

تغییرات رواناب و رسوب در پی تغییر برخی ویژگی‌های خاک در اثر عملیات بهره‌برداری جنگل (مطالعه موردی: جنگل خیرود)

مریم اتحادی ابری^۱، باریس مجنونیان^{۲*}، آرش ملکیان^۳ و مقداد جورغلامی^۴

^۱ دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

^۲ استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

^۳ دانشیار گروه مهندسی احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

^۴ دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۲)

چکیده

عملیات بهره‌برداری از جنگل، سبب تغییر برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و در پی آن تغییر مقدار رواناب و تولید رسوب می‌شود. بررسی تغییرات رواناب و رسوب در پی تغییر خصوصیات خاک در اثر عملیات بهره‌برداری جنگل، در بهبود توصیه‌های مدیریتی و کمی کردن تغییرات رواناب و فرسایش خاک سودمند خواهد بود. این پژوهش برای بررسی شماری از متغیرهای مؤثر خاک در تولید رواناب و رسوب در اثر بهره‌برداری جنگل، در جنگل آموزشی پژوهشی خیرود انجام گرفت. بر این اساس، پلات‌های دو متر مربعی در قالب هشت تکرار در هر چهار منطقه (با روش‌های مختلف بهره‌برداری): شاهد (بدون بهره‌برداری)، منطقه بهره‌برداری شده به روش تک‌گزینی، منطقه بدون پوشش تاجی و مسیرهای چوبکشی ایجاد شده و بارندگی‌های طبیعی به‌وقوع پیوسته از آذر ۱۳۹۳ تا آذر ۱۳۹۴، برای تعیین مقدار رواناب و رسوب اندازه‌گیری شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت، درصد رطوبت، درصد ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری، pH و EC نیز اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیق بیانگر تأثیر معنی‌دار تغییر پوشش تاجی و گیاهی در اثر بهره‌برداری بر مقدار رواناب و رسوب است. برپایه نتایج، درصد رس و وزن مخصوص ظاهری خاک، همبستگی معنی‌دار مثبت؛ و درصد ماسه، اسیدیته و ماده آلی همبستگی معنی‌دار منفی با مقدار رواناب دارند. همچنین مشخص شد که متغیرهای درصد رطوبت خاک، درصد ماسه و ماده آلی خاک، ارتباط منفی؛ و درصد رس و وزن مخصوص ظاهری خاک همبستگی معنی‌دار مثبت با مقدار رسوب دارند. نتایج این تحقیق ضرورت توجه بیشتر به تحقیقات در زمینه برآورد رواناب و رسوب در اراضی جنگلی و مناطق بهره‌برداری شده را نشان می‌دهد. از این رو پیشنهاد می‌شود فعالیت‌های مدیریتی و بهره‌برداری متناسب با قابلیت این اراضی و با توجه به پتانسیل بازگشت‌پذیری کیفیت خاک از دست‌رفته، طراحی و اجرا شود.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، بهره‌برداری جنگل، تاج پوشش، درصد ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری خاک.

مقدمه و هدف

و فرسایش خاک، تابع عوامل مختلفی است که هر یک، دیگری را تقویت یا تضعیف می‌کند (Begueria et al., 2006). یکی از متغیرهای مهم و شایان بررسی در رخدادهای رواناب و فرسایش، ویژگی‌های

فرسایش خاک، از مشکلات زیست محیطی جهانی به‌شمار می‌رود که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. رواناب سطحی به‌دست آمده از بارندگی

قطع یکسره با از بین بردن پوشش تاجی و گیاهی جنگل، سبب افزایش درصد خاک لخت جنگل می شود؛ افزایش خاک لخت (بدون پوشش گیاهی) جنگل تأثیر زیادی بر افزایش مقدار رسوب دارد (Fernandez & Vega, 2016; Prats et al., 2016). افزایش مکانیزاسیون و استفاده از ماشین آلات مختلف در عملیات بهره برداری و ایجاد مسیرهای چوبکشی، سبب افزایش رسوب و فرسایش خاک می شود (Wagenbrenner et al., 2016). جاده‌ها و مسیرهای چوبکشی بیشترین منبع تولید رسوب در جنگل به‌شمار می‌روند (Suryatmojo et al., 2011).

بهره برداری به روش تک‌گزینی نیز موجب تغییر خصوصیات خاک جنگل می‌شود. بعد از عملیات بهره‌برداری و خروج چوب، ظرفیت نفوذپذیری خاک تا ۳۴/۳۲ درصد کاهش می‌یابد که این مقدار در شیوه‌های قطع یکسره به ۸۱/۲ درصد می‌رسد (Suryatmojo et al., 2011)؛ اگرچه محققان اذعان دارند که تحقیق در زمینه تأثیر شیوه‌های گزینشی بر رواناب و رسوب کمتر صورت گرفته است (Suryatmojo et al., 2011). پژوهش‌های مختلفی در زمینه ویژگی‌های مؤثر خاک بر رواناب و فرسایش خاک انجام گرفته است. Casermeiro et al. (2004) به بررسی تأثیر پوشش گیاهی و خصوصیات خاک بر مقدار فرسایش پرداختند و نتیجه گرفتند که بیشتر متغیرهای اندازه‌گیری شده در خاک، همبستگی ضعیفی با مقدار فرسایش دارند و در مقابل نوع پوشش گیاهی و درصد ماده آلی خاک را عامل‌های اصلی کنترل‌کننده فرسایش بیان کردند.

