

آثار هیدرولوژیکی تخریب سطح جنگل (مطالعه موردی: جنگل آموزشی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران)

مجید خزایی^۱، سیدحمیدرضا صادقی^{۲*} و سیدخلیق میرنیا^۲

^۱ کارشناس ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

^۲ دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۴، تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱۱)

چکیده

جنگل‌ها در دوره‌های مختلف تاریخی، نقشی حیاتی در بقا، توسعه و رشد جوامع انسانی داشته‌اند، اما استفاده گسترده از منابع جنگلی، سبب تخریب محیط زیست و تبدیل اراضی به بیابان و در نتیجه محو شدن تمدن‌ها شده است. تخریب پهنه‌های جنگلی، پیامدهای نامناسبی در منابع زیست‌محیطی حوضه آبخیز بالادست مانند افزایش توان سیل‌خیزی، رخداد فرسایش و تولید رسوبات دارد. از این‌رو از دیرباز، بررسی‌های متعددی در زمینه اعمال تیمارهای مختلف مدیریتی و فنی و مهندسی بر رفتار آبخیزهای جنگلی صورت گرفته است. اما پیامدهای هیدرولوژیک ناشی از تخریب جنگل‌ها کمتر بررسی شده است. بر این اساس، در تحقیق حاضر، تأثیر تخریب جنگل بر مؤلفه‌های هیدرولوژی در مقیاس پلات‌های شش متر مربعی، در قالب سه تکرار مبتنی بر هفده رگبار رخ داده از مهر ۱۳۸۸ تا فروردین ۱۳۸۹ در حوضه آبخیز جنگلی دانشگاه تربیت مدرس در استان مازندران واقع در منطقه کجور بررسی شده است. به این منظور پس از هر رگبار بعد از قرائت مقدار بارش با استفاده از باران‌سنج نصب‌شده در حوضه آبخیز، مقدار رواناب از درون ظرف‌ها قرائت شد و غلظت و تولید رسوب با روش تخلیه آب‌رویی و رسوبگذاری مواد و در نهایت توزین در آزمایشگاه به‌دست آمد. نتایج تحقیق نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار ($P < 0.001$) تخریب جنگل بر مؤلفه‌های هیدرولوژی مانند رواناب، ضریب رواناب، غلظت و تولید رسوب بود. به‌نحوی که مقدار تولید رواناب، ضریب رواناب و غلظت و تولید رسوب در منطقه تخریب‌شده، نسبت به منطقه جنگلی تخریب‌نشده به ترتیب ۵، ۷، ۶ و ۱۸ برابر بیشتر ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: تخریب جنگل، تولید رسوب، حوضه آبخیز جنگلی، مؤلفه‌های هیدرولوژی .

