

## اثرات تبدیل جنگل به زراعت چوب بر بازپخش خاک با استفاده از رادیونوکلئید سزیم ۱۳۷

شهریار صبح زاهدی<sup>۱\*</sup>، رامین نقدی<sup>۲</sup>، محمدرضا غریب‌رضا<sup>۳</sup>، علی صالحی<sup>۴</sup> و قوام‌الدین زاهدی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، <sup>۲</sup> استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، <sup>۳</sup> دانشیار، دانشکده منابع

طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا و <sup>۴</sup> استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳

### چکیده

روش این پژوهش، بر اساس مطالعات میدانی و آزمایشگاهی تنظیم شده است. در این تحقیق، برای نخستین بار اثرات تغییر کاربری جنگلی به باغات در میزان بازپخش خاک مناطق پایین‌بند جنگل‌های هیرکانی گیلان با استفاده از روش رادیونوکلئید محاسبه شده است. در این شیوه، ذخیره سزیم ۱۳۷ این مناطق با منطقه مرجع مقایسه شده است. در محل مرجع، تعداد ۱۱ نمونه مغزه خاک و در ترانسکت معرف کاربری زراعت چوب تعداد هفت نمونه مغزه خاک به عمق ۲۵ سانتی‌متر برابر با ضخامت به هم‌ریختگی خاک در حین جنگل‌زدایی، از بالای دامنه تا محل دره براساس عوارض توپوگرافی برداشته شد. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی، مطابق استاندارد آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در ظروف مخصوص دستگاه طیف‌سنج گاما بسته‌بندی و موجودی رادیونوکلئید سزیم ۱۳۷ کلیه نمونه‌ها بر مبنای بکرل بر کیلوگرم سنجیده شد. براساس نتایج به‌دست آمده، ذخیره رادیونوکلئید سزیم ۱۳۷ در محل مرجع با لحاظ کردن سطح نمونه‌برداری ۵۸۹۴/۱ بکرل بر مترمربع به‌دست آمد. در پژوهش حاضر، نرخ بازپخش خاک در طول ترانسکت معرف با استفاده از مدل‌های تبدیل تناسبی و توازن جرمی I و II به ترتیب ۱۸/۷۰، ۲۲/۷۲ و ۱۸/۶۴ تن در هکتار در سال برآورد شد. این مقادیر برای شیب ۲۰-۱۰ درصد و تاج پوشش تنک ۲۵ درصد و خاک لومی-رسی تحت بارش ۱۰۰۰ میلی‌متر به‌دست آمده است. این پژوهش، مدل توازن جرمی II را برای برآورد فرسایش در مناطق تغییر کاربری داده شده توصیه کرده، نتیجه گرفت که تغییر کاربری اراضی جنگلی به زراعت چوب به دلیل تقلیل سطح پوشش طولانی خاک و مدیریت باغ در اثر از بین بردن دیگر نهال‌ها و پوشش علفی، موجب افزایش نرخ فرسایش سطحی می‌شود. این فرایند برای سال‌های طولانی باعث برقراری نرخ فرسایشی بالا و هدر رفت ۰/۱ سانتی‌متر خاک در سال شده است.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر کاربری، فرسایش خاک، رادیویزوتوپ، جنگل هیرکانی، شمال ایران

### مقدمه

ITPS (۲۰۱۵) و به اشکال مختلفی مانند فرسایش، کاهش حاصلخیزی و تغییرات در خصوصیات فیزیکی و خواص شیمیایی خاک، آسیب‌پذیر می‌شود. بررسی

برآوردهای جهانی، نشان می‌دهد که فشار انسانی بر منابع خاک به سر حد بحرانی رسیده (FAO و

سکونت و تغییر کاربری اراضی به باغات و زمین‌های کشاورزی به‌منظور تأمین آذوقه برای خود و علوفه و نگهداری دام‌ها به‌ویژه در زمستان، تردد و انتقال راحت در فصول گرم به مناطق بیلابی، دستیابی به منابع توسعه برای کار و زندگی راحت، سودجویی و فقدان قوانین بازدارنده مناسب از دلایل تغییر کاربری اراضی جنگل می‌باشد.

ایجاد مجتمع صنایع چوب و کاغذ ایران (چوکا) از سال ۱۳۵۲ و آغاز به‌کار آن در دو کیلومتری منطقه پژوهش (با ظرفیت تولید سالانه ۶۶۴۰ مترمکعب انواع تخته لایه، توان تولید ۵۲۰۰۰ مترمکعب انواع تخته و الوار و ظرفیت اسمی تولید کاغذ ۵۰۰ تن در روز)، نیاز به نیروی کار و مواد چوبی مورد نیاز برای فعالیت، علیرغم این‌که موهبتی برای منطقه است، از سوی دیگر، به‌واسطه عدم قوانین مناسب و بازدارنده، انگیزه‌های را برای تغییر کاربری جنگل به‌وسیله مردم ایجاد کرده است. این تغییر کاربری با توجه به قدمت زندگی ساکنین منطقه، سابقه‌ای دیرینه دارد. بعد از ایجاد مجتمع و با توجه به نیاز آن و به منظور تثبیت مالکیت، بسیاری از کشاورزان ضمن توسعه زمین‌های خود اقدام به احداث باغ‌های صنوبر کرده‌اند. شرکت چوکا برای تأمین نیاز خود اقدام به کشت سه هکتار صنوبر در پارسل ۷۰۴ حوزه چفرود نموده است. صنوبرها معمولاً هر هفت تا ۱۲ سال با توجه به قطر، به‌منظور استفاده از چوب و زیر پنج سال برای کاغذسازی، برداشت و مجدداً برای تولید کشت می‌شوند.

تحقیقات زیادی در خصوص توسعه روش‌های اندازه‌گیری و برآورد فرسایش خاک در مقیاس‌های مکانی و زمانی و اقالیم مختلف انجام شده، روش‌های تجربی مانند USLE و PSIAC و روش‌های میدانی مانند پین و پلات و روش‌های رادیونوکلوئیدهای محیطی مانند استفاده از رادیویزوتوپ‌های ریزشی<sup>۱</sup> ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$ ) و همکاران، (۲۰۱۴a). سزیم ۱۳۷ یک رادیویزوتوپ ریزشی است که در اثر آزمایش‌های اتمی انجام شده در بازه زمانی ۱۹۴۵ تا اواخر دهه ۱۹۷۰ تولید و به

منابع نشان‌دهنده ارائه ارقام مختلفی برای میزان فرسایش در ایران است. Arabkhedri و همکاران، (۲۰۱۸) مقدار فرسایش آبی سالانه کشور را براساس مدل EPM، ۸۹۵ میلیون تن (معادل ۵/۵ تن در هکتار در سال) برآورد کرده‌اند. Talebi و Mostafaei (۲۰۱۴) در بررسی آماری وضعیت فرسایش آبی در ایران، متوسط میزان فرسایش در کشور را بین هفت و نهایتاً ۱۶ تن در هکتار در سال اعلام کرده‌اند که با توجه به وسعت ایران، فرسایش سالانه کشور معادل ۲/۶۴-۱/۱۵ میلیارد تن خواهد بود. در تحقیقی در قالب یک طرح ملی، Nikkami و همکاران (۲۰۲۰) میزان فرسایش آبی خاک کشور را سالانه دو میلیارد تن برآورد کرده‌اند که رقم بالایی است.

