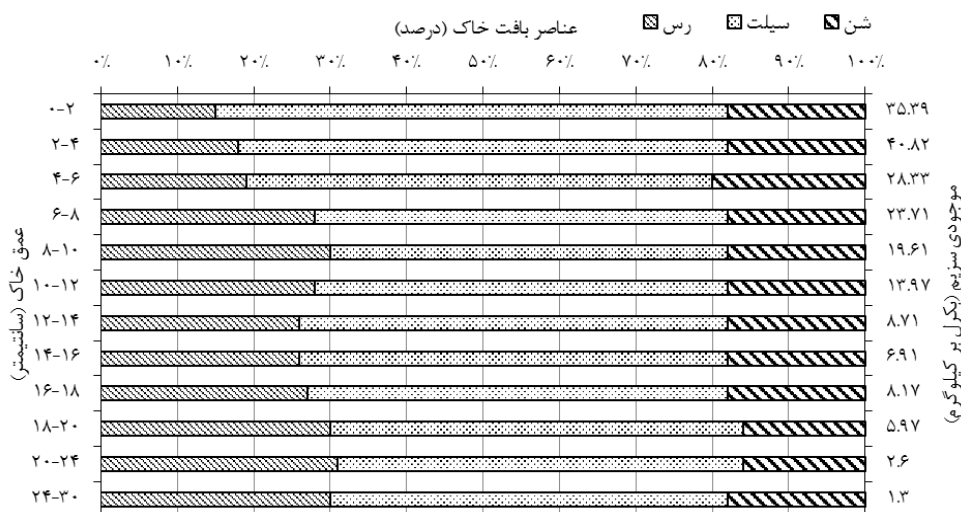
1. <http://www-naweb.iaea.org/nafa/swmn/models-toolkits.html>

ذرات ریز خاک پس از ریزش، می‌توان از این روش در این مناطق استفاده کرد.

بیش از ۵۰ درصد این خاک‌ها از سیلت و تقریباً ۳۰ درصد از رس و بقیه از ماسه تشکیل شده است (شکل ۴). بنابراین با توجه به ماهیت چسبندگی سزیم به



شکل ۲- رابطه فراوانی سیلت با موجودی سزیم در منطقه مرجع شکل ۳- رابطه توانی فعالیت سزیم با مواد آلی در منطقه مرجع



شکل ۴- بافت خاک در اعماق مختلف منطقه مرجع

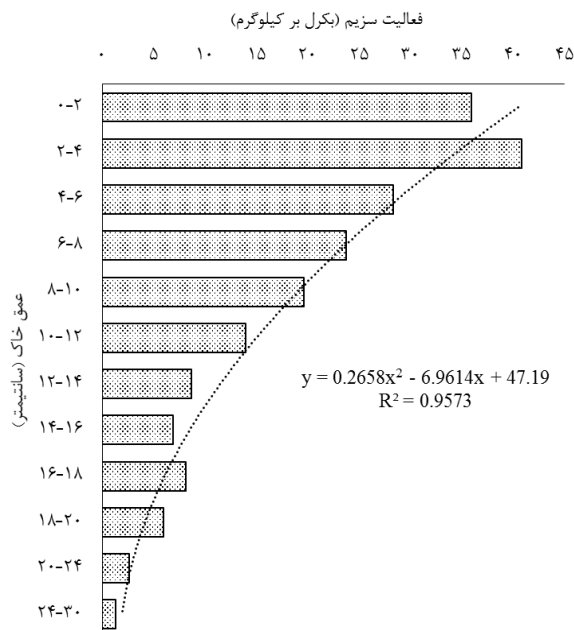
خاک در این نقاط است، بنابراین می‌توان از نتایج آن در برآورد محاسبات استفاده کرد. بیشترین مقدار سزیم در افق‌های ۰-۲ و ۲-۴ سانتی‌متری خاک در مناطق مرجع به ترتیب به مقدار ۳۵/۹۵ و ۴۰/۸۳ بکرل بر کیلوگرم وجود دارد.

