مجله ترویجی حفاظت و بهره‌برداری جنگل‌های هیرکانی، سال ۱۳۹۹، دوره ۲، شماره ۱، صفحات: ۶۲-۴۹

مقاله ترویجی

کارآیی جنگل‌کاری با تراکم متفاوت در حفاظت خاک جنگل‌های هیرکانی با استفاده از فناوری هسته‌ای (مطالعه موردی: طرح جنگل‌داری چمستان)

مجتبی محمودی[۱*]، محمدرضا غریب‌رضا[۲]، صمد شادفر[۳]، حسین رحیم‌زاده[۴]

[۱] نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

[۲] استادیار پژوهشی، رئیس گروه تحقیقات مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

[۳] دانشیار پژوهشی، گروه تحقیقات مهندسی حفاظت آب و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

[۴] محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

[*] رایانامه نویسنده مسئول: m.mahmoudip@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۳ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۰**

چکیده

تغییر کاربری اراضی جنگلی پیامدهای فراوانی در محل وقوع و خارج از محل وقوع به‌دنبال خواهد داشت. از جمله این پیامدها، هدررفت و فرسایش خاک و تغییر ویژگی‌های ذاتی آن می‌باشد که از دیرباز مورد توجه محققین بسیاری در ایران و جهان قرار گرفته است. در مقابل، روش‌های متفاوت حفاظت خاک از جمله جنگل‌کاری در اراضی پاک‌تراشی شده به‌منظور کاهش اثرات بهره‌برداری از جنگل در دهه‌های اخیر توصیه و اجرا شده است. خصوصیات خاص ایزوتوپ ناپایدار سزیم-۱۳۷، این امکان را فراهم آورده تا با استفاده از برخی اندازه‌گیری‌ها، روند کوتاه تا درازمدت فرآیندهای فرسایش و رسوب مورد بررسی دقیق قرار گیرد. در این تحقیق با استفاده از تکنیک رادیوایزوتوپ سزیم-۱۳۷، اثرات درازمدت دو جنگل‌کاری ۳۰ ساله با گونه افراپلت و صنوبر با تراکم متفاوت در منطقه چمستان استان مازندران مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد جنگل‌کاری با تراکم حدود ۲۰۰ اصله نهال در هکتار، شرایط فرسایش و توزیع مجدد خاک را نسبت به جنگل‌کاری با تراکم حدود ۶۰۰ اصله نهال در هکتار بیشتر فراهم آورده است. نرخ فرسایش خاک در جنگل‌کاری تنک ۲۷/۷ تن در هکتار در سال بود، در حالی که این نرخ برای شرایط جنگل‌کاری متراکم ۱۳ تن در هکتار در سال به‌دست آمد. بنابراین تراکم مناسب جنگل‌کاری به‌نحوی که بعد از ۳۰ سال حداقل ۶۰۰ اصله درخت در هکتار باقی باشند و یا بازکاشت نهال در جنگل‌کاری‌های تنک توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، سزیم-۱۳۷، رادیوایزوتوپ، جنگل‌کاری، تراکم.

مقدمه

یکی از مهمترین کارکردهای جنگل‌های شمال در بستر جغرافیای طبیعی ایران، نقش و جایگاه مؤثری است که در تنظیم و تعادل آب و هوای منطقه شمال کشور ایفاء می‌نماید. همچنین سامانه به‌هم پیوسته‌ای از حوزه‌های آبخیز جنگلی در قلمرو این اقلیم خاص، درحد فاصل دیواره البرز و نوار ساحلی خزر، منابع آب سطحی حاصل از عملکرد هیدرولوژیکی این جنگل‌ها را به سمت اراضی پایین‌دست و در نهایت بزرگترین دریاچه جهان هدایت می‌نماید.

یکی از برنامه‌های مدیریتی اعمال شده در جنگل‌های جلگه‌ای قطع یکسره و جنگل‌کاری مجدد آن بوده است. بر اساس این برنامه از دهه ۶۰ تقریباً به مدت ۱۰ سال سطح وسیعی از جنگل‌های جلگه‌ای حتی تا ارتفاع ۷۰۰ متر قطع یکسره و جنگل‌کاری شدند (شکل ۱).

شکل ۱- جنگل‌کاری در طرح جنگل‌داری چمستان

تغییر کاربری اراضی جنگلی به کشاورزی اعم از زراعت و باغبانی و جاده‌های دسترسی دارای پیامدهای بی‌شمار در محل[1] و دور از محل[2] است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۵). از جمله مهمترین اثرات تغییر کاربری اراضی جنگلی، هدررفت و فرسایش خاک و تغییر ویژگی‌های ذاتی آن می‌باشد که از دیرباز مورد توجه محققین در جهان و ایران قرار گرفته است. در مقابل، روش‌های متفاوت حفاظت خاک از جمله جنگل‌کاری اراضی پاک‌تراشی شده به‌منظور کاهش اثرات در محل و دور از محل بهره‌برداری از جنگل در دهه شصت توصیه و اجرا شده است. اگرچه هدف اصلی طرح‌های جنگل‌داری در ایران تولید بیشتر چوب بوده است، لیکن متناسب با روش‌های جنگل‌شناسی، جنگل‌کاری و بازکاشت[3] شرایط متفاوتی از حفاظت خاک برقرار شده است.