جنگل‌ها نقش مهمی در حفاظت رواناب و فرسایش خاک ایفا می‌کنند. به‌طور خاص، ساختار عمودی جنگل باعث افزایش قابلیت جذب بارندگی شده و موجب عدم برخورد مستقیم قطرات باران با خاک گشته و در نتیجه، فرسایش سطحی و شیاری را کاهش می‌دهد (Altieri و همکاران، ۲۰۱۸). جنگل‌های هیرکانی شمال کشور، جزء جنگل‌های کهن دنیا محسوب شده، بازمانده اواخر دوران سوم زمین‌شناسی (عصر یخبندان) هستند. نقش حیاتی آن در حفاظت از خاک، منابع آب و توزیع تعادل طبیعی در حوزه آبریز کوهستانی پر شیب و حساس، بسیار قابل تأمل است. سطح این جنگل‌ها به‌لحاظ حساسیت بالقوه منابع، توسعه نادرست و غیرمستقیم زیرساخت‌ها، تغییرات کاربری زمین و بهره‌برداری غیرقانونی منابع کاهش یافته، عوامل فوق‌به‌عنوان یکی از دلایل اصلی فرسایش خاک در ایران مطرح می‌شود (Sadeghi، ۲۰۱۷). در یک پژوهش صورت گرفته، در طی ۱۵ سال (۱۳۶۸ تا ۱۳۸۳)، تنها سطحی معادل ۱۲۱۵۲۸ هکتار از جنگل‌های کوهستانی شمال ایران تخریب شده است که سهم گیلان از این مقدار ۰/۲۱ درصد در سال (۱۱۸۲ هکتار) بوده است (Mirakhorlou و Akhavan، ۲۰۰۸). نتیجه پژوهش دیگری در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که سالانه سطحی برابر با ۱۲۶/۲ هکتار از جنگل‌های منطقه کاهش می‌یابد (Khanjani Shiraz، ۱۹۹۸). دسترسی ساده به زمین‌های حاشیه جنگل برای

<sup>1</sup> Fallout Radionuclides, FRNs

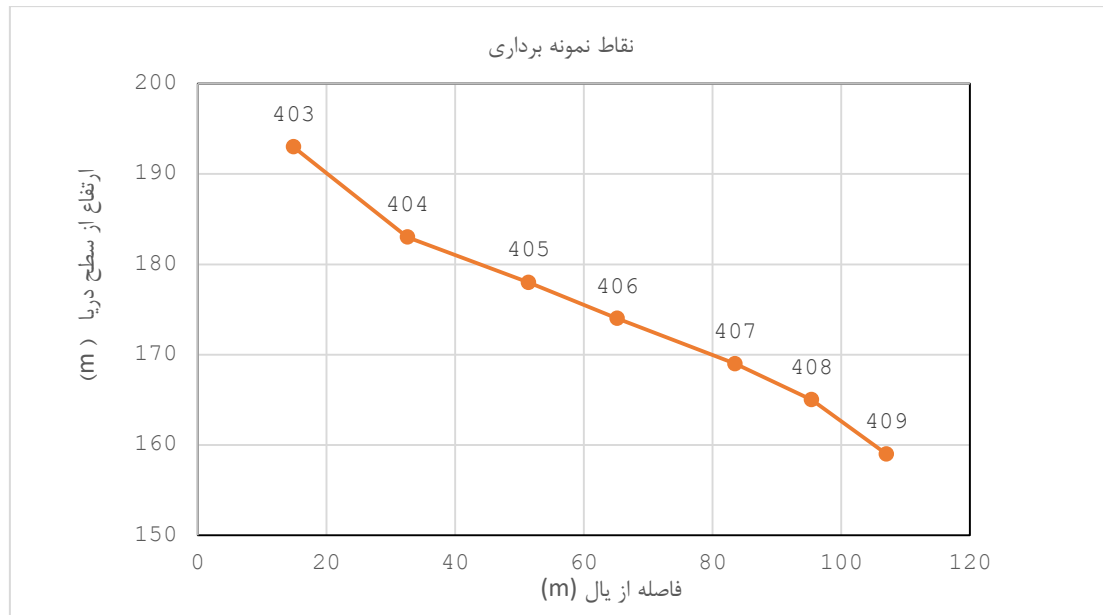
خاک، اقدام کنند.

### مواد و روش‌ها

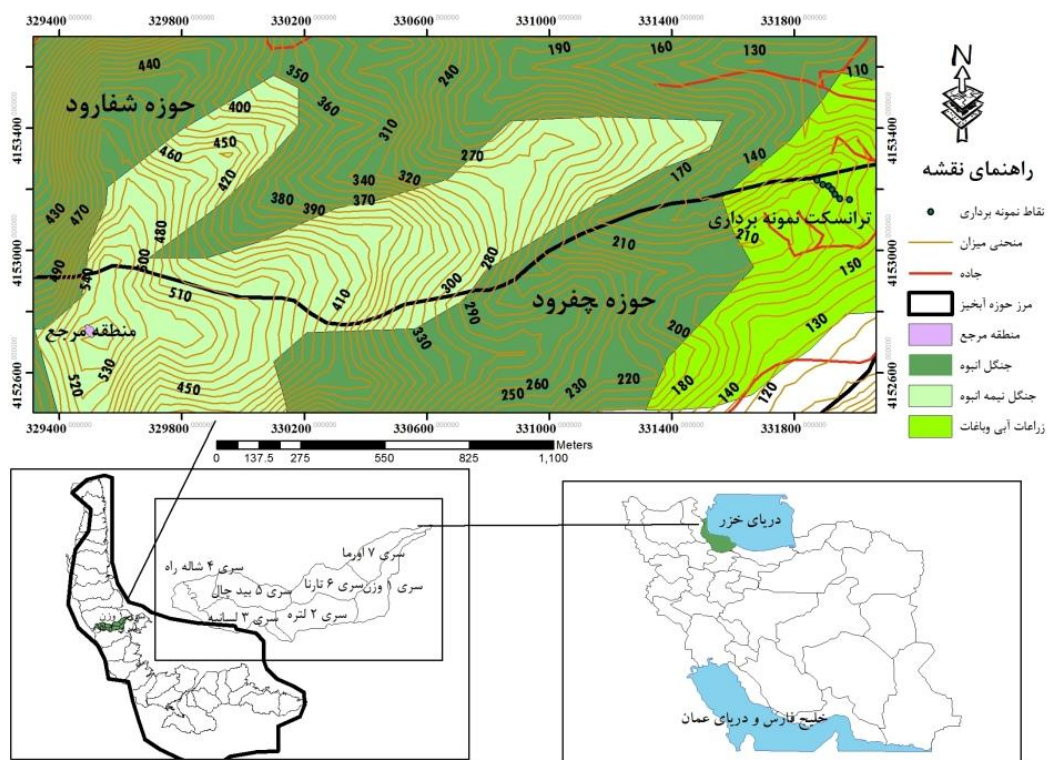
**منطقه مورد پژوهش:** منطقه مطالعاتی در ۲/۵ کیلومتری جنوب غربی پونل رضوانشهر گیلان در محدوده حوزه آبخیز چفرود بین مختصات جغرافیایی ۳۲۹۴۶۰ تا ۳۳۲۰۲۲ طول شرقی و ۴۱۵۲۶۸۸ تا ۴۱۵۳۲۷۵ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۲). میانگین بارندگی حوضه ۱۰۷/۹ میلی‌متر و بیشترین مقدار آن به ترتیب در ماه‌های آذر و شهریور به مقدار ۱۲۰ و ۱۱۸/۹ میلی‌متر است ( Tarahan Sabz Alborz Consulting Engineers, ۲۰۱۵). همچنین، میانگین دمای سالانه ۱۶/۵۳ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم بر اساس روش‌های آمبرژه و دومارتن خیلی مرطوب به دست آمده است. این منطقه از نظر موقعیت رویشگاهی در ارتفاع پایین‌بند جنگلی قرار داشته، کمینه ارتفاع آن ۱۰۰ متر و بیشینه ۳۰۰ متر از سطح دریا است (شکل ۱). پوشش این منطقه از جنگل آمیخته پهن‌برگ با تنوع گونه‌ای مرمر، بلوط، توسکا و گونه‌های صنعتی نظیر افرا، شیردار، نمدار، ملج، آزاد و گیلاس وحشی و گونه نظیر انجیلی، خرمنندی، لیلکی، لرگ و گونه سوزنی‌برگ جنگل‌کاری شده کاج تدا تشکیل شده است. تیپ‌بندی نشان می‌دهد که سه هکتار نیز به کشت صنوبر اختصاص داده شده است. زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای سنگی دوران دوم زمین‌شناسی مخصوصاً رسوبات کرتاسه زیرین است. این واحدها از نظر لیتولوژی عمدتاً از سنگ آهک سیلتی دانه‌ای با ماسه سنگ آهکی در قله‌ها و کنگلومرای تخریبی و مارنی تشکیل یافته است ( Tarahan Sabz Alborz Consulting Engineers, ۲۰۱۵). توپوگرافی منطقه از دامنه‌هایی با طبقه شیب ۱۰ تا ۲۰ درصد (شکل ۳) در جهت جغرافیایی شرقی تشکیل شده است (شکل ۴). همچنین، بررسی بافت خاک منطقه نشان داد که فراوانی ذرات در اندازه شن، سیلت و رس بترتیب ۱۸، ۵۲ و ۳۰ درصد بوده، بافت غالب آن لوم است.