(Vahabi & Nikkami (2008) به بررسی اثر بافت خاک، درصد رطوبت خاک، شیب و پوشش گیاهی در مقدار رسوب تولیدی با استفاده از باران‌ساز در حوزه آبخیز طالقان پرداختند. نتایج نشان داد که درصد رس، سیلت و درصد رطوبت خاک همبستگی مثبت و درصد ماسه نیز همبستگی منفی با مقدار رسوب تولیدی داشت. بررسی‌ها نشان می‌دهد که درصد ماسه

خاک است. از آنجا که فعالیت‌های انسانی و تغییر غیراصولی کاربری اراضی، به‌ویژه اکوسیستم‌های طبیعی، تأثیر چشمگیری بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها و در پی آن مقدار رواناب و فرسایش خاک می‌گذارد، بررسی تغییرات رواناب و فرسایش خاک در پی تغییر خصوصیات خاک، در خاک‌های تحت پوشش کاربری‌های مختلف و مجاور هم، ضروری است. تأثیر فعالیت‌های مختلف انسانی بر مقدار رواناب و رسوب، در تحقیقات بسیاری بررسی شده است (Zhang et al., 2004; Pamukcu et al., 2014). بیشتر این تحقیقات بر تغییر کاربری‌های مختلف (Mohammad & Adam, 2010; Zoklab & Naser, 2011)، جنگل‌زدایی و جنگلکاری (Khazayi et al., 2011; Suryatmojo et al., 2013) و همچنین تأثیرات بهره‌برداری (Wagenbrenner et al., 2016; Etehadi Abari et al., 2017) تمرکز داشته‌اند.

(Zhang et al. (2014) با استفاده از آزمایش‌های شبیه‌ساز باران، همبستگی میان شیب، بارش، نفوذ، رواناب و فرسایش را در پوشش‌های گیاهی گوناگون، تجزیه و تحلیل کردند. یافته‌های آنها نشان داد که بازده و الگوی رواناب و رسوب در انواع پوشش گیاهی، متفاوت است. علاوه بر این، جنگل به‌طور مؤثری ساختار خاک را بهبود بخشیده و مقدار رواناب و رسوب را کاهش داده است. عملکرد حفاظت آب و خاک جنگل شامل ذخیره آب و کاهش رسوب توسط سیستم ریشه‌ای گیاهان است که با افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش مقدار و سرعت رواناب، سبب کاهش مقدار رسوب می‌شود.

در یک حوزه جنگلی، بهره‌برداری جنگل با کاهش تاج پوشش درختی و پوشش علفی کف جنگل، سبب کاهش تبخیر و تعرق و همچنین کاهش باران ربایی و افزایش میانگین رواناب سطحی در یک حوزه آبخیز می‌شود و از این طریق بر توازن آب تأثیر می‌گذارد (Etehadi Abari et al., 2017). بهره‌برداری به روش

تأثیر خصوصیات خاک، بر مقدار رواناب و رسوب تولیدشده در جنگل آموزشی پژوهشی خیرود انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این تحقیق در پارسل‌های ۳۱۷ و ۳۱۸ بخش گرازین جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود انجام گرفت. مساحت این دو پارسل به ترتیب برابر ۳۴/۴۶ و ۲۹/۲۷ هکتار است. ارتفاع از سطح دریا ۱۱۶۰ تا ۱۲۴۰ متر و مقدار بارندگی ۱۱۵۰ میلی‌متر است. شیوه بهره‌برداری و جنگل‌شناسی در منطقه تحقیق، به صورت تک‌گزینی است. شیب کلی پارسل‌های ۳۱۷ و ۳۱۸ به ترتیب ۲۰ و ۱۵ درصد است. قطعات نمونه مربوط به منطقه بهره‌برداری نشده (شاهد) در پارسل ۳۱۸ بخش گرازین جنگل خیرود و قطعات نمونه مربوط به قسمت‌های بهره‌برداری به شیوه تک‌گزینی، بدون تاج‌پوشش (قسمت‌هایی که به‌منظور عملیات بهره‌برداری و حمل‌ونقل، همه درختان قطع شده است) و مسیرهای چوبکشی در پارسل ۳۱۷ بخش گرازین قرار گرفته‌اند. تیپ جنگل در این دو پارسل راش-ممرزستان و متوسط درصد تاج‌پوشش ۹۰ درصد است و درصد اختلاط گونه‌ها شامل ۵۰ درصد راش، ۳۰ درصد ممرز، ۲۰ درصد سایر گونه‌ها و فرم آمیختگی به صورت توده‌ای، گروهی، انفرادی با کیفیت خوب تا عالی است و نوع گونه علفی، اغلب سرخس عقابی است.

روش پژوهش

برای تعیین مقدار رواناب و رسوب تولیدشده در اثر بهره‌برداری از جنگل، از بارش‌های طبیعی منطقه استفاده شد. سپس پلات‌های آزمایشی به ابعاد ۲ مترمربع (Prats et al., 2016)، در هشت تکرار در هر چهار منطقه (با شیب یکسان ۱۵٪)، ایجاد شد. این پلات‌ها از جنس چوب ساخته شدند و برای اطمینان از ورود و خروج آب به پلات‌ها، با نایلون عایق‌بندی