مقدمه و هدف

تاج‌پوشش درختان جنگلی و چگونگی توزیع مکانی آنها اثر مهمی بر هیدرولوژی و فرسایش خاک دارد (Blanco & Lal, 2008). به طوری که پوشش جنگلی نقش مهمی را در بخشی از چرخه هیدرولوژیک از طریق جذب هوایی بارش‌ها، توزیع مکانی و زمانی آنها، کاهش سرعت برخورد قطرات باران بر سطح زمین، تبخیر و تعرق، کاهش رواناب و افزایش نفوذ آن ایفا می‌کند که اهمیت فوق‌العاده‌ای در حفاظت آب و خاک دارد (صادقی و یثربی، ۱۳۸۷؛ Wang & Zhang, 2001). پوشش گیاهی، خاک را در مقابل فرسایش آبی، از راه کاهش تولید رواناب (Rey, 2003) و افزایش نفوذ آب در خاک حفظ می‌کند (Wainwright *et al.*, 2002) و نیز، خاک را ریشه‌هایش تثبیت می‌کند (Gyssels *et al.*, 2005) و انرژی قطرات باران را به وسیله اندام هوایی به خصوص تاج‌پوشش، کاهش می‌دهد (Duran *et al.*, 2008). بنابراین پوشش گیاهی می‌تواند به عنوان مانع فیزیکی در رخداد فرسایش عمل کند و جریان رسوبات را در سطح زمین تغییر دهد (Negi *et al.*, 1998). از طرفی تخریب حوضه‌های آبخیز جنگلی گذشته از تأثیر عمیق بر محیط زیست سراب رودخانه‌ها، آثار مهمی هم در پایاب آن دارد. افزون بر این تأثیر پوشش گیاهی بر چرخه هیدرولوژیک و فرسایش خاک، به مقیاس زمانی و مکانی بستگی دارد، به طوری که بررسی واکنش هیدرولوژیک در مقیاس حوضه آبخیز نیز به همین دلیل کار بسیار پیچیده‌ای است (Xiaoming *et al.*, 2007)، در حالی که پایش هدررفت خاک و رواناب در آبخیزهای جنگلی با استفاده از پلات‌های رواناب مقرون به صرفه است و اطلاعات مفیدی درباره فرسایش خاک در این زیستگاه‌ها فراهم می‌کند که پیوند بین عملیات مدیریت و بهره‌برداری از جنگل و نیز نقش جنگل بر کنترل رواناب سطحی و فرسایش خاک را ممکن می‌سازد و بنابراین به مدیران جنگل، برای شناسایی مسائل و اقدامات حفاظتی مناسب به منظور بهبود عملیات مدیریتی کمک می‌کند (Hartanto *et al.*, 2003). مناطق جنگلی تخریب‌نشده، به طور معمول دارای حداقل تولید رواناب و رسوب در بین تمامی اکوسیستم‌ها هستند. به همین دلیل، فرسایش خاک و دامنه تغییر آن در جنگل‌های تخریب‌نشده بین ۰/۲ تا ۱/۲ تن در هکتار است (Wagenbrenner *et al.*, 2006). در ایران نیز

مراتع و جنگل‌ها به طور اعم در مکان‌هایی واقع شده‌اند که از پتانسیل تخریبی زیادی (شیب‌های تند و مناطق پرباران) برخوردارند (صادقی و یثربی، ۱۳۸۷). خاک‌های جنگلی به علت داشتن مواد آلی زیاد و ساختمان مناسب، همواره مورد توجه جنگل‌نشینان و بهره‌برداران بوده است، ولی تغییر در مدیریت و کاربری آنها و استفاده از آنها و اعمال خاک‌ورزی، بر مقدار مواد آلی و دیگر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک، بسیار اثر می‌گذارد (FAO, 2005).

با توجه به اهمیت موضوع تحقیق و حجم و رشد فزاینده تخریب جنگل، محققان زیادی به بررسی فرسایش و رسوب ناشی از تخریب خاک جنگل در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف پرداختند. (Dunjo *et al.*, 2003) با بررسی نقش کاربری‌های مختلف به رابطه معنی‌دار تولید رسوب دست یافتند. (Fen-li, 2006) بیان کرد که پوشش گیاهی، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش خاک است. وی تأثیر تخریب و اصلاح پوشش گیاهی بر فرسایش خاک را با استفاده از پلات‌های فرسایشی در ناحیه جنگلی بررسی کرد و نشان داد که اثر پوشش بر فرسایش خاک نسبت به مناطق بدون تخریب، حدود ۱۰ برابر بیشتر است. (Xiaoming *et al.*, 2007) با بررسی تأثیرات پوشش گیاهی بر تولید رسوب و رواناب در مقیاس حوضه آبخیز به این نتیجه رسیدند که عمق و ضریب رواناب در مناطق کشاورزی نسبت به مناطق جنگلی، ۵ تا ۲۰ برابر بیشتر است. (Marques *et al.*, 2007) با بررسی اثر پوشش گیاهی بر رواناب و فرسایش خاک در حوضه آبخیز جنگلی در اسپانیا و تحت رگبارهای شدید در پلات‌های استاندارد، نتیجه گرفتند که در پلات‌های دارای پوشش، از مقدار رسوب و رواناب می‌توان چشم پوشید، ولی در پلات‌های فاقد پوشش این مقادیر زیاد است، به طوری که ضریب رواناب به ۳۵ درصد نیز رسیده است. بر اساس تحقیق (Hotta *et al.*, 2007) نیز تولید رسوبات معلق بعد از برداشت جنگل افزایش معنی‌داری (در سطح احتمال ۹۵ درصد) پیدا کرد و بیشتر رسوبات معلق در طول رگبارهای شدید حمل شد. (Girmay *et al.*, 2009) با بررسی رواناب و هدررفت خاک در ۳۱ پلات ۲۰ متر مربعی حوضه آبخیز تیگاری در شمال اتیوپی نتیجه گرفتند که ضریب رواناب،