اتمسفر منتقل شد و به‌وسیله بارش باران و برف به زمین رسیده است (Gharibreza و Ashraf, ۲۰۱۴; Altieri و همکاران, ۲۰۱۸). در بیشتر محیط‌ها، سزیم ۱۳۷ که به سطح زمین می‌رسد، به سرعت به‌وسیله خاک سطحی جذب می‌شود و توزیع مجدد آن، همراه با فرسایش، انتقال و رسوب ذرات خاک و رسوب رخ می‌دهد (Altieri و همکاران, ۲۰۱۸). از این قابلیت، برای برآورد نرخ فرسایش خاک در بسیاری از نقاط جهان استفاده شده است (Mabit و همکاران, ۲۰۰۸; Gharibreza و Ashraf, ۲۰۱۴) و امکان‌سنجی آن برای مناطق جنگلی ثابت شده است (Gharibreza, ۲۰۱۳). استفاده از سزیم ۱۳۷ پتانسیل زیادی را برای ارائه اطلاعات گذشته در مورد میانگین میان‌مدت از دست دادن خاک بر اساس یک نمونه‌گیری، بدون نیاز به تخریب سیستم با نصب تجهیزات اندازه‌گیری ارائه می‌دهد. نتایج کلی پژوهش Altieri و همکاران (۲۰۱۸) نشان می‌دهد که کمینه مقادیر تلفات خاک در مناطقی با تاج پوشش و زیست‌توده بالا انجام شده است که نمایانگر اثر حفاظتی جنگل‌ها در برابر فرسایش خاک بوده، همچنین روش‌های مبتنی بر استفاده از ردیاب‌هایی مانند سزیم ۱۳۷ برای انتخاب بهترین گزینه‌های مدیریت جنگل برای بهینه‌سازی نقش حفاظتی جنگل‌ها، با هدف کاهش فرسایش در یک دوره دراز مدت، مفید می‌باشد.

پژوهش حاضر میزان بازپخش خاک در منطقه پونل رضوانشهر استان گیلان را در اثر تغییر کاربری جنگل به زمین‌های زراعی با استفاده از روش رادیونوکلوئید سزیم ۱۳۷ مورد بررسی قرار می‌دهد. این منطقه در نزدیکی چوکا، در چهار راه دسترسی به مناطق مرکز و غرب گیلان و راه‌های دست‌یابی به استان اردبیل و تحت مدیریت شرکت شفارود قرار داشته و بنابراین، دارای آمار مستند بهره‌برداری جنگل است. نتایج این مطالعه به‌همراه سایر پژوهش‌های انجام شده، به مدیران و کارشناسان کمک می‌کند تا با همکاری کشاورزان، جنگل‌نشینان و روستائیان حاشیه جنگل نسبت به انجام اقدام‌های مناسب برای حفاظت



شکل ۱- نیمرخ طولی دامنه و نمونه‌های برداشت شده در محدوده پژوهش



شکل ۲- موقعیت محدوده پژوهش در استان گیلان (حوزه آبخیز ۱۰ چفروود) و ایران

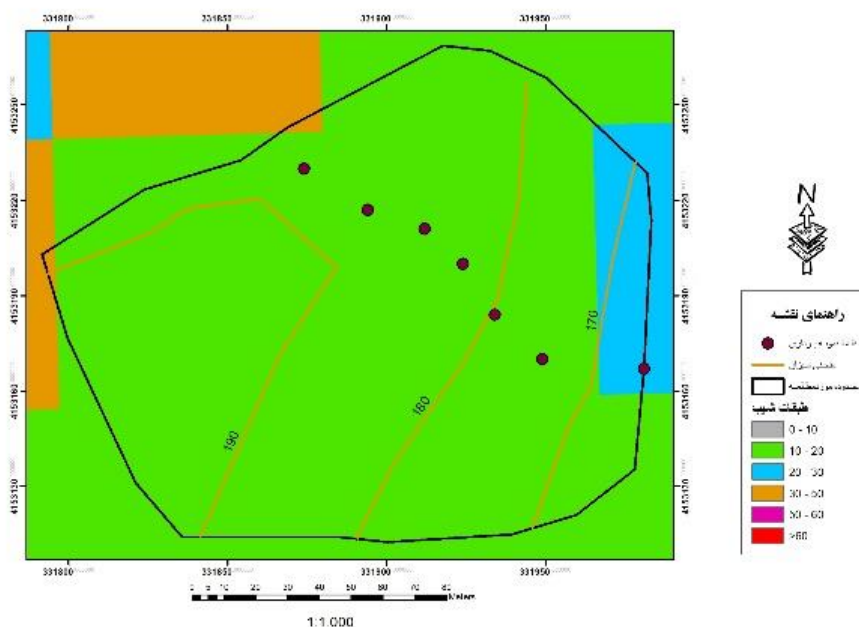
### روش پژوهش

بررسی‌های کتابخانه‌ای: در این بررسی‌ها، مستندات تغییر کاربری اراضی و شیوه‌های بهره‌برداری از جنگل به‌وسیله شرکت‌های دارای مجوز و اهالی محلی مورد بررسی و تدقیق قرار گرفت. در اسناد بررسی شده،

سابقه کامل طرح جنگل‌داری مصوب و اجرا شده، روش‌های جنگل‌شناسی استفاده شده اعم از قطع یکسره، نواری و تک‌گزینی، سال و حجم بهره‌برداری، سال بازکاشت، گونه‌های کاشته شده، بهره‌برداری‌های انجام شده به‌وسیله اهالی محلی و الگوی تغییر کاربری

مسیرهای چوب‌کشی، شبکه آبراهه، توپوگرافی، درصد و جهت شیب و دیگر خصوصیات منطقه به دقت مشخص شده‌اند ( Tarahan Sabz Alborz Consulting Engineers, ۲۰۱۵).

به کار برده به وسیله آن‌ها و نیز میزان بازکاشت اراضی تصرف شده در واحد سطح و در طول ترانسکت‌های معرف مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، میزان بارش و الگوی آن، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی،



شکل ۳- نقشه طبقات شیب و نمونه‌ها در محدوده پژوهش

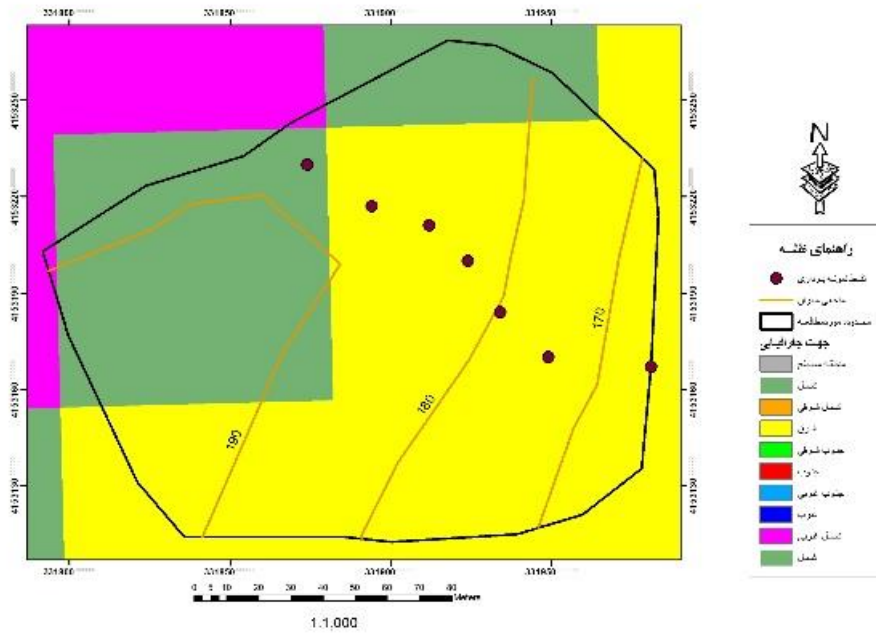
پارامترهای ژئومورفولوژی منطقه مرجع مشابه با زمین‌های مناطق نمونه‌برداری است (Mabit و همکاران، ۲۰۱۴b).