معرفی رادیوایزوتوپ سزیم-۱۳۷

استفاده از تکنیک‌های رادیو ایزوتوپیک و ردیاب‌های محیطی (رادیوایزوتوپ‌های ^{7}Be، ^{137}Cs، ^{210}Pb) در برآورد نرخ فرسایش و تلفات خاک تحت کاربری‌های مختلف اراضی از مهم‌ترین فناوری‌های شناخت مسائل محیطی و مدیریت منابع آب و

1- On-site
2- Off-site
3- Reforestation

خاک به‌شمار می‌روند. هم اکنون با استفاده از این ایزوتوپ‌های ناپایدار، روند کوتاه تا درازمدت فرآیندهای رسوبی بویژه رسوب‌گذاری و آلودگی مورد بررسی دقیق قرار می‌گیرند. در کشورهای توسعه یافته از رادیوایزوتوپ‌های یادشده در تعیین میزان و سهم تغییرات کاربری اراضی در حوزه از جمله جنگل‌زدایی و توسعه پروژه‌های شهرسازی، صنعتی و کشاورزی در انتقال رسوب و آلاینده‌ها و انباشت رسوب در تالاب‌ها، دریاچه‌ها، خورها و خلیج‌ها استفاده فراوانی می‌شود (Abraham *et al.*, 2000).

^{137}Cs رادیو ایزوتوپی مصنوعی است که در پی انفجار بمب‌های اتمی در بین سال‌های ۱۹۵۰تا۱۹۸۰ میلادی در اتمسفر پراکنده شد و عمدتاً در طی سه دهه یاد شده توسط بارش به سطح زمین بازگشته است. بیشینه بارش‌های رادیو ایزوتوپ‌های ^{137}Cs، ^{90}Sr و ^{238}Pu در سال ۱۹۶۳ رخ داد (Ritchie *et al.*, 2007). سال‌ها پس از آزمایش‌های اتمی، اتمسفر زمین سرشار از رادیوایزوتوپ‌های مصنوعی متصاعد شده بوده است. بر اساس تحقیقات انجام شده، حادثه چرنوبیل در سال ۱۹۸۶ حدود ۴ درصد بر ذخیره رادیوایزوتوپ‌های مصنوعی متصاعد شده افزوده است (Ritchie *et al.*, 2007).

نیمه عمر ^{137}Cs ۳۰/۲ سال است و به‌عنوان ابزاری جهت بررسی روندهای میان مدت فرآیندهای فرسایش، انتقال رسوب و رسوبگذاری شناخته شده است. مهم‌ترین مشخصه‌ای که آن را به‌عنوان یک شاخص مستقل زمانی مطرح کرد، قابلیت جذب سریع و ابقاء آن توسط ذرات رس خاک و رسوبات می‌باشد. این عنصر رادیو اکتیو نقش بسیار مخربی در سلامت محیط زیست ایفا کرده اما به‌عنوان ردیاب در مطالعات مختلف محیطی مورد استفاده قرار گرفته است. از قابلیت ^{137}Cs در برآورد فرسایش خاک، خطرات فرسایش در مقیاس‌های متفاوت و تهیه نقشه خاک، استفاده بی‌شمار شده است (Walling *et al.*, 2007). در این مقاله تلاش شده است تا با استفاده از تکنیک ^{137}Cs نرخ فرسایش خاک در دو کاربری متفاوت جنگل‌داری متراکم و کم‌تراکم مقایسه شوند. به این منظور در طرح جنگلداری چمستان دو کاربری جنگل‌داری متراکم و جنگل‌داری تنک انتخاب و اثر روش‌های مدیریت جنگل بر توزیع مجدد خاک بررسی و ابعاد آن در این مقاله تبیین شده است.

روش بررسی

منطقه مورد بررسی

عرصه مورد نظر شامل دو پارسل به مساحت ۱۳۰/۵ هکتار در پارک جنگلی کشپل چمستان و در فاصله ۲/۵ کیلومتری شهرچمستان قرار دارد. این مناطق جزو طرح جنگل‌داری تهیه شده در سال ۱۳۴۹ بوده که از سال ۱۳۶۵ تاکنون توسط شرکت جنگل‌های قدس اداره می‌شود (سبزآریا ، ۱۳۷۵). منطقه تحقیق بین طول‌های جغرافیایی "۲۰ '۰۵ °۵۲ و "۱۵ '۰۶ °۵۲ و عرض‌های جغرافیایی "۳۲ '۲۸ °۳۶ و "۴۰ '۲۸ °۳۶ واقع شده است. پوشش درختی غالب منطقه توسکا- لرک و توسکا- توسکا و بلوط- افرا، بلوط- ممرز- انجیلی و ممرز- انجیل است. در این منطقه دو نوع جنگل‌کاری متراکم با حدود ۶۰۰ اصله درخت در هکتار و جنگل‌کاری کم تراکم (با حدود ۲۰۰ اصله درخت در هکتار) انتخاب شد. جنگل‌کاری متراکم از نوع همسال با گونه افراپلت و با سن حدود ۳۰ بوده است. جنگل‌کاری کم تراکم از نوع ناهمسال و با سن ۳۰ سال بوده است. در سال ۱۳۶۷ با صنوبر انجام شد ولی به‌دلیل عدم استقرار گونه اصلی بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ با گونه‌های توسکا و افرا بازکاشت صورت گرفت.