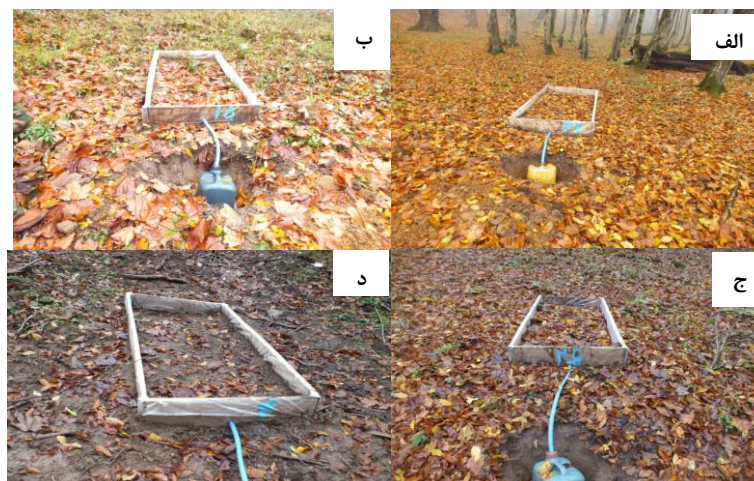
همبستگی معنی‌دار با رواناب (Santos et al., 2003) و رسوب (Martz, 1992) دارد. افزایش درصد ماسه سبب کاهش رواناب و تولید رسوب می‌شود. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که همبستگی معنی‌دار بین مقدار رس و فرسایش وجود دارد و با افزایش رس، تولید رسوب و فرسایش کاهش می‌یابد (Zhang et al., 2004).

افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک تأثیر زیادی در کاهش نفوذپذیری خاک و در نتیجه افزایش رواناب دارد (Adekalu et al., 2006). یافته‌های تحقیقی در زمینه ارتباط بین ماده آلی خاک و مقدار رواناب مشخص کرد که ماده آلی موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب و نفوذپذیری خاک و در نتیجه کاهش حجم رواناب (Siegrist et al., 1998) و نیز مانع فروپاشی خاکدانه (Emadi et al., 2009)، بهبود ساختمان خاک (Troeh et al., 1999) و در نهایت، کاهش فرسایش می‌شود. در مورد تأثیر pH و EC بر مقدار رواناب و تولید رسوب تحقیقات کمتری صورت گرفته است. (Elliot et al., 2007) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که EC تأثیری بر مقدار رواناب و رسوب ندارد، ولی pH تأثیر معنی‌داری بر مقدار رواناب و رسوب دارد و با افزایش آن، مقدار رواناب کاهش می‌یابد.

آگاهی از مقدار رواناب و همچنین جلوگیری از فرسایش خاک هدف مهمی در مدیریت و حفاظت از منابع طبیعی به‌شمار می‌رود. از این‌رو بررسی رواناب و عوامل تأثیرگذار بر آن، به‌عنوان یکی از فرایندهای اصلی فرسایش خاک، ضرورت دارد. یکی از متغیرهای مهم و شایان توجه در رخداد رواناب و فرسایش خاک، ویژگی‌های خاک است. از آنجا که بیشتر تحقیقات موجود در زمینه رواناب و رسوب، مربوط به تغییر کاربری اراضی و پوشش‌های گیاهی مختلف است و در زمینه تأثیر بهره‌برداری از جنگل بر مقدار رواناب و رسوب تحقیقات اندکی در ایران صورت گرفته است، تحقیق حاضر با این هدف و همچنین برای بررسی

(شکل ۱). آماربرداری از آذر ۱۳۹۳ آغاز شد و تا آذر ۱۳۹۴ ادامه یافت؛ در طول این یک سال، بارندگی‌های منجرشده به رواناب و رسوب، ثبت و اندازه‌گیری شدند.

شدند و به اندازه ۱۵ سانتی‌متر بیرون سطح خاک قرار گرفتند و ۲۰ سانتی‌متر در خاک فرو رفتند تا رواناب حاصل از این سطح دو متر مربعی به بیرون تراوش نکند و نمایانگر مقدار واقعی رواناب سطحی باشد



شکل ۱- نمایی از پلات‌های مستقر در چهار منطقه شاهد (الف)، منطقه بهره‌برداری‌شده تک‌گزینی (ب)، منطقه بدون تاج‌پوشش (ج) و مسیر چوبکشی (د)

و درون کاغذ صافی از قبل تهیه و توزین‌شده ریخته شد و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. با توزین نمونه‌های کاغذ صافی همراه رسوب و کسر کردن وزن کاغذ صافی، وزن رسوب نمونه برحسب گرم در لیتر محاسبه شد. همچنین از مجاورت هر پلات، نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر)، برای تعیین پارامترهای خاک برداشت (Casermeiro et al., 2004) شد. نمونه‌های خاک پس از برداشت خشک و عبور دادن از الک ۲ میلی متری به آزمایشگاه منتقل شد. بافت خاک شامل درصد رس، سیلت و ماسه به روش هیدرومتری تعیین شد (Walkley & Black, 1934). وزن مخصوص ظاهری خاک با روش سیلندر استوانه (ابعاد سیلندر ۵×۵/۷ سانتی‌متر) محاسبه شد (Walkley & Black, 1934). درصد رطوبت خاک به روش وزنی از اختلاف وزنی خاک پیش و پس از خشک کردن، با آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس تعیین شد

بیشترین بارندگی ۶۲ میلی‌متر بود که در ۱۳۹۳/۰۹/۰۳ رخ داد. کمترین بارندگی نیز ۳/۶ میلی متر بود که در ۱۳۹۳/۰۴/۰۶ اتفاق افتاد. پس از هر بار بارندگی، نمونه‌های رواناب که توسط خروجی پلات به ظروف جمع‌آوری هدایت شده بود، جمع‌آوری و حجم آن برحسب سی سی اندازه‌گیری شد. با تقسیم حجم رواناب به سطح پلات، ارتفاع رواناب محاسبه شد. با تقسیم ارتفاع رواناب تولیدشده بر ارتفاع بارندگی، ضریب رواناب^۱ برحسب درصد محاسبه شد (Marques et al., 2007; Khazayi et al., 2011). بعد از نمونه برداری، ظروف حاوی آب و رسوب به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری غلظت رسوب از روش ته‌نشینی رسوب استفاده شد. در این روش ابتدا یک لیتر نمونه آب و رسوب درون بشر ریخته و به مدت ۴۸ ساعت به حالت سکون نگه داشته شد. بعد از خالی کردن آب اضافی، رسوبات موجود در کف ظرف شسته