بر این اساس، مکانی که طبق استاندارد سازمان بین‌المللی انرژی اتمی (Mabit و همکاران، ۲۰۱۴b)، فاقد فرسایش یا رسوب بود و در ۲/۵ کیلومتری منطقه مورد مطالعه قرار دارد، به‌عنوان منطقه مرجع مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور بررسی توزیع سزیم در طبقات خاک، نمونه‌ای با مشخصات ذکر شده در عرصه جنگلی با استفاده از نمونه‌بردار صفحه‌تراش<sup>۱</sup> به ابعاد ۲۰\*۵۰ سانتی‌متر تا عمق بیشینه ۳۰ سانتی-متری (بیشینه عمق مهاجرت رادیو سزیم)، به ازای هر طبقه دو سانتی‌متری، یک نمونه برداشت و بررسی شد (شکل ۵).

**بررسی‌های میدانی:** بر اساس نتایج بررسی‌های کتابخانه‌ای، بازدیدهای میدانی و مصاحبه با مردم، مشخص شد که مهمترین و شاخص‌ترین تغییر کاربری منطقه، تبدیل جنگل به زراعت چوب (صنوبرکاری) است. در پژوهش حاضر، به‌دلیل عدم یکپارچگی تغییر کاربری صنوبر در یک زیر حوضه واحد و وجود تغییرات در یک دامنه، مقیاس مطالعه ترانسکت (خط نمونه) انتخاب شد.

نمونه‌برداری از منطقه مرجع و ترانسکت معرف از مهمترین جنبه‌های روش استفاده از رادیونوکلوئیدهای ریزشی است و باید با دقت انجام شود. در روش رادیونوکلوئید سزیم ۱۳۷، میزان کاهش یا افزایش آن با مقایسه موجودی سزیم ۱۳۷ برای یک نمونه منحصر به فرد با مقدار مرجع به‌دست آمده از منطقه غیر فرسایشی دست نخورده تعیین می‌شود (Sac و Jchedef, ۲۰۱۵). میزان دریافت بارندگی سالانه و

<sup>1</sup> Scaper plate



شکل ۴- نقشه جهت‌های جغرافیایی و نمونه‌ها در محدوده پژوهش



شکل ۵- برداشت نمونه مرجع به صورت لایه‌های افقی دو سانتی‌متری خاک

مغزه‌گیر خاک<sup>۱</sup> (سیلندری استوانه‌ای با قطر چهار و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) به عمق متوسط ۳۰ سانتی‌متر، هم ضخامت با نمونه مرجع برداشت شدند (شکل ۶). بافت، مواد آلی و جرم ظاهری کلیه نمونه‌ها در آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور اندازه‌گیری شد.

در ادامه، ۱۱ نمونه در سطح منطقه مرجع به صورت تصادفی (Sutherland, ۱۹۹۶؛ Mabit و همکاران، ۲۰۱۴b) و هفت نمونه به صورت انتخابی به روش خطی (ترانسکت)، از بالای یال تا پایین دامنه، محل دره، به طول ۱۲۰ متر برداشت شد. نمونه‌ها در طبقه شیب ۱۰ تا ۲۰ درصد و در جهت جغرافیایی شرقی قرار دارند. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه

<sup>1</sup> Bulk corer



شکل ۶- برداشت نمونه با دستگاه مغزه‌گیر خاک

دیگر متفاوت است. نمونه مرجع IAEA برای کنترل کیفیت طیف‌سنج گاما و واسنجی آن استفاده شد. موجودی سزیم ۱۳۷ (بکرل بر مترمربع) در نمونه‌ها (A) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$A = \frac{CM}{S} \quad (1)$$

که در آن،  $C$  غلظت اکتیویته سزیم ۱۳۷ (بکرل بر کیلوگرم)،  $M$  مجموع جرم ماده خشک خاک جمع‌آوری شده (کیلوگرم) و  $S$  سطح مقطع لوله نمونه‌برداری مترمربع است (Walling و He، ۱۹۹۹).

**تجزیه و تحلیل داده‌ها:** برای تحلیل نتایج به‌دست آمده از طیف‌سنج گاما و مقادیر فعالیت نمونه‌های مرجع و ترانسکت معرف از مدل‌های تبدیل برای تعیین نرخ بازپخش خاک استفاده می‌شود (Walling و همکاران، ۲۰۱۴). در این پژوهش، سه مدل مختلف برای تخمین نرخ بازپخش خاک از موجودی سزیم ۱۳۷ نقاط نمونه‌برداری استفاده شده است. این مدل‌ها با توجه به وضعیت کاربری اراضی در منطقه انتخاب شده‌اند.

مدل تناسبی (PM)<sup>۳</sup> متداول‌ترین مدل نظری برای تخمین نرخ فرسایش خاک از اندازه‌گیری سزیم ۱۳۷ برای اراضی زراعی است (Walling و He، ۱۹۹۹). این مدل، بر اساس این فرض استوار است که بارش سزیم ۱۳۷ کاملاً درون شخم یا لایه شخم‌زده شده مخلوط

**بررسی‌های آزمایشگاهی:** در این مرحله، نمونه‌ها پس از خشک شدن در دمای ۱۰۵ درجه در آون، خرد شده و با الک، بخش ریزتر از دو میلی‌متر به وزن دست کم ۲۵۰ گرم جدا و به صورت پودر در ظروف مارینیلی<sup>۱</sup> آماده شد. تعیین فعالیت نمونه‌های مرجع و ترانسکت معرف یا به تعبیری شمارش پرتو سزیم ۱۳۷ نمونه‌ها، مرحله بعدی این پژوهش است که این مهم با استفاده از طیف‌سنجی گاما بر اساس آشکارسازهای ژرمانیوم با خلوص بالا (HPGe) در آزمایشگاه‌های پژوهشگاه علوم و فناوری هسته‌ای (NSTRI)، سازمان انرژی اتمی ایران انجام شد. مدل آشکارساز طیف‌سنج گاما EGPC 80-200-R (EURISYS MESURES) در NSTRI دارای راندمان نسبی ۸۰ درصد و پهنای کامل در نیمه بیشینه (FWHM) ۲/۵ کیلوولت برای خط انرژی گاما کبالت ۶۰ در ۱۳۳۲ کیلوولت بود. طیف‌سنج گاما با استفاده از استاندارد چند هسته‌ای (POLATOM mix source) واسنجی شد و در خاک همگن در همان هندسه آشکارساز نمونه (مخزن مارینیلی ۲۵۰ گرم) پراکنده شد. حد پایین تشخیص به کارایی، پهنای پیک در نیمه ارتفاع (FWHM)<sup>۲</sup> و زمان شمارش بستگی دارد و بنابراین از نمونه به نمونه‌ای

<sup>۱</sup> Marinelli<sup>۲</sup> Full width at half maximum<sup>۳</sup> Proportional model

در مدل توازن جرمی II، تغییرات زمانی در هنگام ریزش سزیم ۱۳۷ (در پژوهش حاضر ۵۴ سال یعنی تفاوت بین سال ۱۹۶۳ و زمان نمونه برداری در سال ۲۰۱۷) و توزیع اولیه بارش جدید در سطح خاک، به هنگام شمارش در نظر گرفته می‌شود. نتایج حاصل از این مدل واقع بینانه‌تر از مقادیر بدست آمده از مدل توازن جرم ساده است (Walling و همکاران، ۲۰۱۴). با این وجود، اطلاعاتی در مورد عمق شخم، عمق آرامش (واهلش<sup>۲</sup>) توده (H) و کسری از ریزش سالیانه سزیم ۱۳۷ (Y) برای استفاده از این مدل (رابطه ۴) مورد نیاز است (Walling و He، ۱۹۹۹).

$$\frac{dA(t)}{dt} = (1 - \Gamma) I(t) - (\lambda - P \frac{R}{d}) A(t) \quad (4)$$

که در آن،  $A(t)$  فعالیت تجمعی سزیم ۱۳۷ در واحد سطح (بکرل بر مترمربع)،  $R$  شدت فرسایش (کیلوگرم بر مترمربع در سال)،  $d$  متوسط عمق جرمی شخم (کیلوگرم بر مترمربع)،  $\lambda$  ثابت واپاشی سزیم ۱۳۷ (در سال)،  $I(t)$  ریزش سالانه سزیم ۱۳۷ (بکرل بر مترمربع در سال) و  $\Gamma$  درصد سزیم ۱۳۷ برداشته شده در اثر فرسایش قبل از مخلوط شدن با لایه شخم است.