برداشت نمونه مرجع

استفاده از تکنیک‌های رادیوایزوتوپی بر مبنای مقایسه نمونه‌های هدف با نمونه‌ها مرجع است که در آن نمونه‌های مرجع نشان دهنده فعالیت تجمعی رادیونوکلوئیدهای بارشی در آن محل باشد. طبق استاندارد سازمان انرژی اتمی موقعیت نمونه‌های مرجع جایی است که در آنجا فرایندهای فرسایش و رسوبگذاری رخ نداده باشد و ترجیحاً دارای پوشش مرتعی یا جنگل تنک داشته باشند (IAEA, 1998). شناسایی محل نمونه مرجع نقش تعیین کننده‌ای در موفقیت و دستیابی به اهداف تعیین شده دارد. از آنجایی که میزان ذخیره رادیواکتیویته عناصر رادیونوکلئیدهای بارشی مستقیماً با میزان و نوع بارش و میزان درصد بخش رس پروفیل خاک و جنس سنگ مادری در ارتباط است، انتظار می‌رود این میزان در حوزه‌های آبخیز مجاور متفاوت باشد. از این‌رو فاصله محل نمونه‌های مرجع با ترانسکت‌های نمونه‌برداری را حداکثر بین ۱ تا ۵ کیلومتر ذکر کرده‌اند (IAEA, 2014).

به‌منظور اثبات روند کاهش نمایی فعالیت رادیوایزوتوپ‌ها در نیم‌رخ خاک، با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار، صفحه خراش دهنده تا عمق

حداکثر ۳۰ سانتی‌متری (حداکثر عمق مهاجرت ^{137}Cs) و به ازای هر دو سانتی‌متر یک نمونه برداشت شد (شکل ۲). دستگاه با قابلیت تعویض محل نصب دسته نمونه‌بردار با فاصله دو سانتی‌متر، کاربر را قادر می‌سازد از اعماق مختلف نمونه‌برداری کند. برای حفظ رطوب خاک، نمونه‌ها مطابق عمق برداشت شده در کیسه پلاستیکی ذخیره و نام‌گذاری شدند. در صورت عدم دستیابی به روند نمایی کاهنده اکتیویته رادیوایزوتوپ‌ها، محل دیگری برای برداشت نمونه لایه لایه انتخاب می‌شد.

شکل ۲- مراحل استفاده از دستگاه نمونه‌بردار صفحه خراش دهنده

ترانسکت اول به طول ۴۴۱ متر در پارسل ۱۱۱ در سری ۱ برداشت شده است. مساحت پارسل ۵۴/۵ هکتار بوده است. تعداد درختان در هر هکتار بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ اصله گزارش شده است. شیب این ترانسکت ملایم و حدود ۲/۵ درصد بوده است و بین ارتفاعات ۱۸۹ و ۱۹۹ متری واقع شده است. در طول ترانسکت اول در راستای جنوب شرق- شمال غرب تعداد ۱۶ نمونه خاک با فاصله ۳۰ متر برداشت شد (شکل ۳).

شکل ۳- نمایی از راستای برداشت نمونه در طول ترانسکت شماره اول

ترانسکت دوم به‌طول ۳۳۰ متر در پارسل ۱۱۸ سری ۱ برداشت شده است. مساحت این پارسل ۷۶ هکتار است که در سال ۱۳۶۷ با درختان افراپلت جنگل‌کاری شد. تعداد درختان در هر هکتار ۶۲۸ اصله و حجم در هکتار ۱۱۸ مترمکعب گزارش شده است. شیب این ترانسکت ملایم و حدود ۳/۶ درصد بوده و بین ارتفاعات ۲۲۸ و ۲۴۰ متری واقع شده است.

در طول ترانسکت دوم که از نوع جنگل‌کاری متراکم می‌باشد، در راستای جنوب شرق- شمال غرب تعداد ۹ نمونه با فاصله ۳۰ متر برداشت شد. سایت مرجع نیز در کنار ترانسکت دوم انتخاب شد (شکل ۴).

شکل ۴- نمونه‌برداری در طول ترانسکت دوم (عکس سمت راست) و نمونه‌برداری لایه‌لایه در سایت مرجع در کنار ترانسکت دوم (عکس سمت چپ)

آنالیزهای آزمایشگاهی

ابتدا بر اساس پروتکل‌ها و تجارب موجود (IAEA, 1998, 2014; Gharibreza, 2014) مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها صورت گرفت. سپس اندازه‌گیری بافت خاک ۱۸ نمونه ترانسکت‌ها و ۲۵ نمونه سایت مرجع، در آزمایشگاه آب و خاک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شد. اکتیویته رادیوایزوتوپ ^{137}Cs نمونه‌ها در آزمایشگاه گاما اسپکترومتری سازمان انرژی اتمی کشور تعیین شد. موجودی و فعالیت ^{137}Cs در واحد جرم بر حسب بکرل بر کیلوگرم ($Bq\ kg^{-1}$) گزارش می‌شود.