واقع در استان مازندران اجرا شد. این حوضه آبخیز یکی از آبخیزهای البرز مرکزی در ارتفاعات جنگلی کجور با حداقل و حداکثر ارتفاع ۱۵۰ و ۲۶۵۰ متر از سطح آب‌های آزاد است (شکل ۱). به این منظور، براساس هدف پژوهش بعد از بازدید صحرایی، منطقه‌ای با دارا بودن ویژگی‌های هدف تحقیق (منطقه جنگلی با تغییر کاربری و ساختار، دسترسی آسان در کوتاه‌ترین زمان به دو منطقه، امکانات موجود، وجود اطلاعات پایه و امنیت لازم برای تجهیزات مورد استفاده)، مشخص و با نمونه‌برداری از خاک از شرایط یکسان خاک‌شناسی مانند خصوصیات ساختی و بافتی خاک دو منطقه اطمینان حاصل شد. دیگر عوامل مؤثر بر مؤلفه‌های هیدرولوژیک مورد بررسی (رواناب، ضریب رواناب، غلظت و مقدار رسوب) مانند شیب، جهت و ارتفاع محل پلات‌ها نیز یکسان در نظر گرفته شد. به طوری که بر اساس مطالعات صحرایی و برداشت از پروفیل‌ها و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی نمونه‌های خاک منطقه جنگلی تخریب‌نشده، مشخص شد که منطقه مورد بررسی در زیرواحدهای اراضی با تیپ خاک تکامل‌نیافته راندزین تا راندزین شسته‌شده و خاک قهوه‌ای جنگلی تا پسدوگلی واقع شده است (اداره کل منابع طبیعی استان مازندران، ۱۳۸۱). همچنین بافت خاک این منطقه لومی رسی است. با توجه به موقعیت مکانی منطقه که در مناطق کم ارتفاع حوضه آبخیز کجور قرار دارد، شرایط خاص توپوگرافی و اکولوژیک زمینه را برای استقرار گونه‌های بارز نشی نظیر نم‌دار (*Tilia begonifolia*)، شیردار (*Acer cappadocicum*)، انجیلی (*Parotia persica*)، خرمندی (*Diospyrus lutus*) و لیلکی (*Geleditsia lotus*) فراهم کرده است. در این منطقه علاوه بر پوشش درختی، در کف زمین پوشش لاشبرگ نیز وجود دارد، به طوری که پوشش تاجی در منطقه جنگلی تخریب‌نشده حدود ۷۰ و پوشش کف، ۱۰ درصد بود. خاک منطقه جنگلی تخریب‌شده نیز لومی رسی بود. منطقه جنگلی تخریب‌شده در موقعیت مکانی، جغرافیایی و فیزیوگرافی مشابه منطقه تخریب‌نشده قرار دارد، به طوری که در ساختار پوشش درختی این منطقه دلیل عملیات عمرانی، جاده‌سازی و وجود خطوط انتقال نیرو، اختلال ایجاد شده است. این منطقه فاقد گونه‌های درختی

حجم رواناب و تولید رسوب در جنگل به طور معنی‌داری از دیگر کاربری‌ها کمتر است.