برای استفاده از مدل‌های تبدیل برای محاسبه میزان فرسایش از برنامه Radionuclide Inventories Conversion استفاده می‌شود که در یک پروژه تحقیقی تولید شده است و تحت برنامه میکروسافت اکسل اجرا می‌شود. این برنامه حاوی فایل Addin (radiocalc.xls)، یک فایل کمکی متنی (racialc.chm) و یک فایل اطلاعات باران (rain.dat) می‌باشد که برای نیمکره شمالی و جنوبی تدقیق شده است. این بسته نرم افزاری، علاوه بر سزیم برای رادیونوکلوئیدهای ریزشی سرب مازاد ۲۱۰ و بریلیوم ۷ نیز مجهز و واسنجی شده است (Walling و He، ۱۹۹۹).

### نتایج و بحث

شکل ۷، توزیع موجودی سزیم ۱۳۷ از منطقه مرجع مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برای این منطقه که از یک مکان دست نخورده (کشت نشده) جمع‌آوری شده، بیشینه موجودی در نیمرخ توزیع

می‌شود. ضخامت خاکی که در نتیجه فرسایش در طول دوره میان مدت بهره‌برداری (۳۵ تا ۵۰ سال) و کاشت زمین هدر رفته است، به‌طور مستقیم با کاهش مقدار سزیم ۱۳۷ پروفیل خاک نسبت به موجودی نقطه مرجع متناسب است. به‌طور مثال، اگر نیمی از ورودی سزیم ۱۳۷ در طی فرسایش سطحی از بین برود، ضخامت هدر رفت خاک در طی دوره، ۵۰ درصد از عمق شخم فرض می‌شود. معادله اصلی مدل تناسبی به‌صورت رابطه (۲) است (Walling و He، ۱۹۹۹):

$$Y = 10 \frac{BdX}{100TP} \quad (2)$$

که در آن،  $Y$  نرخ سالانه تلفات خاک (تن بر هکتار در سال)،  $X$  درصد کاهش کل موجودی سزیم ۱۳۷ است که به صورت  $(A_{ref} - A)/(A_{ref} - 100)$  تعریف می‌شود،  $d$  عمق شخم یا لایه کشت شده (متر)،  $B$  چگالی مخصوص خاک (کیلوگرم بر مترمکعب)،  $T$  زمان سپری شده از شروع انباشت سزیم ۱۳۷ (سال)،  $A_{ref}$  موجودی سزیم محل مرجع (بکرل بر متر مربع)،  $A$  موجودی سزیم در نقطه نمونه‌گیری (بکرل بر متر مربع) و  $p$  عامل تصحیح اندازه ذرات است.

مدل ساده توازن جرمی (SMBM)<sup>۱</sup> یا مدل توازن جرمی I، فرض می‌کند که غالب بارش سزیم ۱۳۷ در سال ۱۹۶۳ اتفاق افتاده، این گام زمانی برای محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل SMBM همچنین به داده‌های مربوط به موجودی سزیم ۱۳۷ و عمق لایه شخم نیاز دارد، این مدل مقدار جابجایی احتمالی سزیم ۱۳۷ تازه ذخیره شده را قبل از ترکیب آن در لایه شخم در نظر نمی‌گیرند. مدل توازن جرمی I تلاش می‌کند با در نظر گرفتن کاهش سزیم ۱۳۷ در لایه شخم پس از پایین آمدن سطح در اثر فرسایش، محدودیت دیگری از مدل تناسبی را برطرف کند (Zhang و همکاران، ۱۹۹۰). براساس این مدل، میانگین نرخ سالانه تلفات خاک (Y) (تن بر هکتار در سال) به شرح زیر (رابطه ۳) است:

$$Y = \frac{10dB}{P} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{X}{100} \right)^{\frac{1}{(t-1963)}} \right] \quad (3)$$

که در آن،  $t$  زمان سپری شده از سال ۱۹۶۳ را نشان می‌دهد.

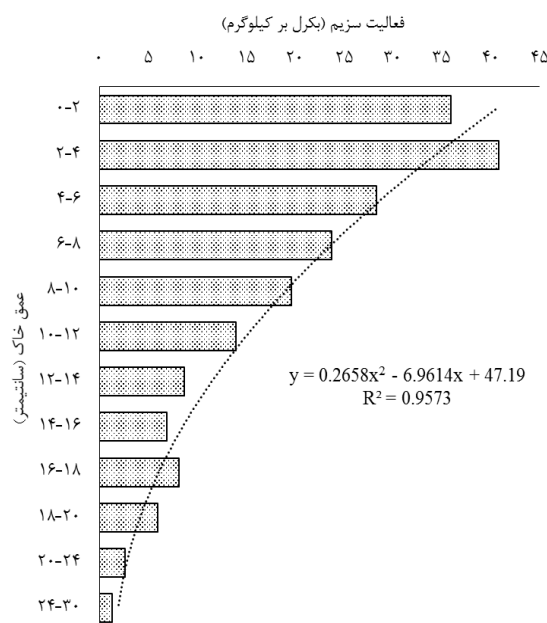
<sup>2</sup> Relaxation mass depth

<sup>1</sup> Simplified Mass-Balance Model



سزیم ۱۳۷ در نزدیکی سطح خاک وجود دارد. بیشترین مقدار سزیم در افق‌های صفر تا دو و دو تا چهار سانتی‌متری خاک در مناطق مرجع به ترتیب به مقدار ۳۵/۹۵ و ۴۰/۸۳ بکرل بر کیلوگرم وجود دارد. تقریباً ۹۶ درصد از کل موجودی سزیم ۱۳۷ در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر متمرکز شده است. غلظت سزیم

۱۳۷ به تدریج با افزایش عمق، کاهش می‌یابد و همان‌طور که در شکل نمایان است، رابطه نزولی با ضریب تبیین ۰/۹۵۷ بین میزان سزیم با عمق خاک در منطقه مرجع، برقرار است، به عبارتی، نقاط مرجع از پایداری برخوردار بوده و نشان‌دهنده عدم به هم خوردگی خاک در این نقاط است.