مجموع فعالیت سزیم ۱۳۷ نقاط نمونه‌برداری ۵۸۹۴/۱ بکرل بر متر مربع محاسبه شد که مبنای محاسبه فرسایش و رسوب منطقه مطالعه در نظر

توزیع نمایی فعالیت سزیم نسبت به عمق نقاط نمونه‌برداری حاصل از نمونه‌های برداشت‌شده در منطقه مرجع در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان داد، بین مقدار سزیم با عمق خاک در منطقه مرجع، رابطه نزولی با ضریب تعیین $(R^2 = 0.957)$ برقرار است؛ یعنی با افزایش عمق، مقدار سزیم کاهش می‌یابد. به عبارتی، نقاط شاهد از پایداری برخوردار بوده و نشان‌دهنده به هم نخوردن

نوار برداشت‌شده و مقدار ۵۸/۱، ۲۱/۶ و ۴/۹ بکرل بر کیلوگرم را در نوار طبیعی باقی‌مانده نشان می‌دهد.

گرفته شد. نتایج شمارش مقدار سزیم ۱۳۷ هر یک از نمونه‌های گرفته‌شده، به ترتیب مقدار بیشینه، متوسط و کمینه ۴۹/۱، ۲۶/۶ و ۸/۹ بکرل بر کیلوگرم را در



شکل ۵- توزیع نمایی سزیم در افق‌های مختلف خاک در منطقه مرجع

فرسایش برآوردشده با استفاده از مدل‌های تبدیل تناسبی، توازن جرمی I و II، در نوار طبیعی باقی‌مانده، ۰/۶، ۰/۷، و ۰/۲ تن در هکتار در سال بوده، درحالی که این مقدار در نوار بهره‌برداری شده به ترتیب ۴/۷۷، ۵/۸۰ و ۸/۸۷ تن در هکتار در سال است (جدول ۱).

با توجه به این نکته که هنگام بهره‌برداری به‌واسطه حضور ماشین‌آلات سنگین بدین منظور و حمل‌ونقل چوب و سپس حفر گودال به‌منظور احیا و جنگلکاری، خاک در منطقه دچار دست‌خوردگی می‌شود، برای برآورد فرسایش در منطقه از مدل‌های تناسبی، توازن جرمی I و II استفاده شد. مقدار

جدول ۱- فرسایش ویژه خاک در نوارهای باقیمانده طبیعی و برداشت‌شده در حوضه ۱۰ چفروود

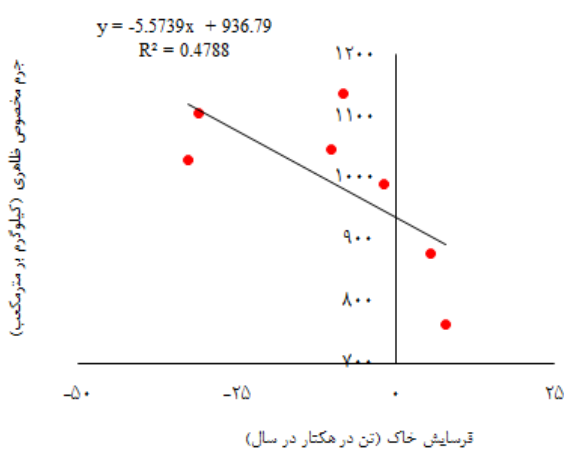
نرخ از دست دادن خاک (درصد)	جرم چگالی مخصوص ظاهری (کیلوگرم بر متر مکعب)	توازن جرمی II	توازن جرمی I	مدل تناسبی	فرسایش (تن در هکتار)
۳/۱۱	۱۱۵۴/۹۶	۰/۲	۰/۷	۰/۶	نوار طبیعی باقی‌مانده
۳/۵۱	۹۶۷/۳۵	۸/۸۷	۵/۸۰	۴/۷۷	نوار برداشت شده

ریخته است، به عبارتی با توجه به عمق متوسط در نظر گرفته‌شده برای کاشت نهال‌ها (۲۵۰ کیلوگرم بر متر

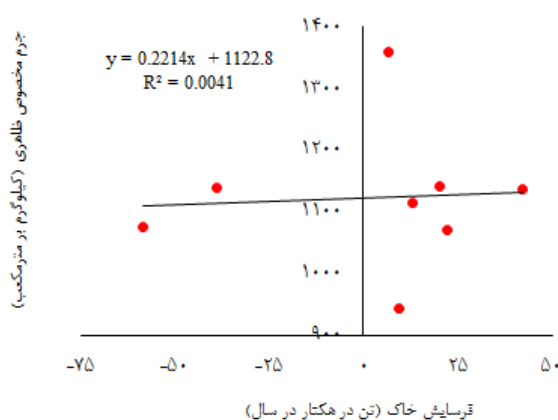
نتایج بررسی داده‌ها (جدول ۱) نشان می‌دهد که بالغ بر ۳/۵۱ درصد از خاک پس از بهره‌برداری به هم

شده است.