در ایران نیز صادقی و همکاران (۱۳۸۴) با بررسی نقش کاربری اراضی بر نوع و شدت فرسایش خاک در حوضه آبخیز کسلیان به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری جنگلی، هم بر نوع فرسایش و هم بر شدت آن تأثیر معنی‌دار داشته است. خدیور (۱۳۸۶)، با مطالعه و مقایسه تغییرات کاربری جنگلی نسبت به دیگر کاربری‌ها بر شدت فرسایش خاک و تولید رسوب طی ۱۰ سال، نتیجه گرفت که در سال ۱۳۸۴ رسوب در جنگل، کمترین و در اراضی با کاربری‌های جنگل‌زدایی شده، بیشترین مقدار را داشته است. قربانی (۱۳۸۹)، با بررسی اثر میکروکلیمایی تخریب جنگل‌های هیرکانی به این نتیجه رسید که با قطع درختان جنگلی، هیدرولوژی، اقلیم و حیات فون و فلور منطقه تغییر می‌یابد و چشم‌انداز منطقه نیز به صورت زنجیره‌ای دستخوش نوسان می‌شود.

با همه تحقیقات انجام گرفته در سراسر دنیا که همگی بر اهمیت جنگل در حفاظت از آب و خاک تأکید دارند، جنگل‌ها در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، به ویژه در شمال ایران همچنان مصون از تخریب نیستند و هر ساله مساحت زیادی از آنها در اثر تخریب جنگل و تغییر کاربری کاسته می‌شود. در این راستا، نقش این گونه تخریب‌ها بر تغییر رفتار هیدرولوژیک مناطق جنگلی کشور به صورت معدودی بررسی شده است. حال آنکه مطالعات مقایسه‌ای و کلی متعددی درباره نقش کاربری‌های مختلف بر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی در خارج از کشور انجام گرفته است. بر همین اساس، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی کمی تخریب جنگل بر مؤلفه‌های هیدرولوژی مانند تولید رواناب، ضریب رواناب و رسوب در بخشی از حوضه آبخیز جنگلی در محدوده تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس واقع در نزدیکی شهرستان نوشهر به سبب امکان دسترسی و مطالعات پیش‌نیاز پی‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

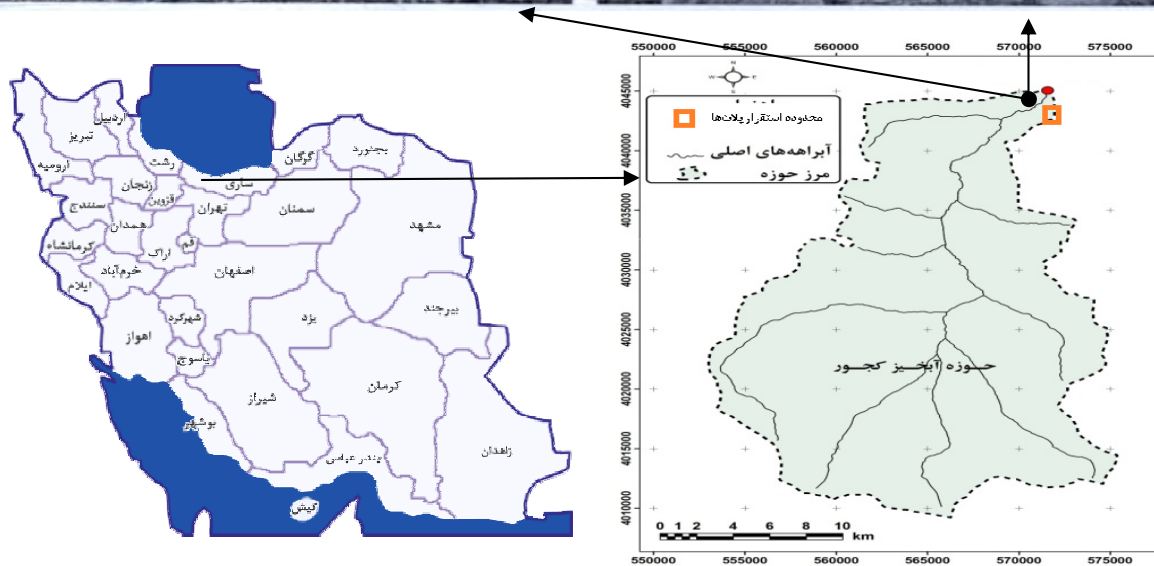
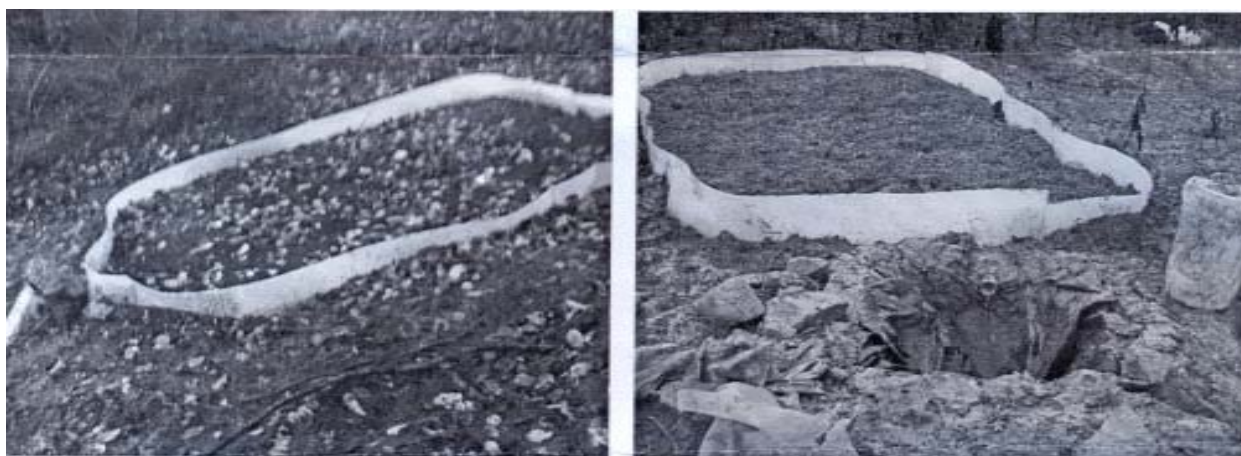
- منطقه مورد بررسی