شکل ۷- توزیع موجودی سزیم ۱۳۷ در عمق‌های مختلف خاک منطقه مرجع

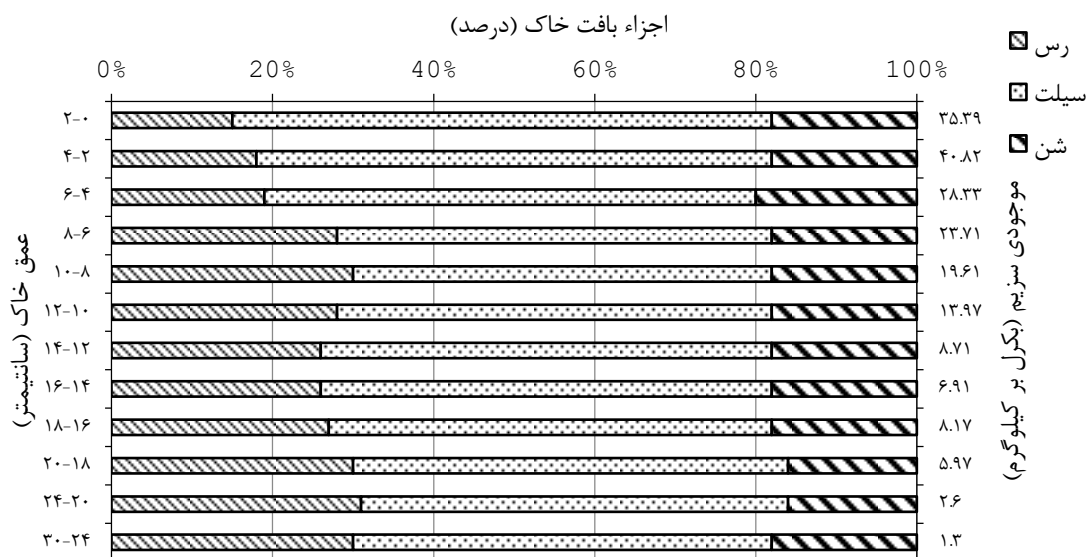
گرفته شد. مقدار موجودی سزیم ۱۳۷ در نمونه‌های مرجع با ضریب تغییرات تقریبی ۳۰ درصد، بین ۳۱۳۳/۸ و ۸۱۸۸/۲ بکرل بر متر مربع متغیر است. هدف از نمونه‌برداری نقاط مرجع، تعیین اندازه‌گیری گرایش مرکزی مانند مقدار میانگین (به‌عنوان مثال موجودی در منطقه مرجع)، انحراف معیار و یا ضریب تغییرات برای جمعیت است. Sutherland (۱۹۹۶) پیشنهاد می‌دهد، به‌طور کلی برای بسیاری از مکان‌های مرجع حدود ۱۱ نقطه نمونه‌برداری کافی است، با این فرض که نمونه‌های تصادفی مستقلاً انتخاب شوند. به‌منظور داشتن یک رویکرد استاندارد، دست‌کم ۱۰ تا ۱۵ نمونه خاک باید برای ارزیابی آماری جمع‌آوری شود. اگر انحراف معیار به‌دست آمده برای این مجموعه نمونه بیش از حد بالا باشد ( $CV\% > 30$ )، نمونه‌های بیشتری باید گرفته شود (Mabit و همکاران، ۲۰۱۴). میزان موجودی سزیم ۱۳۷ در مطالعه Khaledian

بررسی بافت خاک نمونه‌های اخذ شده از اعماق مختلف منطقه مرجع نشان می‌دهد که میزان سیلت آن ۵۲ درصد، میزان رس تقریباً ۳۰ درصد و میزان شن ۱۸ درصد است (شکل ۸). نتایج نشان داد که بین موجودی سزیم ۱۳۷ خاک و میزان سیلت که قسمت اعظم بافت در سطوح عمقی بالای خاک را تشکیل می‌دهد، رابطه افزایشی با ضریب تبیین ۰/۶۶ برقرار است (شکل ۹). بنابراین، با جابجایی خاک، میزان سزیم چسبیده به آن دچار تغییر شده و می‌توان مقدار فرسایش را با اعتماد بیشتری محاسبه کرد.

بر اساس نتایج برآورد ۱۱ نمونه اخذ شده در نقاط مرجع (جدول ۱) متوسط موجودی سزیم ۱۳۷ نقاط نمونه‌برداری ۱۷/۷۷ بکرل بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد که پس از در نظر گرفتن سطح و وزن خشک به ۵۸۹۴/۱ بکرل بر مترمربع تبدیل شد. این عدد مبنای محاسبه فرسایش و رسوب منطقه مطالعه در نظر

دارد، اما نتایج نشان می‌دهند که در خروجی‌های سه مدل در این مطالعه تغییرات کمی وجود دارد. تا کنون مطالعاتی متعددی در زمینه اثرات تغییر کاربری بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، رواناب و رسوب انجام شده است، ولی تعداد آن‌هایی که به بررسی نرخ فرسایش کاربری‌های موجود با استفاده از روش رادیونوکلوئید پرداخته‌اند، بسیار کم هستند. به‌طور مثال، در یک مطالعه کلی نرخ فرسایش خاک را برای کاربری‌های حوزه آبخیز زیارت‌گران با استفاده از عنصر رادیواکتیو سزیم ۱۳۷، نرخ فرسایش اراضی کشاورزی با میزان ۳۹/۸ و اراضی جنگلی با ۵/۲ تن در هکتار در سال به‌دست آمده است (Nosrati و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین، Azmodeh و همکاران (۲۰۱۰) فرسایش در خاک‌های تحت پوشش کاربری‌های جنگل، زراعی و باغ را با استفاده از شبیه-ساز باران بررسی نموده و میزان فرسایش خاک در اراضی زراعی و باغ را به ترتیب ۱/۷۶ و ۱/۳۶ برابر کاربری جنگل اندازه‌گیری کردند.

(Seddighi و همکاران ۲۰۱۷) در سایر نقاط نیز به ترتیب مقدار ۵۰۷۰ و ۷۸۷۴ بکرل بر متر مربع گزارش شده است. نتایج شمارش میزان سزیم ۱۳۷ هر یک از نمونه-های اخذ شده در مناطق تبدیل شده به صنوبرکاری، به ترتیب مقدار بیشینه، متوسط و کمینه ۱۸/۸، ۱۵/۳ و ۱۱/۶ بکرل بر کیلوگرم را نشان می‌دهد. میزان فرسایش برآورد شده با استفاده از مدل‌های تبدیل تناسبی، توازن جرمی I و II به ترتیب، ۱۸/۶۴، ۲۲/۷۲ و ۱۸/۷۰ تن بر هکتار در سال به‌دست آمد (جدول ۲). تفاوت نرخ فرسایش برآورد شده نمونه‌ها در مناطق تغییر کاربری داده شده، با مدل‌های استفاده شده در شکل ۷ نمایش داده شده است. بین مقادیر مدل‌های مختلف ضریب همبستگی بالای ۹۰ درصد برقرار است، ولی مقادیر فرسایش به‌دست آمده با مدل توازن جرمی I، بیشتر از مقادیر به‌دست آمده با مدل توازن جرمی II و مدل تناسبی است. اگرچه بین داده‌های به‌دست آمده از هر سه مدل، به‌ویژه در میزان فرسایش زیاد خاک (۲۲/۷۲ تن بر هکتار در سال) انحراف وجود



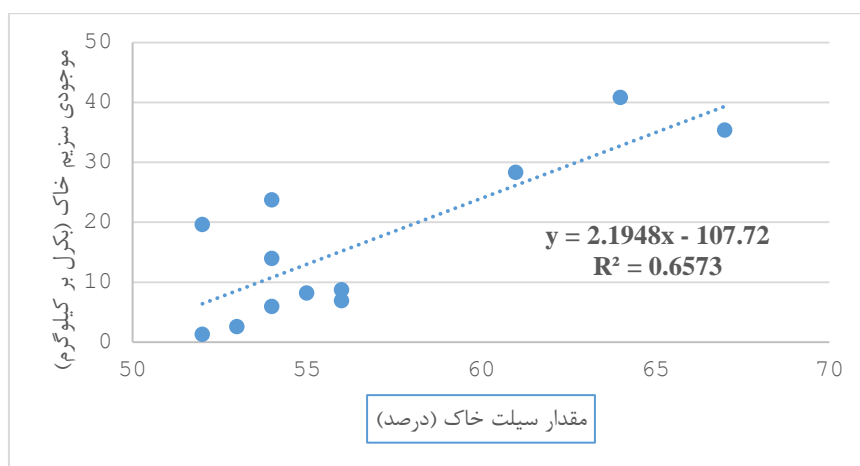
شکل ۸- درصد اجزاء بافت خاک در اعماق مختلف منطقه مرجع

افق شخم و عامل تصحیح اندازه ذرات را در نظر می‌گیرد. ریزش تدریجی ثابت که از دهه ۱۹۵۰ تا اواسط دهه ۱۹۷۰ به طول انجامیده است، با تئوری ریزش بیشینه در سال ۱۹۶۳ جایگزین شد. ضریب تصحیح اندازه ذرات برای در نظر گرفتن مقدار

مدل تناسبی بر مبنای این واقعیت است که سزیم ۱۳۷ به صورت همگن در افق شخم مخلوط شده، از بین رفتن خاک به‌طور مستقیم با از دست دادن سزیم ۱۳۷ متناسب است. این رابطه بسیار ساده است، تنها زمان رسوب سزیم ۱۳۷، چگالی ظاهری خاک، عمق

احتمالاً میزان واقعی از بین رفتن خاک را کم برآورد می‌کند. روش مدل توازن جرمی I که اثر مخلوط کردن خاک زیرین را بدون سزیم ۱۳۷ از زیر عمق شخم به لایه شخم را در نظر نمی‌گیرد، مقادیر بیشتری را برای میزان از دست دادن خاک برآورد می‌کند، نتایج فوق در برخی از گزارش‌های دیگر نیز مشاهده شده است (Zhang, ۱۹۹۰).