اجرای مدل‌های برآورد نرخ بازپخش[1] (فرسایش/رسوبگذاری) خاک

از مهم‌ترین مشخصه‌های محل مرجع، دست نخورده بودن و دریافت حداکثر بارش رادیوایزوتوپی و عدم وجود آثار انباشت رسوب و فرسایش خاک است. ساده‌ترین روش در برآورد هدر رفت خاک استفاده از رابطه ۱ است که در آن رادیواکتیویته نمونه مورد نظر با نمونه سایت مرجع مقایسه شده است.

$$\left(A_{ref} - A \Big/ A_{Ref}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن A رادیواکتیویته ^{137}Cs نمونه مورد نظر و A_{ref} رادیواکتیویته ^{137}Cs نمونه مرجع می‌باشد.

در شرایط استقرار رژیم فرسایشی، رادیواکتیویته ^{137}Cs نمونه مورد آزمون از رادیواکتیویته ^{137}Cs سایت مرجع کمتر و در شرایط انباشت رسوب، رادیواکتیویته ^{137}Cs نمونه مورد نظر به‌دلیل غنی شدن ناشی از انباشت خاک‌های فرسوده شده بالادست دامنه بیشتر خواهد بود.

1- Soil redistribution

روابط و معادلات معتبر ارائه شده توسط Walling و همکاران (۲۰۰۷) در برآورد نرخ فرسایش خاک و انباشت رسوب بر اساس مفروضات حاکم بر استفاده از رادیوایزوتوپ‌های بارشی و تعاریف فوق‌الذکر واژه "بازپخش خاک" را جایگزین فرسایش خاک کرده‌اند که از طرفی قابلیت منحصر به‌فرد این روش بوده و امکان جابجایی خاک را در سطح دامنه و مزرعه آشکار می‌سازد. این در شرایطی است که در روش‌های سنتی مانند پلات آزمایشی، میزان جابجایی خاک و انباشت آن در جای جای دامنه قابل اندازه‌گیری نیست.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این مطالعه ترویجی از مدل موازنه جرمی II استفاده شده است که در آن تغییرات زمانی ریزش رادیوایزوتوپ‌ها و سرنوشت رادیوایزوتوپ‌های تازه اضافه شده به سطح خاک قبل از عملیات به‌هم ریختگی پروفیل خاک در حین قطع یکسره یا عملیات شخم را در نظر می‌گیرد. اطلاعات ورودی به این مدل، شامل سال پاک‌تراشی جنگل در طرح جنگل‌داری و تبدیل اراضی جنگلی به اراضی کشاورزی، عمق شخم یا ضخامت به‌هم ریختگی خاک (m)، وزن مخصوص ظاهری خاک ($kg.m^{-3}$)، رادیواکتیویته ^{137}Cs ($Bq.m^{-2}$)، عمق بیشینه تمرکز رادیوایزوتوپ در پروفیل خاک (m) و فاکتورهای تصحیح اندازه ذرات (P) می‌باشند. اطلاعات خروجی شامل میزان فرسایش (مقادیر منفی) و رسوبگذاری (مقادیر مثبت) به تن در هکتار هستند. نرخ خالص بازپخش خاک، حاصل جمع جبری مقادیر فرسایش/رسوبگذاری نمونه‌ها در طول ترانسکت می‌باشد. بدین ترتیب، مقادیر نرخ خالص منفی نشان‌دهنده فرسایشی بودن رژیم بازپخش خاک در طول دامنه است و عکس آن بیانگر عدم خروج خاک از دامنه و انباشت آنها عمدتاً در بخش پایین‌دست دامنه است. داده‌ها در قالب یک Macro تحت نرم‌افزار Excel (Walling و همکاران، ۲۰۰۷) تجزیه و تحلیل شد.

یافته‌ها و تحلیل‌ها

خصوصیات فیزیکی خاک جنگل‌کاری‌های ترانسکت‌های مورد مطالعه

متوسط توزیع نسبی ذرات خاک در ترانسکت اول با کاربری جنگل‌کاری ناهمسال ولی با تراکم حدود ۲۰۰ اصله درخت در سن ۳۰ سالگی در منطقه چمستان به ترتیب ۱/۷۸±۲/۸۶ درصد ماسه با ضریب تغییر ۰/۶۲، ۴/۷±۴۷/۵۸ درصد سیلت با ضریب تغییر ۰/۱ و بالاخره ۵/۸۳±۴۹/۵۶ درصد رس با ضریب تغییر ۰/۱۲ بدست آمده است. در این ترانسکت فراوانی ذرات در اندازه سیلت و

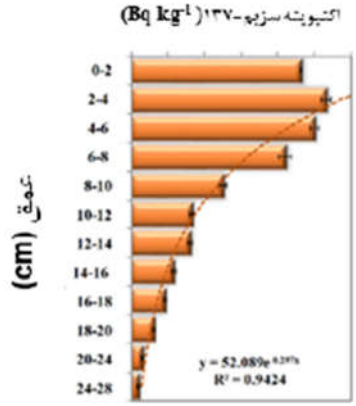
رس با حداقل ضریب تغییر مشاهده شده و در مقابل تغییرات نسبتاً زیاد ذرات ماسه مشاهده شده است. بر این اساس، بافت خاک در طول این ترانسکت بازکاشت شده غالباً رس سیلتی است. همچنین مقدار متوسط وزن مخصوص خشک نمونه‌های این ترانسکت ۱۳۱±۱۳۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب با ضریب تغییر ۰/۱ محاسبه شده است.