شکل ۶ نمایانگر رابطه بین جرم (وزن) مخصوص ظاهری خاک با نرخ فرسایش در مناطق نوار طبیعی دست‌نخورده و مناطق برداشت‌شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود، در نوار برداشت‌شده، نقاطی که دارای جرم مخصوص ظاهری بالاتری هستند، میزان نرخ فرسایش آنها نیز بیشتر است.



مربع) در طی دوره بعد از بهره‌برداری معادل ۹۰/۷۱ کیلوگرم بر متر مربع هدر رفته است. از طرفی با توجه به وزن مخصوص خشک به‌دست‌آمده برای این ترانسکت (۹۶۷/۳۵ کیلوگرم بر متر مکعب)، این سطح از فرسایش معادل ۹/۷ میلی‌متر است. بدین ترتیب در بازه ۲۹ ساله بین زمان بهره‌برداری و سال نمونه‌برداری، نرخ متوسط سالانه هدررفت خاک در دامنه مورد پژوهش، ۰/۲۶ میلی‌متر در سال برآورد



شکل ۶- رابطه رگرسیونی بین جرم مخصوص ظاهری خاک با نرخ فرسایش در مناطق نوار طبیعی (راست) و نوار برداشتی (چپ)

فرسایش کاربری‌های موجود پرداخته‌اند که از آن جمله می‌توان به تحقیقات (Nosrati et al. 2017) و همچنین (Azmodeh et al. 2010) اشاره کرد. توزیع نمایی ذخیره رادیوسزیم در نیمرخ خاک پیش‌فرض دست‌نخورده بودن محل نمونه مرجع است که با افزایش عمق ذخیره رادیوسزیم به‌دلیل فروپاشی کاهش یافته باشد. بررسی توزیع سزیم در اعماق مختلف خاک و وجود روند نزولی موجود نشان‌دهنده انتخاب یک منطقه مرجع مناسب است. این نکته بسیار حائز اهمیت است، به‌گونه‌ای که در همه پژوهش‌هایی که به برآورد فرسایش با استفاده از روش‌های رادیونوکلوئید بارشی می‌پردازند، این قسمت بررسی می‌شود، زیرا دقت نتایج، ارتباط زیادی به

بحث

پژوهش حاضر برای اولین بار از روش رادیویزوتوپ بارشی سزیم ۱۳۷ برای تعیین تأثیرات شیوه‌های بهره‌برداری در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران استفاده کرده است. تاکنون، روش مشخصی برای کمی‌سازی این تأثیرات در کشور معرفی نشده است. از آنجا که بهره‌برداری از جنگل در کشور، روند پرتحولی از قطع یکسره، نواری و تک‌گزینی را تجربه کرده است، هیچ رویکرد و روش مدونی در شناخت تأثیر این روش‌ها به‌ویژه بر فرسایش خاک در برنامه مدیریت بهره‌برداری و حفاظت از منابع طبیعی در دستور کار تصمیم‌سازان وجود نداشته است. پژوهش‌های انجام‌گرفته در این زمینه، به بررسی نرخ

بنابراین وقتی خاک در معرض ضربات مستقیم باران و رواناب قرار می‌گیرد، موجب تفرق ذرات خاک و تشدید فرسایش در مناطق برداشت می‌شود. البته این نتیجه با یافته‌های برخی تحقیقات (Gharibreza et al., 2013; Etehad Abari et al., 2017) تطابق دارد. نتایج بررسی رابطه بین جرم مخصوص ظاهری خاک با میزان فرسایش در منطقه بهره‌برداری شده تحت مطالعه نشان داد که بین آنها رابطه مستقیم وجود دارد. در مناطق برداشت‌شده، به‌واسطه حضور ماشین‌آلات سنگین به‌منظور قطع، تبدیل و خروج چوب، خاک منطقه کوبیده شده و در نتیجه فشرده شدن، کاهش خلل و فرج، قدرت جذب و نگهداری آن کاهش می‌یابد و موجب افزایش رواناب و فرسایش می‌شود (Fernandez & Vega, 2016). نتایج این تحقیق، هم‌راستا با نتایج پژوهش‌هایی است که تأیید می‌کنند جرم مخصوص ظاهری خاک در کاهش نفوذپذیری خاک و در نتیجه افزایش رواناب و فرسایش خاک اثرگذار است (Adekalu et al., 2006). همچنین بررسی تجزیه و تحلیل داده‌ها در بین مناطق برداشت‌شده و مناطق دست‌نخورده نشان می‌دهد که بین فرسایش برآوردی در مناطق فوق تفاوت معنی‌داری وجود دارد. در مناطق بهره‌برداری‌شده با کاهش تاج‌پوشش ناشی از برداشت، حضور ماشین‌آلات و کاهش قدرت نفوذپذیری خاک، میزان نرخ فرسایش همان‌طور که در نتیجه پژوهش‌های Etehad Abari et al. (2017) نیز آمده، بیشتر از سایر مناطقی است که مورد بهره‌برداری واقع نشده است.