جابجایی انتخابی ذره ریز با فرسایش معرفی شده است، زیرا سزیم ۱۳۷ ترجیحاً با ذرات ریز مرتبط است (Sag و Ichedef, ۲۰۱۵). مدل تناسبی غلظت سزیم ۱۳۷ محلول در لایه شخم خاک را در نظر نمی‌گیرد، که ناشی از ترکیب خاک از زیر عمق شخم اصلی به دلیل پایین آمدن سطح با فرسایش است. بنابراین، نتایج به دست آمده با این مدل در مطالعه حاضر



شکل ۹- رابطه فراوانی سیلت با موجودی سزیم در منطقه مرجع

جدول ۱- موجودی سزیم ۱۳۷ در نمونه‌های محدوده منطقه مرجع در منطقه مورد مطالعه

شماره نمونه	وزن خشک (kg)	فعالیت سزیم (Bqkg <sup>-1</sup> )	مقدار سزیم (Bqm <sup>-2</sup> )
۱	۱/۵۸۷	۱۸/۶۴	۶۱۹۲/۷
۲	۱/۵۹۳	۲۴/۱۴	۸۰۵۰/۴
۳	۱/۴۸۱	۲۲/۸۲	۷۰۷۷/۴
۴	۱/۵۳۶	۲۴/۷۱	۷۹۴۸/۴
۵	۱/۶۱۴	۱۰/۷۴	۳۶۲۹/۱
۶	۱/۵۲۷	۹/۸	۳۱۳۳/۸
۷	۱/۶۰۶	۱۸/۹۴	۶۳۷۰/۳
۸	۱/۵۰۹	۱۴/۰۱	۴۴۲۶/۹
۹	۱/۷۴۳	۲۲/۴۴	۸۱۸۸/۲
۱۰	۱/۶۳۳	۱۷/۲	۵۸۸۱/۱
۱۱	۱/۵۶۵	۱۲/۰۱	۳۹۳۷
متوسط		۱۷/۷۷	۵۸۹۴/۱

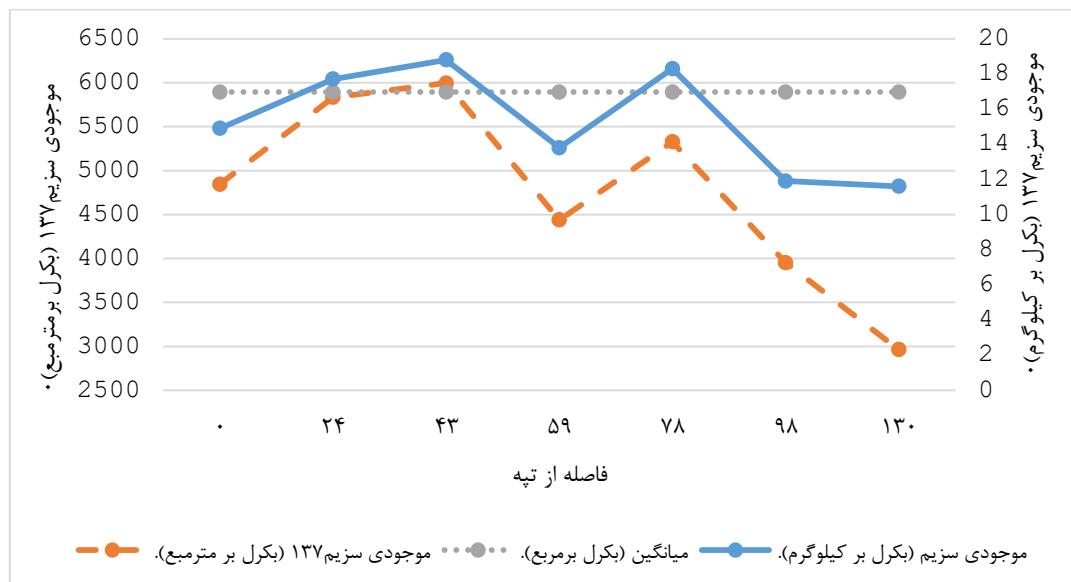
\* سطح مقطع نمونه برداری ۰/۰۴۸ مترمربع می‌باشد.

خاک‌های حمل شده از بالای دامنه باشد. بررسی تغییرات نقطه‌ای فرسایش/رسوبگذاری در طول ترانسکت مورد مطالعه نشان می‌دهد که فعالیت و موجودی سزیم ۱۳۷ دارای دو قسمت فراتر از سایت مرجع و به تعبیری انتقال خاک‌های شسته شده از بالای دامنه در این بازه دارد. در طول ترانسکت رژیم

در شکل ۱۰، نوسان ذخیره رادیوسزیم در طول این ترانسکت قابل ملاحظه است. روند کاهنده ذخیره رادیوسزیم دوبار تکرار شده است که این مهم می‌تواند به دلیل ناهم‌سال بودن درختان کاشته شده و وجود پرچین یا حصارهای چوبی و درختی در اطراف و حاشیه باغ، روند تغییرات کاربری و یا انباشت

ضعیفی برخوردار است، بسیار بالا بوده، به مراتب از متوسط نرخ فرسایش ترانسکت بالاتر به دست آمده است.

فرسایشی حکمفرماست و از بالا به پایین دامنه روند افزایش نرخ فرسایش مشاهده می‌شود و به تعبیری جابجایی خاک از بالا به پایین افزایش می‌یابد. نرخ نقطه‌ای فرسایش در ترانسکت که از تاج پوشش



شکل ۱۰- بررسی موجودی و فعالیت سزیم از بالا به پایین ترانسکت در مناطق تبدیل شده

جدول ۲- فرسایش ویژه خاک در منطقه تبدیل شده اراضی حوضه ۱۰ چفرود

مدل توازن جرمی II ( $\text{tonha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ )	مدل توازن جرمی I ( $\text{tonha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ )	مدل تناسبی ( $\text{tonha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ )	ذخیره رادیونوکلئید سزیم ۱۳۷ نمونه‌های مرجع ( $\text{Bqm}^{-2}$ )	جرم چگالی ظاهری مخصوص ( $\text{kgm}^{-3}$ )	تلفات خاک (درصد)
-۱۸/۷۰	-۲۲/۷۲	-۱۸/۶۴	۵۸۹۴/۱	۱۲۴۶/۳۴	۱۹/۱۶

تغییر کاربری معادل ۴۷/۹ کیلوگرم بر مترمربع هدر رفته است. از طرفی با توجه به جرم مخصوص خشک به دست آمده برای این ترانسکت (۱۲۴۶/۳۴) کیلوگرم بر مترمکعب، این سطح از فرسایش معادل ۳/۸۴ سانتی‌متر است. بدین ترتیب در بازه ۵۴ ساله بین زمان تغییر کاربری و سال نمونه‌برداری، نرخ متوسط سالانه هدر رفت خاک در دامنه مورد مطالعه، ۰/۱ سانتی‌متر برآورد شده است.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش از روش‌های رادیونوکلئیدی در آشکارسازی نرخ فرسایش ناشی از تغییر کاربری اراضی جنگلی به زراعت چوب (صنوبر) استفاده شد. میزان فرسایش در ترانسکت معرف زراعت چوب صنوبر با