بررسی توزیع اندازه ذرات خاک در ترانسکت دوم با کاربری جنگل‌کاری با تراکم حدود ۶۰۰ اصله درخت همسال افراپلت در سی سالگی در منطقه چمستان نشان داد که خاکدانه این ترانسکت به طور متوسط دارای ۲/۵۹±۴/۵۵ درصد ماسه با ضریب تغییر ۰/۵۷، ۶/۴۷±۵۱/۷۵ درصد سیلت با ضریب تغییر ۰/۱۲ و ۷/۰۴±۴۳/۷ درصد رس با ضریب تغییر ۰/۱۶ است. بافت خاک در بخش‌های بالا و انتهایی لوم سیلتی- رسی و در میانه ترانسکت رس سیلتی است.

مقدار متوسط وزن مخصوص خشک به‌عنوان یکی از خصوصیات فیزیکی مهم در این مطالعات در طول این ترانسکت ۸۴±۱۳۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب با ضریب تغییر ۰/۰۶ به‌دست آمد.

موجودی رادیوایزوتوپ سایت‌های مرجع

تعیین ذخیره یا اکتیویته مجموع لایه‌های سایت مرجع از مهم‌ترین مراحل کاربرد تکنیک‌های رادیوایزوتوپی به‌شمار می‌رود. به‌هم ریختگی پروفیل خاک و عدم وجود روند نمایی در فروپاشی ^{137}Cs باعث عدم تأیید سایت مرجع انتخاب شده خواهد شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده ذخیره ^{137}Cs سایت مرجع چمستان (R^2=0.94) ۱۴۰/۸ بکرل بر کیلوگرم به‌دست آمد. همان گونه که در شکل ۵ مشهود است، در سایت مرجع، توزیع نمایی سزیم-۱۳۷ در عمق خاک نشان دهنده عدم به‌هم خوردگی در پروفیل خاک می‌باشد و در نتیجه می‌توان آن را به‌عنوان سایت مرجع در نظر گرفت.



شکل ۵- روندنمایی کاهش رادیواکتیویته سزیم-۱۳۷ در سایت مرجع

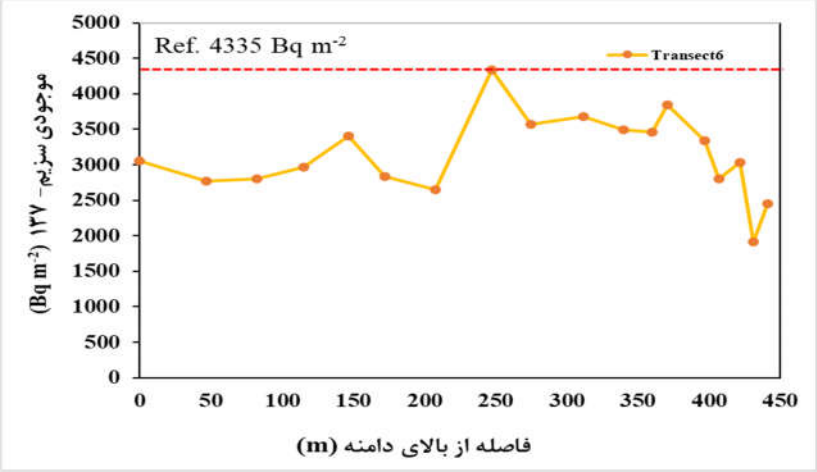
ذخیره رادیوایزوتوپ نمونه‌های مورد مطالعه

ترانسکت اول- جنگل‌کاری ناهمسال

بیشینه، کمینه و متوسط ذخیره ^{137}Cs در طول این ترانسکت به ترتیب ۴۳۴۰، ۱۹۱۱ و

۳۱۳۴±۵۶۷ بکرل بر مترمربع (در عمق ۲۵ سانتی‌متر) با ضریب تغییر ۰/۱۴ بوده است. این میزان ذخیره برای بارش متوسط ۸۶۶ میلی‌متر و تاج پوششی برابر ۵۰> درصد و میزان کف پوشش ۵ درصد و وضعیت کوبیدگی خاک نسبتاً زیاد بدست آمد. این ترانسکت بر روی واحدهای چینه شناسی Q_1 و Q_2 پادگانه‌های آبرفتی کواترنری قرار دارد. تیپ خاک نیز قهوه‌ای شسته شده با افق آرجیلیک و به ضخامت تا ۷۰ سانتیمتری، بدون برونزد سنگی و بافت غالب خیلی سنگین "رس سیلتی" است.