1. Runoff Coefficient

نتایج

در جدول ۱، میانگین و انحراف معیار حجم رواناب، ضریب رواناب و رسوب را در هر چهار منطقه شاهد، بهره برداری شده به روش تک گزینی، منطقه بدون تاج پوشش و مسیر چوبکشی نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱، کمترین مقدار رواناب و رسوب مربوط به منطقه شاهد (بدون بهره برداری) و بیشترین مقدار رواناب و رسوب مربوط به منطقه مسیر چوبکشی است؛ بنابراین با کاهش پوشش گیاهی و تاجی در اثر بهره برداری، مقدار رواناب و رسوب افزایش یافته است. همچنین ضریب رواناب در منطقه مسیر چوبکشی، ۴/۸۹ برابر منطقه شاهد، ۲/۶۲ برابر منطقه بهره برداری شده به روش تک گزینی و ۱/۹۱ برابر منطقه بدون تاج پوشش بوده است.

(Foltz et al., 2009). درصد ماده آلی به روش Walkley & Black (1934) و هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک با تهیه عصاره اشباع به وسیله دستگاه EC متر و pH متر اندازه گیری شدند.

روش تحلیل

داده های جمع آوری شده در محیط نرم افزار SPSS 17 تجزیه و تحلیل شدند. به منظور تجزیه و تحلیل داده ها، ابتدا با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده ها بررسی شد. از آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ها بر اساس دانکن، برای بررسی تأثیر پوشش گیاهی، بر مقدار رواناب و رسوب استفاده شد. همچنین از روش همبستگی پیرسون، حد تأثیر و معنی داری هر یک از متغیرهای اندازه گیری شده در خاک، بر مقدار رواناب و رسوب بررسی شد.

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار حجم و ضریب رواناب و رسوب در چهار منطقه تحت مطالعه

متغیر	شاهد		بهره برداری شده		بدون تاج پوشش		مسیر چوبکشی	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
رواناب (سی سی)	۴۳۱/۶۶	۴۱۳/۱۹	۱۵۷۹/۶	۸۹۴/۰۲	۲۰۹۴/۵۲	۱۲۱۹/۳۴	۲۸۹۶/۲	۲۲۷۸/۰۶
غلظت رسوب (گرم در لیتر)	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۳۰	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۵۶	۰/۵۲
ضریب رواناب (درصد)	۰/۵۴	۰/۷۶	۱/۶۵	۱/۴۲	۲/۱۶	۱/۹۴	۳/۷۲	۳/۷۲

معنی داری بین چهار منطقه با پوشش تاجی و گیاهی مختلف و مقدار رواناب و رسوب وجود دارد؛ بنابراین بهره برداری و کاهش تاج پوشش و پوشش گیاهی، سبب تغییر در مقدار رواناب و رسوب شده است.

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس تأثیر چهار منطقه (با تغییر تاج پوشش درختی و پوشش علفی کف جنگل در اثر بهره برداری) بر مقدار رواناب و رسوب را نشان می دهد. با توجه به مقدار $P \leq 0.01$ ، اختلاف

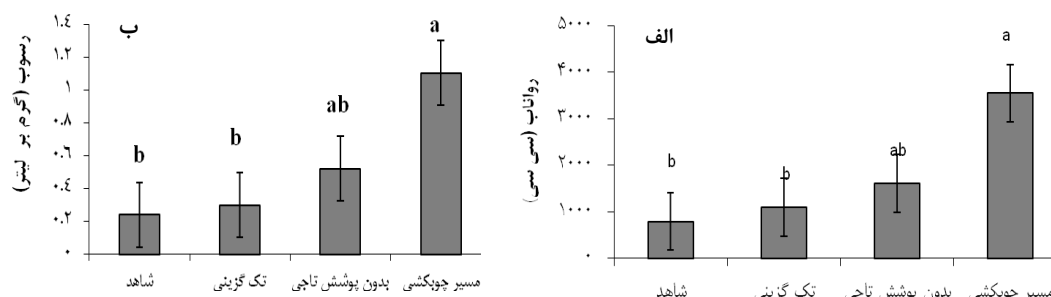
جدول ۲- آنالیز واریانس اثر تاج پوشش درختی مختلف تحت تأثیر بهره برداری بر مقدار رواناب و رسوب

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی داری
تغییر پوشش گیاهی	۱۳۶۶۵۷۰۸۴	۳	۴۵۵۵۲۳۶۱/۳۳	۴/۵۴	۰/۰۱۰**
	۹۱۸۰۶۵۱۸۶/۴۳	۲۸	۶۰۳۹۹۰۲/۵۴		
	۱۰۵۴۷۲۲۲۷۰/۴۳	۳۲			
تغییر پوشش گیاهی	۱۰/۱۷	۳	۳/۳۹	۹/۲۷	۰/۰۰۰**
	۵۵/۶۲	۲۸	۰/۳۶		
	کل	۳۲			

* معنی دار در سطح ۹۵ درصد، ** معنی دار در سطح ۹۹ درصد

مربوط به منطقه شاهد (بدون بهره‌برداری) و بهره‌برداری شده به روش تک‌گزینی است. این نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است.

مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار رواناب و رسوب، مربوط به مسیر چوبکشی و کمترین مقدار آن،



شکل ۲- مقایسه حجم رواناب (الف) و رسوب (ب) با آزمون دانکن در هر چهار منطقه بررسی شده. حروف انگلیسی نامشابه بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

بیشترین مقدار درصد رطوبت خاک و ماده آلی مربوط به منطقه شاهد (بدون بهره‌برداری)، و کمترین مقدار درصد رطوبت خاک و ماده آلی، مربوط به منطقه مسیر چوبکشی است. همچنین بیشترین وزن مخصوص ظاهری، مربوط به مسیر چوبکشی است که دلیل آن، کوبیدگی زیاد و کاهش تخلخل خاک در اثر تردد ماشین آلات چوبکشی است.

نتایج مربوط به متغیرهای اندازه‌گیری شده خاک شامل درصد رس، سیلت، ماسه، ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری (گرم در سانتی متر مکعب) و درصد رطوبت خاک، هدایت الکتریکی و اسیدیته در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است، بافت خاک در منطقه شاهد و بهره‌برداری شده به روش تک‌گزینی، لومی؛ و در منطقه بدون تاج‌پوشش و مسیر چوبکشی، لومی رسی است.

جدول ۳- میانگین و انحراف معیار پارامترهای خاک، در چهار منطقه تحت مطالعه

متغیر	شاهد		بهره‌برداری شده		بدون تاج‌پوشش		مسیر چوبکشی	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
اسیدیته	۵/۵۵	۰/۴۳	۵/۳۵	۰/۴۸	۵/۲۱	۰/۲۶	۵/۱۷	۰/۳۷
هدایت الکتریکی (ds/m)	۰/۲۵	۰/۱۰	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۳۵	۰/۰۸	۰/۳۹	۰/۱۳
وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)	۱/۲۷	۰/۱۷	۱/۲۸	۰/۰۷	۱/۳۰	۰/۲۲	۱/۳۵	۰/۱۲
رس (%)	۱۷/۸	۶/۵	۲۲/۰	۴/۲	۲۶/۰	۴/۳	۲۹/۴	۵/۶۵
ماسه (%)	۵۰/۳	۱۱/۵۱	۵۰/۰	۶/۸	۴۸/۶	۷/۹۱	۴۵/۶	۸/۵۶
سیلت (%)	۳۱/۹	۶/۱	۲۸/۰	۶/۳۴	۲۵/۴	۷/۴۵	۲۵/۰	۷/۷۸
ماده آلی	۶/۶۹	۱/۰۳	۵/۸	۱/۳۸	۵/۰۱	۱/۲	۴/۴۶	۱/۴۵
درصد رطوبت خاک (%)	۵۱/۵	۱۲/۸	۵۰/۱۲	۵/۲۰	۴۹	۷/۳۴	۴۱/۳۷	۸/۶۸

و منفی، و متغیرهای وزن مخصوص ظاهری، و رس ارتباط معنی‌دار و مثبت با مقدار رواناب دارند. همچنین متغیرهای ماسه، ماده آلی و درصد رطوبت خاک ارتباط معنی‌دار و منفی، و متغیرهای وزن مخصوص ظاهری و رس ارتباط معنی‌دار و مثبت با مقدار رسوب تولیدشده دارند.

به منظور شناخت ارتباط بین متغیرهای کمی اندازه‌گیری شده در خاک با مقدار رواناب و رسوب در اثر بهره‌برداری، ماتریس همبستگی شکل گرفت که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج همبستگی ارائه شده در جدول ۴ مشخص می‌شود که متغیرهای ماسه، ماده آلی و اسیدیته، ارتباط معنی‌دار

جدول ۴- نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای خاک و رواناب و رسوب

رسوب		رواناب		پارامترهای خاک
معنی‌داری	همبستگی	معنی‌داری	همبستگی	
۰/۲۱۶	۰/۱۷۴	۰/۰۲	-۰/۳۳۹*	اسیدیته
۰/۱۱۱	۰/۲۲۲	۰/۰۷۳	-۰/۲۶۲	هدایت الکتریکی (ds/m)
۰/۰۴۱	۰/۳۱۹*	۰/۰۰۳	۰/۷۴۵**	وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)
۰/۰۴۰	۰/۳۲۴*	۰/۰۴۱	۰/۳۱۲*	رس (/.)
۰/۴۸۰	-۰/۰۹	۰/۰۴۸	-۰/۳۳۹*	ماسه (/.)
۰/۰۸	۰/۲۴۶	۰/۲۳۲	۰/۱۳۵	سیلت (/.)
۰/۰۳۳	-۰/۳۶ *	۰/۱۷۸	-۰/۱۶۹	درصد رطوبت خاک (/.)
۰/۰۴۵	-۰/۳۱۲*	۰/۰۲۳	-۰/۳۵۴*	ماده آلی

* معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

که با افزایش نفوذ، کاهش رواناب و کاهش سرعت جریان، موجب کاهش رسوب می‌شود (Zhane et al., 2014). لایه لاشبرگی نیز از سطح خاک محافظت کرده و از طریق ایجاد سطحی محافظ، از جداسازی ذرات خاک جلوگیری می‌کند و سبب ته‌نشین شدن رسوبات معلق موجود در آب می‌شود که حرکت ذرات خاک به طرف پایین شیب را به کمترین حد می‌رساند (Mohammad & Adam, 2010). نتایج نشان می‌دهد که تغییر تاج پوشش و پوشش گیاهی در اثر بهره‌برداری و حمل و نقل، تأثیر معنی‌داری بر مقدار رواناب و رسوب داشته است. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین مقدار رواناب و رسوب مربوط به منطقه شاهد و بهره‌برداری شده به روش تک‌گزینی بوده است. این نتایج هم‌راستا با یافته‌های تحقیق (Suryatmojo et al., 2011) است که نشان دادند بهره‌برداری گزینشی، سبب کاهش تأثیرات بهره‌برداری بر مقدار رواناب می‌شود. در این شیوه