بر اساس شرایط کاربری منطقه، مدل توازن جرمی II نرخ خالص فرسایش در طول این ترانسکت ۱۸/۷۰ تن در هکتار در سال را ارائه کرده است (جدول ۲). اگر پس از قطع یکسره جنگل اولیه، فقط یک بار به هم‌ریختگی پروفیل خاک اتفاق می‌افتاد و پوشش جنگلی مستقر می‌شد، مدل تناسبی قابل استفاده است. با توجه به قطع چندین باره و به تعبیری کشت چندباره در ترانسکت معرف برای زراعت چوب (صنوبر) با دوره بازگشت ۷-۱۰ سال انجام شده است، مدل توازن جرمی II نتایج قابل اعتمادتری را ارائه می‌کند (Walling و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج نشان می‌دهد، بالغ بر ۱۹/۱۶ درصد از بخش به هم‌ریخته خاک پس از جنگل‌زدایی و به تعبیری عمق شخم در نظر گرفته شده (۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع) در طی دوره بعد از

پوشش مؤثر خاک در کاهش نرخ فرسایش خاک را تعیین کرد. همچنین، نتایج این پژوهش‌ها می‌توانند برای تصحیح دستورالعمل‌های کنترل مؤثر فرسایش در انتخاب مجموعه گسترده‌ای از شیوه‌های مدیریتی به‌وسیله کارشناسان آبخیزداری، منابع طبیعی و کشاورزی و همچنین به‌وسیله یک تولید کننده کشاورزی در رابطه با خاک‌ورزی، کاربرد کود، چرخش محصول، جمعیت گیاهان و ساختارها مورد استفاده قرار گیرد.

### سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری صمیمانه سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری و دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور و شرکت و دفتر نظارت شرکت سهامی سفارود برای پشتیبانی و ایجاد امکانات لازم برای اجرای این پژوهش کمال تشکر و قدردانی می‌شود.

استفاده از مدل‌های تناسبی و توازن جرمی I و II، به‌ترتیب ۱۸/۶۴، ۲۲/۷۲ و ۱۸/۷۰ تن بر هکتار در سال برآورد شده است. این مقادیر بر پایه موجودی ۵۸۹۴/۱ بکرل بر متر مربع رادیونوکلوئید سزیم ۱۳۷ در منطقه مرجع به‌دست آمده است. رابطه مستقیم بین میزان ذخیره رادیونوکلوئیدهای بارشی با میزان بارش مطابق فرضیات حاکم بر این روش، در نتایج این تحقیق آشکار شده است. برف‌گیر بودن رژیم بارشی حوضه چافرود و نرخ بارش قابل ملاحظه در این منطقه باعث جذب هرچه بیشتر رادیونوکلوئید سزیم ۱۳۷ بارشی در دوره بیشینه بارش آن‌ها بین سال‌های ۱۹۵۴ تا ۱۹۶۳ شده است.

در نهایت می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش رادیونوکلوئید سزیم ۱۳۷، می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای برآورد میزان بازپخش خاک و فرسایش برای منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد. پژوهش حاضر، مدل توازن جرمی II را برای برآورد توزیع مجدد خاک در نواحی حاشیه جنگل هیرکانی که با تغییر کاربری به اراضی باغی و زراعی تبدیل شده اند، توصیه می‌کند. از این روش می‌توان اثر بخشی روش‌های نوین تنفس جنگل و طولانی شدن درصد

### منابع مورد استفاده

- Altieri, V., S. De Franco, F. Lombardi, P.A. Marziliano, G. Menguzzato and P. Porto. 2018. The role of silvicultural systems and forest types in preventing soil erosion processes in mountain forests: a methodological approach using cesium-137 measurements. *Journal of Soils and Sediments*, 18: 3378-3387.
- Azmodeh, A., A. Kavian, K. Soleimani and Q. Vahabzadeh. 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 (in Persian).
- Babanejad, N., F. Kiani, A.M. Izadpanah, F. Khormali and F. Asgharizadeh. 2018. The feasibility study of using 137Cs radionuclide for estimating soil erosion in Shastkola watershed, Golestan Province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8(2): 133-147 (in Persian).
- Brevik, E.C., A. Cerdà, J. Mataix-Solera, L. Pereg, J.N. Quinton, J. Six and K. Van Oost. 2015. The interdisciplinary nature of soil. *Soil*, 1: 117-129.
- FAO and ITPS. 2015. Status of the world's soil resources, technical summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- Gharibreza, M.R. and M. Aqeel Ashraf. 2014. *Applied limnology: comprehensive view from watershed to lake*. Berlin, Springer, 204 pages.
- Gharibreza, M.R., J. Kuna Raj, I. Yusoff, Z. Othman, W.Z. Wan Muhamad Tahird and M. Aqeel Ashraf. 2013. Land use changes and soil redistribution estimation using 137Cs in the tropical Bera Lake Catchment, Malaysia. *Soil and Tillage Research*, 131: 1-10.
- Khanjani Shiraz, B. 1998. Comparison between biological and economic production and socio-economic effects of livestock production in the forest. Research Project Final Report, Agriculture and Natural Resources Research Center, Guilan Province, 98 pages (in Persian).

9. Mabit, L., M. Benmansour and D.E. Walling. 2008. Comparative advantages and limitations of the fallout radionuclides  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$  for assessing soil erosion and sedimentation. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99: 1799–1807.
10. Mabit, L., F. Zapata, M. Benmansour, C. Bernard, G. Dercon and D.E. Walling. 2014a. Assessment of soil erosion and sedimentation: the role of fallout radionuclides. In *Guidelines for using Fallout Radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies*. IAEA Publication, 1741 pages.
11. Mabit, L., S. Chhem-Kieth, P. Dornhofer, A. Toloza, M. Benmansour, C. Bernard, E. Fulajtar and D.E. Walling. 2014b.  $^{137}\text{Cs}$ : a widely used and validated medium-term soil tracer. In *Guidelines for using Fallout radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies*. IAEA Publication, 1741 pages.
12. Mirakhorlou, Kh. and R. Akhavan. 2017. Forest density and orchard classification in Hyrcanian forests of Iran using Landsat 8 data. *Journal of Forest Science*, 63(8): 355-362 (in Persian).
13. Nikkani, D., S. Shadfar and A. Jafari Ardakani. 2020. Design and establishment of the maps and database for erosion and sediment yield in 7th order watersheds. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 272 pages (in Persian).
14. Nosrati, K., S. Jalali, M.R. Zare and L. Shirzadi. 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 (in Persian).
15. Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri and R. Blair. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201): 1117–1123.
16. Sac, M.M. and M. Ichedef. 2015. Application of  $^{137}\text{Cs}$  technique for evaluation of erosion and deposition rates within cultivated fields of Salihli region, Western Turkey. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8: 477-482.
17. Sadeghi, S.H.R. 2017. Soil erosion in Iran: state of the art, tendency and solutions. *Agriculture and Forestry*, 63(3): 33-37.
18. Seddighi, F., H. Khodamoradi, A. Khaledi Darvishan, S.H.R. Sadeghi and H.R. Zareh. 2018. Evaluation of the possibility of estimating value cesium-137 activity in soil with amount annual precipitation. The 13th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran and the 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment, Ardabil, Iran (in Persian).
19. Sutherland, R.A. 1996. Caesium-137 soil sampling and inventory variability in reference samples: a literature survey. *Hydrological Processes*, 10: 43–53.
20. Tarahan Sabz Alborz Consulting Engineers. 2015. Reports on revision of forestry plan for 10 Chafroud watershed management. Department of Natural Resources, Rangeland and Watershed of Guilan Province (in Persian).
21. Walling, D.E and Q. He. 1999. Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements. *Journal of Environmental Quality*, 28(2): 611–622.
22. Walling, D.E., Y. Zhang and Q. He. 2014. Guidelines for using fallout radionuclides to assess erosion and effectiveness of soil conservation strategies. IAEA Publication, 224 pages.
23. Zhang, X.B., D.L. Higgitt and D.E. Walling. 1990. A preliminary assessment of the potential for using caesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Hydrological Sciences Journal*, 35: 267-276.