برازش مقادیر ذخیره سزیم-۱۳۷ و توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها در طول ترانسکت نشان داد که برخلاف انتظار همبستگی مثبتی بین فراوانی ذرات رس و ذخیره ^{137}Cs وجود ندارد. از طرفی همبستگی مثبت و متوسطی بین فراوانی ذرات سیلتی و ماسه‌ای و ذخیره ^{137}Cs در طول این ترانسکت به‌دست آمده است. تغییرات ذخیره ^{137}Cs در طول ترانسکت مطابق انتظار از بالای دامنه به سمت پایین دامنه می‌باشد، جائی که خاک‌های فرسایش یافته تجمع یافته و تا اندازه‌ای ذخیره ^{137}Cs افزایش یافته است (شکل ۶).



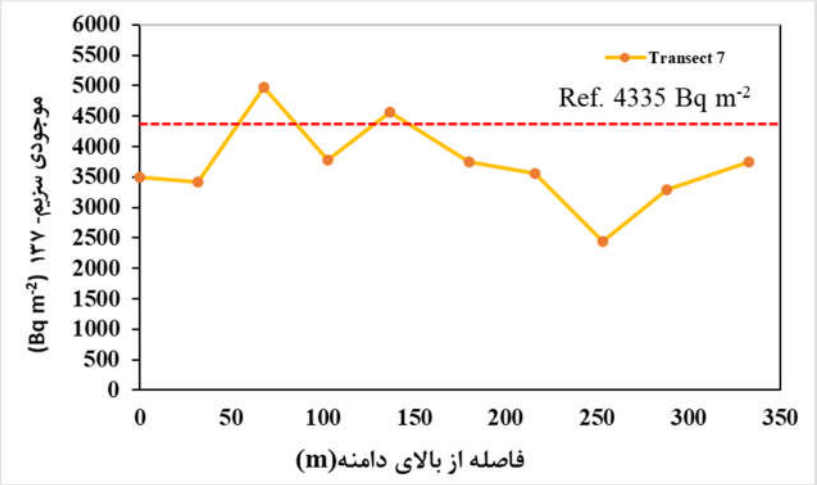
شکل۶- روند تغییرات رادیواکتیویته سزیم-۱۳۷ در طول ترانسکت واقع در جنگل‌کاری ناهمسال

ترانسکت دوم- جنگل‌کاری همسال

بیشینه، کمینه و متوسط ذخیره سزیم-۱۳۷ در طول این ترانسکت به ترتیب ۴۹۷۲، ۲۴۴۰ و ۳۰۷۲±۶۹۰ بکرل در مترمربع ضریب تغییر ۰/۱۹ است (شکل ۷). این میزان ذخیره برای بارش متوسط ۸۶۶ میلی‌متر و تاج پوششی بیش از ۵۰ درصد و میزان کف پوشش ۵ درصد و وضعیت کوبیدگی خاک نسبتاً متوسط به‌دست آمده است.

این ترانسکت بر روی واحدهای چینه شناسی Q_1 پادگانه‌های آبرفتی کواترنری قراردارد. تیپ خاک نیز قهوه‌ای شسته شده با افق آرجیلیک و به ضخامت تا ۹۰ سانتیمتری، بدون برونزد سنگی و بافت غالب خیلی سنگین "رس سیلتی" و در بالا و پایین ترانسکت لوم سیلتی- رسی است.

برازش مقادیر ذخیره سزیم-۱۳۷و توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها در طول ترانسکت نشان داد که همبستگی مثبت ولی ضعیفی بین فراوانی ذرات رس و ذخیره سزیم-۱۳۷وجود دارد. از طرفی همبستگی منفی و متوسطی بین فراوانی ذرات سیلتی و ماسه‌ای و ذخیره سزیم-۱۳۷ در طول این ترانسکت به‌دست آمده است. بررسی تغییرات ذخیره سزیم-۱۳۷ در طول ترانسکت نشان از وجود دو قسمت فراتر از سایت مرجع و به تعبیری انتقال خاک‌های شسته شده از بالای دامنه در این بازه دارد.



شکل۷- روند تغییرات رادیواکتیویته سزیم-۱۳۷ در طول در طول ترانسکت واقع در جنگلکاری همسال