بحث

بهره‌برداری، با کاهش تاج پوشش جنگلی سبب کاهش تبخیر و تعرق و همچنین کاهش باران ربایی می‌شود و بر توازن آب تأثیر می‌گذارد (Wagenbrenner et al., 2016; Etehadi, 2017). با توجه به نتایج به دست آمده، میانگین رواناب، ضریب رواناب و غلظت رسوب در اثر بهره‌برداری و کاهش تاج پوشش، همانند تحقیقات دیگر در این زمینه (Suryatmojo et al., 2011; Wagenbrenner et al., 2016; Fernandez & Vega, 2016) افزایش یافته است. این موضوع نشان دهنده تأثیر تراکم بیشتر تاج پوشش و لاشبرگ کف جنگل (مقدار ماده آلی کف جنگل)، در منطقه بدون بهره‌برداری است. جنگل به‌طور مؤثری ساختار خاک را بهبود و مقدار رواناب و رسوب را کاهش داده است. عملکرد حفاظت آب و خاک جنگل شامل ذخیره آب و کاهش رسوب توسط سیستم ریشه ای گیاهان است

داده‌های رواناب و رسوب را پیشنهاد کرد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای خاک در چهار منطقه تحت مطالعه نشان داد که منطقه شاهد کمترین مقدار وزن مخصوص ظاهری و بیشترین مقدار ماده آلی و درصد رطوبت خاک را نسبت به مناطق دیگر دارد که به دلیل تأثیر مثبت بقایای گیاهی و وجود تاج‌پوشش متراکم، بر حفظ درصد رطوبت خاک و افزایش ماده آلی است (Troeh et al., 1999). نتایج حاصل از بررسی خصوصیات خاک، بر مقدار رواناب و رسوب نشان داد که پارامترهای ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری، اسیدیته و ذرات ماسه و رس ارتباط معنی‌داری با مقدار رواناب دارند. همچنین پارامترهای درصد رطوبت خاک، ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری و ذرات ماسه و رس ارتباط معنی‌داری با مقدار رسوب تولیدشده دارند.

با افزایش درصد ماسه، نفوذپذیری خاک افزایش می‌یابد و رواناب کمتری تولید می‌کند. از طرفی ذرات ماسه به‌رغم چسبندگی کم و جدا شدن آسان، در برابر انتقال به‌وسیله رواناب مقاومت کرده و در نتیجه رسوب کمتری تولید می‌کنند؛ بنابراین همبستگی منفی بین مقدار ذرات ماسه با مقدار رواناب وجود دارد که این نتایج همراستا با یافته‌های تحقیقات Santos et al. (2003) است. با افزایش مقدار رس، مقاومت خاک در برابر انتقال کاهش می‌یابد و رسوب بیشتری منتقل می‌کند و همچنین در اثر چسبندگی سطحی به‌وجودآمده و کاهش تخلخل خاک، نفوذپذیری خاک کاهش می‌یابد و رواناب بیشتری تولید می‌کند. بخش سیلت خاک از نظر جدا شدن ذرات و انتقال، حد واسط بین ماسه و رس است؛ بنابراین همبستگی معنی‌داری با مقدار تولید رواناب و رسوب نشان نمی‌دهد که همراستا با نتایج تحقیق Santos et al. (2003) است. همچنین نتایج این تحقیق همراستا با نتایج پژوهش‌هایی است که نشان می‌دهند وزن مخصوص ظاهری خاک تأثیر مهمی در

برخلاف شیوه‌های دیگر، میزان باز شدن تاج‌پوشش جنگلی کمتر است و توده و جنگل به‌طور کامل از بین نمی‌روند. از طرفی با افزایش تابش نور خورشید در اثر کاهش تاج‌پوشش، مقدار پوشش علفی کف جنگل نیز افزایش می‌یابد (Suryatmojo et al., 2011). همچنین این روش، با باقی ماندن شاخ و برگ درختان قطع‌شده در عرصه بهره‌برداری‌شده، سبب افزایش و پایداری فلور کف جنگل می‌شود (Hartanto et al., 2003) که این خود، کاهش مقدار رواناب و رسوب را در پی دارد.

همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار رواناب و رسوب مربوط به مسیر چوبکشی است در مسیرهای چوبکشی این مطالعه علاوه بر حضور نداشتن پوشش تاجی و گیاهی، کوبیدگی خاک در اثر تردد ماشین‌های خروج چوب، سبب افزایش مقدار رواناب در آن منطقه شده است. کوبیدگی مقدمه‌ای برای کاهش مشخصه‌هایی مانند خلل‌و‌فرج خاک، نفوذپذیری، تهویه و مبادلات گازی است (Fernandez & Vega, 2016; Prats et al., 2016). در منطقه بدون پوشش تاجی، چون هنوز پوشش گیاهی کف جنگل از بین نرفته و کوبیدگی و تخریب خاک نیز کمتر از مسیر چوبکشی است، مقدار رواناب و رسوب منطقه بدون تاج‌پوشش از مسیر چوبکشی کمتر است. زیاد بودن انحراف معیار رواناب و رسوب در جدول ۱، به این دلیل است که بارندگی و به تبع آن رواناب و رسوب به دست آمده، در طول یک سال اندازه‌گیری شده است؛ بنابراین مقدار آن نسبت به فصل بارش (بیشترین مقدار در فصل پاییز و کمترین مقدار در فصل تابستان) و همچنین زمان بی‌برگی و برگداری درختان جنگل، متغیر بوده است. بنابراین انحراف معیار زیاد داده‌ها نشان‌دهنده صحت کم نتایج نیست، بلکه به دلیل شرایط طبیعی اندازه‌گیری و همچنین ارقام واقعی به دست آمده از آن شرایط است و برای حل این مشکل می‌توان، طولانی‌تر کردن زمان تحقیق (مطالعه چندین ساله) و افزایش حجم آماری