تحقیق حاضر در پایین‌دست حوضه آبخیز جنگل آموزشی دانشگاه تربیت مدرس با مساحت تقریبی ۵۰ کیلومتر مربع

فرسایش سطحی و بین شیاری، کنترل شرایط حاکم بر محدوده داخل پلات، امکان جمع‌آوری رواناب و رسوب و نیز ایجاد تکرارهای مناسب انتخاب شد. شکل ۱ شمای کلی محل استقرار و وضعیت نصب آنها را نشان می‌دهد.

است، اما گونه‌های مرتعی مانند مرغ (*Cynodon dactylum*) سطح زمین را پوشانده است.

سپس پلات‌های آزمایشی به ابعاد ۲ در ۳ متر و در سه تکرار در هر یک از تیمارها، در منطقه‌ای با شیب ۲۵ درصد نصب شدند. پلات‌ها با توجه به هدف تحقیق، مبنی بر اندازه‌گیری



شکل ۱- نمایی از پلات‌های مستقر در منطقه جنگلی تخریب‌شده (راست و بالا) و تخریب‌نشده (چپ و بالا) در حوضه آبخیز کجور

نصب شد. سپس بعد از هر بار مراجعه، در ابتدا مقدار بارندگی با استفاده از باران‌سنج و مقدار رواناب با ثبت حجم آب درون مخازن اندازه‌گیری شد. بعد از نمونه‌برداری، ظروف حاوی آب و رسوب به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری غلظت رسوب از روش تخلیه^۱ آب استفاده شد (Walling et al., 2001). برای این کار، ابتدا یک لیتر نمونه آب و رسوب درون بشر ریخته و به مدت ۴۸ ساعت به حالت

نصب پلات‌ها با استفاده از ورقه‌های کارتن پلاست به عرض ۲۰ سانتی‌متر و یا ایجاد شکاف و جاگذاری بخشی از آنها در عمق زمین و سپس محکم‌سازی آنها در سطح زمین صورت گرفت. در انتهای پلات‌ها نیز مخازن جمع‌آوری نصب شد. مخازن جمع‌آوری به صورت سری، به نحوی قرار داده شده و به یکدیگر متصل می‌شوند که جمع‌آوری تمام رواناب در رگبارهای شدید میسر شود (صادقی، ۱۳۸۹). برای سنجش مقدار بارندگی در منطقه، یک دستگاه باران‌سنج در محل