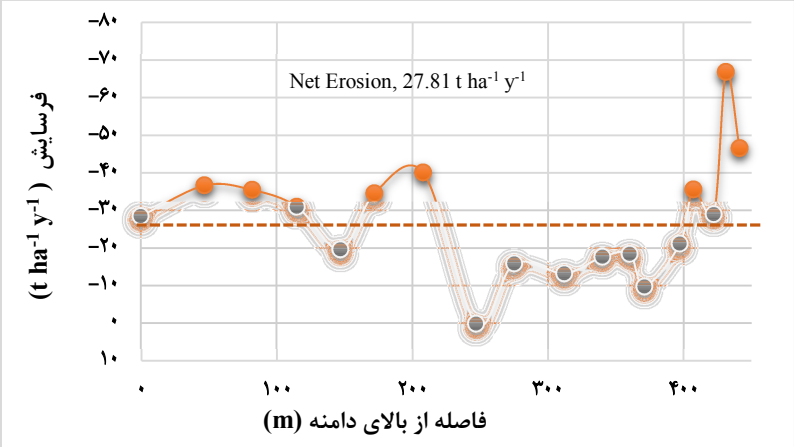
نرخ فرسایش خاک در جنگل‌کاری‌ها

نرخ فرسایش ترانسکت معرف کاربری جنگل‌کاری کم تراکم ناهمسال

در این ترانسکت نیز مدل‌های تبدیل اراضی زراعی از جمله مدل تناسبی و تعادل جرمی I و II نیز برای محاسبه نرخ باز پخش خاک استفاده شده است. نتایج تأکید بر رژیم کلی فرسایشی در طول این ترانسکت دارد، به‌جز یک نقطه در فاصله ۲۵۰ متری بالای دامنه که در آن انباشت خاک‌های جابجا شده رخ داده است. در چنین شرایطی نرخ

خالص فرسایش در طول این ترانسکت ۲۷/۸۱ تن در هکتار در سال به‌دست آمده است. مشاهدات میدانی نشان داد که به‌دلیل تنوع درختان بازکاشت شده تاج پوشش بسیار متفاوتی در این پارسل وجود داشته و ایجاد سطح در معرض فرسایش دائمی در عرصه کرده است که به سبب آن و نرخ فرسایش سالانه یاد شده رقم خورده است. برآورد نرخ متوسط هدر رفت خاک نسبت به ضخامت بخش به‌هم ریخته آن پس از جنگل‌زدایی ۲۵ سانتی‌متر و به تعبیری ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع منظور شده است. بر اساس نرخ هدر رفت موجودی ^{137}Cs ، ۲۷/۷ درصد از ضخامت خاک بهم ریخته در طی دوره بعد از تغییر کاربری برابر ۶۹/۲ کیلوگرم بر مترمربع از خاک هدر رفته است. از طرفی با توجه وزن مخصوص خشک به‌دست آمده برای این ترانسکت (۱۳۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب)، این میزان از فرسایش معادل ۵/۲۱ سانتی‌متر می‌باشد. بدین ترتیب در بازه ۳۰ ساله بین زمان جنگل‌زدایی و سال نمونه‌برداری، دامنه مورد مطالعه با نرخ متوسط فرسایش سالانه ۰/۱۷۳ سانتی‌متر فرسایش یافته است.

در طول این ترانسکت طولانی، روند کاهنده نرخ فرسایش حداقل تا فاصله ۲۵۰ متری از بالای دامنه دو بار رقم خورده است و اوج آن در انباشت خاک‌های فرسایش یافته در این فاصله بوده است (شکل ۸). سپس از میانه ترانسکت مجدداً نرخ فرسایش شدت یافته و در انتهای ترانسکت به حداکثر نرخ نقطه‌ای خود می‌رسد. همان گونه که قبلاً نیز عنوان شد، بخش‌هایی از این ترانسکت بیش از ۲۵ سال بدون پوشش بوده است، طوری که در سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ مجدداً نهال‌کاری انجام شده است.

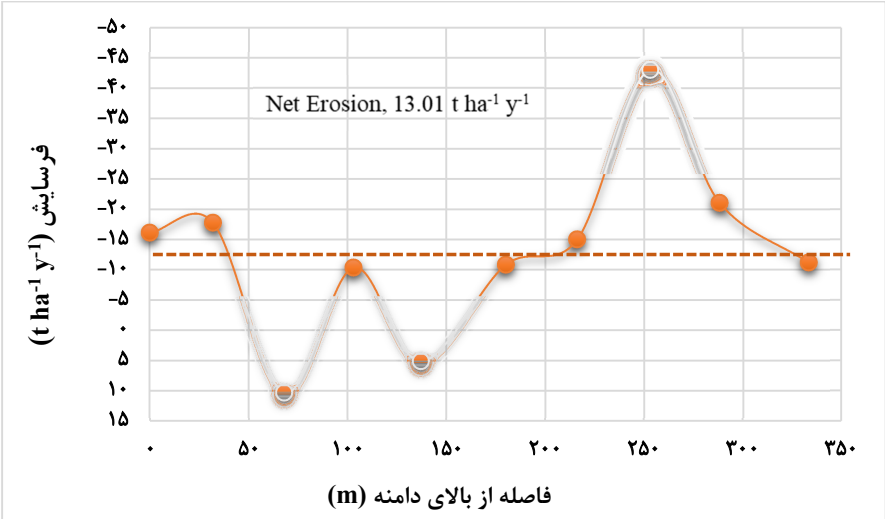


شکل ۸- روند شدت فرسایش در طول ترانسکت اول از بالا به پایین دامنه با کاربری جنگل‌داری دانه‌زاد ناهمسال