همبستگی معنی‌داری با مقدار رواناب و رسوب نداشت. همچنین اسیدیتته تنها بر مقدار رواناب همبستگی منفی داشت که این نتایج همراستا با نتایج تحقیق Elliot et al. (1989) است. این دو عامل متأثر از سایر خصوصیات شیمیایی خاک نظیر کاتیون‌ها و آنیون‌های انحلال‌پذیر در خاک هستند که در تشکیل و پایداری خاکدانه و نفوذ آب در خاک تأثیر دارند.

با جمع بندی نتایج تحقیق حاضر و مقایسه آن با یافته‌های محققان دیگر در سراسر جهان، می‌توان نتیجه گرفت که بهره‌برداری جنگل (قطع یکسره، برش نواری، گزینشی و...)، همواره سبب هدررفت آب و خاک می‌شود. به دلیل کاهش پوشش تاجی و گیاهی و تنزل کیفیت خاک طی بهره‌برداری جنگل و حمل و نقل، مقدار نفوذپذیری خاک کاهش و در نتیجه مقدار رواناب و رسوب خاک افزایش یافته است. اگرچه مقدار این تأثیرگذاری، بسته به شیوه بهره‌برداری و مقدار باز شدن تاج پوشش و کاهش پوشش گیاهی، متفاوت است؛ بنابراین با انتخاب شیوه مناسب بهره‌برداری و استفاده از تکنیک‌ها و ابزار مناسب حمل و نقل، می‌توان آثار وارد بر خاک و توده جنگل را کاهش داد. امروزه استفاده از روش‌های بهره‌برداری گزینشی کنترل شده، می‌تواند سبب کاهش تخریب خاک و در نتیجه تولید رواناب و رسوب شود که شامل ایجاد مسیرهای چوبکشی با شیب کم، ممنوعیت چوبکشی در مناطق حساس به فرسایش و فصل‌های مرطوب سال می‌شود. همچنین وجود سیستم نظارت کارآمد، شناسایی مشکل را برای برنامه‌ریزان و مدیران جنگل امکان‌پذیر خواهد کرد و آنها را در اولویت بندی عملیات مدیریتی یاری خواهد داد.

کاهش نفوذپذیری خاک و در نتیجه افزایش رواناب دارد (Adekalu et al., 2006)؛ بنابراین مسیر چوبکشی که به علت تردد ماشین‌آلات حمل و نقل، دارای بیشترین کوبیدگی و فشردگی خاک و در نتیجه بیشترین مقدار وزن مخصوص ظاهری است، بیشترین مقدار رواناب و رسوب را نیز دارد. همچنین ارتباط بین ماده آلی خاک و مقدار رواناب مشخص می‌کند که ماده آلی موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب و نفوذپذیری خاک و در نتیجه، کاهش حجم رواناب می‌شود (Siegrist et al., 1998). ماده آلی خاک مانع فروپاشی خاکدانه (Emadi et al., 2009)، بهبود ساختمان خاک (Troeh et al., 1999) و در پایان کاهش فرسایش، می‌شود؛ بنابراین منطقه شاهد با بیشترین مقدار ماده آلی، کمترین مقدار رواناب و رسوب را بین دیگر مناطق تحت مطالعه دارد.

نتایج این تحقیق نشان داد که درصد رطوبت خاک بر مقدار رواناب تأثیر معنی‌داری ندارد. منطقه شاهد بیشترین مقدار درصد رطوبت خاک را به دلیل وجود تاج پوشش انبوه دارد. در صورتی که این منطقه، کمترین مقدار رواناب را تولید می‌کند که دلیل آن نیز تأثیر زیاد ماده آلی بر افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش تخلخل خاک و در نتیجه افزایش نفوذپذیری خاک است (Siegrist et al., 1998). نتایج تحقیق تأثیر معنی‌دار درصد رطوبت خاک بر مقدار رسوب را نشان داد که همراستا با نتایج تحقیقات (Adekalu et al., 2006) است. مطالعات کمتری در زمینه تأثیر هدایت الکتریکی و اسیدیتته بر مقدار رواناب و رسوب وجود دارد و در بیشتر تحقیقات، این دو عامل تأثیر معنی‌داری بر مقدار رواناب و رسوب ندارند. نتایج نشان داد که مقدار هدایت الکتریکی،

References

Adekalu, K. O., Okunade, D. A., & Osunbitan, J. A. (2006). Compaction and mulching effects on soil loss and runoff from two southwestern Nigeria agricultural soils. *Geoderma*, 137, 26–230.