بحث

به طوری که در جدول ۱ نشان داده شد، بیشترین و کمترین مقدار رواناب، غلظت رسوب و مقدار رسوب تولیدشده در هر دو تیمار مورد بررسی، در بارشی به مقدار ۶۸ و ۱۱ میلی‌متر به وقوع پیوست که نشان‌دهنده تأثیر زیاد بارش در مقدار تولید رسوب و رواناب است، اما این مقادیر در بین دو تیمار، اختلاف زیادی دارند که نشان‌دهنده تأثیر تاج‌پوشش درختان، عمق لاشبرگ و دیگر خصوصیات منطقه جنگلی، نسبت به منطقه تخریب‌شده است، اما با وجود نقش کنترلی پوشش جنگلی در رگبارهای شدید و حجیم و مداوم، اثر حفاظتی آن بر مقدار رواناب و رسوب کمتر می‌شود، به طوری که رواناب و رسوب به دست‌آمده در رگبارهایی با خصوصیات مذکور نیز گویای این مطلب بوده است. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، تولید رواناب، ضریب رواناب، غلظت رسوبات معلق و مقدار هدررفت رسوب در منطقه تخریب‌شده نسبت به منطقه جنگلی به ترتیب به مقدار ۵، ۷، ۶ و ۱۸ برابر بیشتر شده است. محققان مختلف در مکان‌های مختلف نیز تأثیرگذاری تخریب جنگل بر تولید رسوب و رواناب را تأیید کرده‌اند. در بیشتر این مطالعات افزایش چشمگیر فرسایش خاک در نتیجه تخریب جنگل گزارش شد (Lal, 1996; Roose, 1988). Xiaoming *et al.* (2007) افزایش ۵ تا ۲۰ برابری عمق و ضریب رواناب را گزارش دادند. (Hotta *et al.* (2007) بیان کردند که عمق و ضریب رواناب در حوضه‌های دارای پوشش جنگلی دست‌نخورده به ترتیب ۳ و ۵ برابر مناطق کم پوشش است. Benito *et al.* (2003) اظهار کردند که برداشت پوشش گیاهی، فرسایش خاک را حدود ۵ تا ۲۰ برابر افزایش خواهد داد. Fen-li (2006) نیز گزارش داد که فرسایش در اراضی جنگل‌زدایی‌شده در مقایسه با اراضی‌ای که قبلاً جنگلی بودند، ۷۹۷ تا ۱۶۸۲ برابر شده است. Zhang *et al.* (2003) اظهار کردند که تولید رسوب و رواناب در حوضه‌های آبخیز جنگلی با پوشش بیشتر نسبت به آبخیزهایی با پوشش کم‌تر به ترتیب ۶ و ۳ برابر کاهش یافته است. (Girmay *et al.* (2009) به اختلاف ۱۶ برابری در مقدار تولید رواناب در اثر تخریب جنگل پی بردند.

سکون نگه داشته شده سپس به آرامی آب بالای رسوبات تخلیه شد. بعد از خالی کردن آب اضافی، رسوبات کف ظرف شسته شده و درون فویل‌های از قبل تهیه و توزین شده ریخته شد و در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد (Putjaroon & Pongewn, 1987) با توزین نمونه‌های فویل همراه رسوب و کسر کردن وزن فویل‌های اولیه، وزن رسوب نمونه برحسب گرم در لیتر محاسبه شد و سپس غلظت کل رسوبات در هر رگبار و در مقیاس پلات به دست آمد (Girmay *et al.*, 2009). پس از آن، مقدار کل رسوب، با ضرب کردن حجم کل رواناب در غلظت رسوب برآورد شد. برای مقایسه آماری مقدار تولید رواناب، ضریب رواناب و تولید رسوب در دو منطقه تحقیق، بعد از نرمال‌سازی با آزمون شاپیروویلیک از آزمون مقایسه میانگین‌ها (t-Test) استفاده شد.