به‌طور کلی هر گونه دخالت در محدوده جنگل به‌ویژه فعالیت‌های عمرانی و توسعه‌ای موجب کاهش پوشش گیاهی، ایجاد رواناب و از بین رفتن ماده حیاتی خاک می‌شود که بازسازی آن در شرایط حال حاضر زندگی انسانی، غیرممکن و جبران‌ناپذیر است. در این پژوهش، تأثیر یکی از فعالیت‌های بهره‌برداری جنگل، در فرایند فرسایش بررسی شده است. می‌توان از نتایج

مقدار رادیوسزیم ۱۳۷ به‌دست‌آمده در این قسمت دارد. همان‌طور که در پژوهش (Mabit et al., 2008) نیز آمده است، برآورد نرخ فرسایش خاک براساس مقایسه موجودی رادیوسزیم ۱۳۷ (فعالیت ناحیه‌ای) در عرصه پژوهش با موجودی رادیوسزیم ۱۳۷ در مناطق باثبات و دست‌نخورده به‌عنوان مناطق مرجع به‌دست می‌آید و مهم است که هیچ فرسایش خاک یا رسوبی در مناطق مرجع رخ نداده باشد و اطمینان حاصل شود که موجودی مرجع نشان‌دهنده ورودی ذرات اصلی است. نتیجه پژوهش‌های Walling et al. (2014) به‌عنوان صاحب‌نظر این رشته و دستورالعمل IAEA در استفاده از رادیونوکلوئیدها برای پژوهش‌های فرسایش خاک، تأییدکننده این مطلب است. رابطه مستقیم بین مواد آلی و موجودی یا فعالیت سزیم که در پژوهش‌های Matinfar et al. (2011) نیز مشاهده شده است، نشان‌دهنده سطوح جذب زیاد برای جذب کردن این رادیونوکلوئید در محل‌های غیرفرسایشی است. فعالیت کل سزیم نقاط نمونه‌برداری در منطقه مرجع ۵۸۹۴/۱ بکرل بر متر مربع محاسبه شد که البته این میزان با پژوهش Matinfar et al. (2011) در نقاط دیگر که مقدار ۵۰۷۰ بکرل بر متر مربع را گزارش کردند، همخوانی دارد.

برآورد مقدار فرسایش درازمدت در منطقه پژوهش با استفاده از مدل‌های تبدیل تناسبی، توازن جرمی I و II، نشان داد که این مقدار در نوار برداشت، به‌واسطه عملیات بهره‌برداری شده به ترتیب ۴/۷۷، ۵/۸۰ و ۸/۸۷ تن در هکتار در سال و بسیار بیشتر از نقاط طبیعی و دست‌نخورده با مقدار ۰/۲، ۰/۷، و ۰/۶ تن در هکتار در سال است. علت کمتر بودن فرسایش در نقاط طبیعی را می‌توان در نقش جنگل‌ها در حفاظت از خاک دانست. با اجرای عملیات بهره‌برداری جنگل، سطح تاج‌پوشش درختان از بین می‌رود و مقدار نفوذ آب، تبخیر و تعرق و باران‌ریایی درختان کاهش (Wagenbrenner et al., 2016) و ضریب رواناب افزایش می‌یابد (Fernandez & Vega, 2016).

سیاسگزاری

نگارندگان مراتب سیاسگزاری خود را از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور برای مساعدت مالی طرح تحقیقاتی شماره ۹۵۸۳۹۸۰۷، با عنوان «بررسی اثرات شیوه‌های بهره‌برداری جنگل بر فرسایش خاک با استفاده از رادیویزوتوپ‌های Cs137 و Pb210» و از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری گیلان، شرکت و دفتر نظارت شرکت سهامی شفارود برای پشتیبانی و ایجاد امکانات لازم برای اجرای این پژوهش اعلام می‌دارند.