- Begueria, S., Lopez-Moreno, J. I., Gomez-Villar, A., Rubio, V., Lana-Renault, N., & Garcia-Ruiz, J. M. (2006). Fluvial adjustments to soil erosion and plant cover changes in the Central Spanish yreenes, *Geografiska Annaler. Physical Geography*, 88, 177–186.
- Casermeiro, M. A., Molina, J. A., Caravaca, M. L., Costa, J. H., Massanet, M. H., & Moreno, P. S. (2004). Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean Climate, *Catena*, 57, 91–107.
- Elliot, W. J., Olivierie, L. J., Laflen, J. M., & Kohl, K. D. (1990). Predicting soil erodibility from soil strength measurements. *American Society of Agricultural Engineers*, 32: 1587–1593.
- Emadi, M., Baghernejad, M., & Memarian, H. M. (2009). Effect of land-use change on soil fertility characteristics within water-stable aggregates of two cultivated soils in northern Iran. *Land Use Policy*, 26, 452–457.
- Etehadi Abari, M., Majnounian, B., Malekian, A., & Jourgholami, M. (2017). Effects of forest harvesting on runoff and sediment characteristics in the Hyrcanian forests, northern Iran. *European Journal of Forest Research*. 136:375–386.
- 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
- Foltz, R.B., Copeland, N.S., & Elliot, W.J. (2009). Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, USA: Quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and interrill erosion parameters. *Environmental Management*, 90, 2542–2550.
- Hartanto, H., Prabhu, R., Widayat, A.S.E., & Asdak, C. (2003). Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management, *Forest Ecology and Management*, 180: 361–374.
- Khazayi, M., Sadeghi, S. H. R., & Mirnia, S. Kh. (2011). Hydrological effects of forest surface disturbance, a case study. *Iranian journal of forest*. 3(2), 145-155.
- Marques, M. J., Jiménez, L., Pérez-Rodríguez, R., García-Ormaechea, S., & Bienes, R. (2007). Reducing water erosion in a gypsic soil by combined use of organic amendment and shrub revegetation. *Land Degradation and Development*, 16, 339–50.
- Martz, L. W. (1992). The Variation of soil erodibility with slope position in a Cultivated Canadian Prairie Landscape. *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 543–556.
- Mohammad, A., & Adam, M. A. (2010). The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. *Catena*, 8, 97–103.
- Pamukcu, P., Serengil, Y., & Yurtseven, I. (2014). Role of forest cover, land use change and climate change on water resources in Marmara basin of Turkey. *Iforest*, 8: 480–486.
- Prats, S.A., J. W., Wagenbrenner, J. W., Martins, M. A. S., Malvar, M. C., & Keizer, J. (2016). Mid-term and scaling effects of forest residue mulching on post-fire runoff and soil erosion, *Science of the total environment*, 4(64):1-13.
- Santos F. L., Reis, J. L., Martins, O. C., Castanheria, N. L., & Serralherio, R. P. (2003). Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. *Biosystems engineering*, 86(3), 355–364.
- Siegrist, S., Schaub, D., Pfiffner, L., & Mader, P. (1998). Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long- term field study on loess in Switzerland, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 69, 253–264.
- Suryatmojo, H., Masamitsu, F., Kosugi, K., & Mizuyama, T. (2011). Impact of selective logging and intensive line planting system on runoff and soil erosion in a Tropical Indonesia rainforest. In: *Proceedings of river basin management VI*. Wessex Institute of Technology, UK, pp 288–300.

- Suryatmojo, H., Masamitsu, F., Kosugi, K., & Mizuyama, T. (2013). Effects of selective logging methods on runoff characteristics in paired small headwater catchment, In: *Proceedings the third International Conference on Sustainable Future for Human Security*, Procedia Environmental Sciences, Kyoto University, Japan. 30 Jul. 2011, 221–229.
- Troeh, F. R., Hobbs, J. A., & Donhue, R. L. (1999). *Soil and water conservation- Productivity and environmental protection*, Prentice Hall, New Jersey, 610 p.
- Vahabi, J., & Nikkami, D. (2008). Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator, *International Journal of Sediment Research*, 23: 375–385.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method, *Soil Science*, 37: 29–38.
- 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.
- Zhang, K., Peng, S. Li. W., & Yu, B. (2004). Erodibility of agricultural soils on the loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 76, 157–165.
- Zhang, X., Guo Qiang, Y., Zhan, B. L., & Peng, L. (2014). Experimental study on slope runoff, erosion and sediment under different vegetation types. *Water Resource Management*, 28, 2415-2433.
- Zokiab, S., & Naser, G. H. (2011). Impacts of land uses on runoff and soil erosion case study in Hilkot watershed Pakistan. *International journals of sediment research*. 26, 343–352.



Runoff and sediment variations due to change in some soil properties following forest harvesting (Case study: Kheyroud Forest)

M. Etehad Abari¹, B. Majnounian^{2*}, A. Malekian³, and M. Jourgholami⁴

¹PhD of Forest Engineering, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

²Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

³Associate Prof., Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

⁴Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 28 April 2017; Accepted: 24 October 2017)

Abstract

Globally, soil erosion is one of the most important environmental problems which are threats to soil and water resources. Soil properties are the main parameters that affect the runoff and soil erosion processes. Therefore, this study was conducted to investigate the effects of some soil properties on runoff and sediment yield components in plot scale (2m×1m) with eight replicates in four different treatments (control area, harvested area, without canopy cover and skid trail) in the northern forests of Iran during December 2014 until December 2015. The runoff volume and coefficient and sediment yield were also measured through field data collection and lab analysis by weighting and decantation methods. Some of the soil physical and chemical properties consisted of texture, moisture content, organic matter, bulk density, pH, and EC were determined. The results of the study indicate that the effect of vegetation cover changes due to harvesting on runoff volume and sediment yield is significant ($P \leq 0.01$). There were positive and significant relationships between clay percent and bulk density and negative and significant relationships between organic matter, sand percent and pH with runoff. Also, there were positive and significant relationships between clay and bulk density negative and significant relationships between organic matters, sand and moisture content with sediment yield.

Keywords: Bulk density, Canopy cover, Forest harvesting, Organic matter, Soil texture.