نرخ فرسایش ترانسکت معرف کاربری جنگل‌کاری متراکم همسال

در این ترانسکت بر اساس مقادیر موجودی ^{137}Cs نیز مدل‌های تبدیل اراضی زراعی از جمله مدل تناسبی و تعادل جرمی I و II نیز برای محاسبه نرخ بازپخش خاک استفاده شده است. نتایج تأکید بر رژیم کلی فرسایشی در طول این ترانسکت دارد به‌جزء یک نقطه در فاصله ۱۳۰ متری بالای دامنه که در آن انباشت خاک‌های جابجا شده رخ داده است (شکل ۹). در چنین شرایطی نرخ خالص فرسایش در طول این ترانسکت ۱۳/۰ تن در هکتار در سال به‌دست آمده است. مشاهدات میدانی نشان داد که به‌دلیل کاشت همسال و منظم با تاج پوشش مناسب، سطح در معرض فرسایش بسیار کاسته شده و پدیده فرسایش سطحی به‌خوبی کنترل شده است.

برآورد نرخ متوسط هدر رفت خاک نسبت به ضخامت بخش به‌هم ریخته آن پس از جنگل‌زدایی ۲۵ سانتی‌متر و به تعبیری ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع منظور شده است. بر اساس نرخ هدر رفت موجودی ^{137}Cs ، ۱۴/۶ درصد از ضخامت خاک بهم ریخته در طی دوره بعد از تغییر کاربری برابر ۳۶/۵ کیلوگرم بر مترمربع از خاک هدر رفته است. از طرفی با توجه وزن مخصوص خشک به‌دست آمده برای این ترانسکت (۱۳۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب)، این میزان از فرسایش معادل ۲/۷۵ سانتی‌متر می‌باشد. بدین ترتیب در بازه ۳۰ ساله بین زمان جنگل‌زدایی و سال نمونه‌برداری، دامنه مورد مطالعه با نرخ متوسط فرسایش سالانه ۰/۰۹سانتی‌متر فرسایش یافته است.



شکل ۹- روند شدت فرسایش در طول ترانسکت دوم از بالابه پایین دامنه با کاربری جنگل‌داری دانه زاد همسال

توصیه ترویجی

نرخ فرسایش خاک در عرصه‌هایی که به روش جنگل‌شناسی قطع یکسره پاک‌تراشی شده‌اند و عمدتاً با درختان افرا جنگل‌کاری شدند، ۱۳ تن در هکتار در سال بوده است. بر این اساس، اراضی جنگلی بازکاشت شده اگرچه همسال هستند، ولی چون بیش از ۶۵ درصد تاج پوشش دارند دارای نرخ متوسط ۱۴/۴۸ تن در هکتار در سال متحمل فرسایش شده‌اند. این نرخ، نشان دهنده روند بلند نتایج نشان داد که جنگل‌کاری با تراکم بیش از ۶۰۰ درخت در هکتار در سن سی سالگی به‌دلیل تاج پوشش قابل ملاحظه در مقایسه با جنگل‌کاری کم تراکم شده بین ۴۰ تا ۵۳ درصد اثر بخشی بیشتری در حفاظت خاک داشته‌اند. بدین ترتیب، توصیه می‌شود:

- جنگل‌کاری‌های کم تراکم شده قویاً با استفاده از گونه‌های مناسب و سازگار بازکاشت شوند.
- برنامه جنگل‌کاری با فاصله کاشت مناسب و یا در صورت تلفات با واکاری، طوری تنظیم شود تا بعد از سه دهه استقرار حداقل ۵۰۰ الی ۶۰۰ اصله در هکتار درخت در عرصه موجود باشد.

منابع

رسولی صدقیانی، م.، کریمی، ص.، برین، م.، خداوردی‌لو، ح. و بانج شفیعی، ع. ۱۳۹۵. تأثیر تغییر کاربری اکوسیستم‌های جنگلی بر شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک. مجله جنگل ایران، ۸: ۱۷۸-۱۶۷.

سبزآریا، طرح جنگل‌داری سری۱ چمستان، طرح‌های جنگل‌داری. ۱۳۷۵. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران- ساری، ساری.

Abraham, J.P., Whicker, F.W., Hinton, T.G. and Rowan, D.J. 2000. Inventory and spatial pattern of ^{137}Cs in a pond: a comparison of two survey methods. Environmental Radioactivity, 51: 157-171.

Gharibreza, M. and Ashraf, M.A. 2014. Applied Limnology. Tokyo, Springer, 201 pp.

IAEA, 1998. Use of Cs-137 in the study of Soil Erosion and Sedimentation. TECDOC-0828, International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA. 2014. Guidelines for Using Fallout Radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies. IAEA TECDOC SERIES. International Atomic Energy Agency, Vienna.

Ritchie, J.C., Ritchie, C.A, Ritchie, J.C. and Ritchie, C.A. 2007. Bibliography of publications of 137Cesium studies related to erosion and sediment deposition. USDA-ARS Hydrology.

Walling, D.E., Zhang, Y. and He, Q. 2007. Models for Converting Measurements of Environmental Radionuclide Inventories (137Cs, Excess 210Pb, and 7Be) to Estimates of Soil Erosion and Deposition Rates (Including Software for Model Implementation). In: Geography, D.o. (Ed.), University of Exeter, Exeter, 1-32.