پژوهش حاضر و دیگر پژوهش‌های انجام‌گرفته در سرتاسر جهان استفاده کرد و با تحقیقات بیشتر در زمینه شیوه‌های مختلف حفاظت خاک، جنگل‌شناسی و جنگلداری، مدیریت مناسبی را برای شرایط خاص جنگل‌های با قدمت تاریخی و ارزشمند هیرکانی که به‌تازگی در سازمان آموزشی، علمی و فرهنگی ملل متحد (UNESCO) نیز به ثبت رسیده است، اتخاذ کرد. در این زمینه می‌توان از قابلیت‌های مختلف رادیونوکلوئیدهای بارشی، به‌منظور بررسی دقیق‌تر استفاده از آنها و مقایسه روش‌های مختلف مدیریت جنگل و حفاظت خاک مانند روش‌های بیومهندسی در جنگل‌های ایران استفاده کرد. بدین‌گونه مدیران خواهند توانست تصمیم‌های مناسبی را برای اجرای هرگونه مدیریت طرح انتخاب کنند تا ضمن حفظ منابع باارزش طبیعی، از مواهب طبیعی جنگل نیز بهره‌مند شد.

References

- Alipour, H., Feyznia, S., Ahmadi, H., Zare, M. R., & Hosseinalizadeh, M. (2013). Comparison of Soil Erosion by 137CS and RUSLE-3D for Loess Deposits North-East of Iran (Study Area: Aghemam Catchment). *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(5), 27-47.
- Azmodeh, A., Kavian, A., Soleimani, K., & Vahabzadeh, Q. (2010). Comparison of the rate of runoff and erosion in soils covered by forest, crop and garden using rain simulator. *Water and Soil Journal*, 24(3), 490-500. Italian forests
- Borrelli, P., Panagos, P., Märker, M., Modugno, S., & Schüttele, B. (2017). Assessment of the impacts of clear-cutting on soil loss by water erosion in: First comprehensive monitoring and modelling approach. *CATENA*, P3(149), 770-781.
- Etehadi Abari, M., Majnounian, B., Malekian, A., & Jourgholami, M. (2016). Hydrological Effects of Forest selective harvesting on runoff and sediment yields (case study: Kheyroud Forest). *Journal of Natural Environment*. 70(3), 489-491.
- Fernandez, C., & Vega, J.A. (2016). Effects of mulching and post-fire salvage logging on soil erosion and vegetative regrowth in NW Spain. *Forest Ecology and Management*, 375, 46-54
- Gaspar, L., Navas, A., Walling, D.E., Machín, J., & Gómez Arozamena, J. (2013). Using 137Cs and 210Pbex to assess soil redistribution on slopes at different temporal scales. *CATENA*, 102, 46-54.
- Gharibreza, M.R., Kuna Raj, J., Yusoff, I., Othman, Z., Wan Muhamad Tahird, W.Z., & Aqeel Ashraf, M.(2013). Land use changes and soil redistribution estimation using 137Cs in the tropical Bera Lake catchment, Malaysia. *Soil & Tillage Research*, 131, 1-10.
- He, Q., & Walling, D.E. (2003). Testing distributed soil erosion and sediment delivery models using 137Cs measurements. *Hydrological Processes*, 17, 901-916.

- IAEA. (2014). Guidelines for using fallout radionuclides to assess erosion and effectiveness of soil conservation strategies. TECDOC-1741. International Atomic Energy Agency: Vienna.
- Mabit, L., Benmansour, M., & Walling, D.E. (2008). Comparative advantages and limitations of the fallout radionuclides ^{137}Cs , ^{210}Pb and ^7Be for assessing soil erosion and sedimentation. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 1799-1807.
- Mabit, L., Benmansour, M., Abril, J.M., Walling, D.E., Meusburger, K., Iurian, A.R., Bernard, C., Tarjan, S., Owens, P.N., Blake, W.H., & Alewell, C. (2014). Fallout ^{210}Pb as a soil and sediment tracer in catchment sediment budget investigations: a review. *Earth-Science Reviews*, 138, 335-351.
- Marvie Mohadjer, M.R. (2005). *Silviculture*. University of Tehran Press (UTP).
- Matinfar, H., R., Kalhor, M., Shabani, A., & Arekhi, p. (2011). Estimation of erosion and sedimentation rates using cesium-137: Case study (Rymleh-Lorestan Watershed). *Journal of Agricultural Engineering*, 35, 37-54.
- Naghdi, R, Ghajar, I, Sobh Zahedi, Sh. (2015). Monitoring the changes of flood discharge caused by harvesting operations in a mountainous Hyrcanian forest. *Conference: Proceedings of the 48th FORMEC Symposium*, Linz, Austria, 435-439.
- Nosrati, K., Jalali, S., Zare, M.R., & Shirzadi, L. (2017). Estimation of erosion and sediment in the Ziarat watershed of Gorgan using cesium 137. *Journal of Environment and Water Engineering*, 3(2), 118-109.
- Pimentel, D. (2006). Soil Erosion: A Food and Environmental Threat. *Environment, Development and Sustainability*, 8, 119-137
- Poreba, G.J. (2006). Caesium-137 as a soil erosion tracer: a review. *Journal on Methods & Applications of Absolute Chronology*, 25, 37-46.
- Porto, P., & Walling, D.E. (2012). Using plot experiments to test the validity of mass balance models employed to estimate soil redistribution rates from ^{137}Cs and ^{210}Pb measurements. *Applied Radiation and Isotopes*, 70(10), 2451-2459.
- Rabesiranana, N., Rasolonirina, M., Solonjara, A.F., Ravoson, H.N., Andriambololona, R., & Mabit, L. (2016). *Journal of Environmental Radioactivity*, 152, 112-118.
- Wagenbrenner, J.W., Robichaud, P.R., & Brown, R.E. (2016). Rill erosion in burned and salvage logged western mountain forests: effects of logging equipment type, traffic level, and slash treatment. *Journal of Hydrology*, 541, 889-901.
- Walling, D.E., & Quine, T. A. (1992). The use of caesium-137 measurements in soil erosion surveys: In *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programs in River Basins* (Proceedings of the Oslo Symposium). IAHS Publ. no. 210.
- Walling, D.E., Zhang, Y., & He, Q. (2014). Conversion models and related software. In: *Guidelines for Using Fallout Radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies* (pp. 125-148). IAEA-TECDOC-1741. IAEA Publication, Vienna, Austria.



Research Article

Assessing the Effects of Strip Cutting methods on Soil Erosion (A Case Study: Chafroud Forest)

Sh. Sobh Zahedi¹, R. Naghdi^{2*}, M.R. Gharibreza³, A. Salehi⁴, and Gh. Zahedi⁵

¹ Ph.D. Student, Department of Forestry, Faculty of natural resources, University of Guilan, Sowme'eh Sara, I. R. Iran

² Professor., Department of forestry, Faculty of natural resources, University of Guilan, Sowme'eh Sara, I. R. Iran

³ Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran

⁴ Associate Prof., Department of forestry, Faculty of natural resources, University of Guilan, Sowme'eh Sara, I. R. Iran

⁵ Professor, Department of forestry, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj I. R. Iran

(Received: 10 September 2019, Accepted: 19 January 2020)

Abstract

The present study reveals for the first time the rate of soil erosion using radioisotope method in the Hyrcanian forests, which were harvested three decades ago by strip harvesting. Based on the available records, the selected area in compartment 703 of Chafroud Guilan region was selected. In order to study the soil stability in field operations, a scraper plate was used to take samples in different depths of the reference area, from 2 centimeters depth up to 30 cm (maximum penetration depth of cesium). Then, in the reference, harvested and non-harvested areas, some samples were taken by core sampler. Samples were prepared according to IAEA guidelines and then, the quantity of their radiocesium was counted in the laboratory of Atomic Energy Organization. Finally, the mean ¹³⁷Cs zones of the selected samples were 5894.1 Bq/m². Therefore, in order to achieve the desired objectives of the study, three models named as MBI, MBII, and Proportional Conversion were used to reveal the erosion rate in which it was discovered that the non-harvested natural strips had some rates of 0.2, 0.7 and 0.6 t-ha⁻¹-y⁻¹, while in the harvested strips the rates were increased up to 8.87, 5.80 and 4.77 t-ha⁻¹-y⁻¹, respectively. Accordingly, it resulted in an average soil loss of 1.2 mm in the harvested strips and 0.9 mm in the natural parts per year and after 29 years of harvesting. Consequently, they can be considered as efficient methods in studying the forest hydrology and they also showed the protective role of forests in reducing the soil erosion.

Keywords: Soil redistribution, Forest utilization, Hyrcanian forest, Fallout radionuclide, ¹³⁷Cs.