نتایج

مشخصات عمومی خاک دو منطقه بررسی شده در ابتدای دوره تحقیق (۱۳۸۸/۷/۱) نشان می‌دهد که خاک در هر دو منطقه تقریباً خنثی است و بافت لومی رسی دارد، در صورتی که درصد نیتروژن و ماده آلی در منطقه تخریب‌شده به ترتیب ۰/۲۱ و ۳ درصد و در منطقه تخریب‌نشده به ترتیب ۰/۴۳ و ۶ درصد است. در جدول ۱، حجم رواناب، ضریب رواناب، غلظت و مقدار رسوب در دو تیمار نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بارش به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۸۸/۹/۶ و ۱۳۸۸/۸/۲۸ به وقوع پیوست که به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار رواناب و رسوب را به وجود آورد. بیشترین و کمترین ضریب رواناب نیز به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۸۸/۱۰/۱۷ و ۱۳۸۸/۸/۲۸ به وقوع پیوست. در جدول ۲ مشخصات آماری مؤلفه‌های مورد بررسی در دو تیمار نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نتایج مقایسه میانگین‌ها با آزمون t جفتی در دو تیمار مورد بررسی، اختلاف معنی‌دار تولید رواناب، رسوب و ضریب رواناب در سطح کمتر از ۰/۰۱ را نشان می‌دهد.

جدول ۱- خصوصیات بارش، رواناب و رسوب در دو منطقه تخریب شده و تخریب نشده طی دوره مطالعه

ردیف	تاریخ بارش	مقدار بارش (میلی متر)	تخریب شده				تخریب نشده			
			حجم رواناب (لیتر)	ضریب رواناب (درصد)	ظافت رسوب (گرم در لیتر)	مقدار رسوب (گرم)	حجم رواناب (لیتر)	ضریب رواناب (درصد)	ظافت رسوب (گرم در لیتر)	مقدار رسوب (گرم)
۱	۸۸/۷/۱۶	۱۹	۱۰/۵۶	۹/۲۶	۲/۴۶	۲۶	۰	۰	۰	۰
۲	۸۸/۸/۸	۲۳	۱۲/۳۳	۸/۹۳	۱/۶۲	۲۰	۰/۰۰	۰	۰	۰
۳	۸۸/۸/۱۶	۲۹	۲۰/۳۳	۱۱/۶۸	۱/۲	۳۴/۳۱	۰/۲	۰/۱۱۵	۰	۰/۳۴۷۵
۴	۸۸/۸/۲۸	۱۱	۵/۶۶	۸/۵۷	۰/۴۶۴	۲/۶۳	۰/۰۰	۰	۰	۰
۵	۸۸/۹/۱	۴۷	۶۱/۰۰	۲۱/۶۳	۱/۹۸	۱۲۱/۳۳	۱۵/۳۳	۵/۴۳	۰/۴۲	۶/۴۴۱
۶	۸۸/۹/۶	۶۸	۸۰/۰۱	۱۹/۶	۲/۵	۲۰۰/۸۸	۲۴	۵/۸۸	۰/۶۷	۱۶/۳۳
۷	۸۸/۹/۹	۱۳	۲۲/۶۶	۲۹/۰۵	۱/۲	۲۷/۴	۲/۶۶	۲/۴۱	۰/۱۳	۰/۳۵
۸	۸۸/۹/۱۱	۱۲	۲۰/۰۰	۲۷/۷۷	۱/۱۷	۲۳/۴۳	۰	۰	۰	۰
۹	۸۸/۹/۱۲	۲۶	۳۶/۶۵	۲۳/۴۹	۰/۸۶	۳۱/۵۹	۱۳/۶۶	۸/۷۵	۰/۲۳	۳/۱۷
۱۰	۸۸/۹/۱۸	۱۸	۳۳/۳۳	۳۰/۸۶	۰/۸۵	۲۸/۵۸	۳/۱۶۶	۲/۹۳	۰/۳۵	۱/۱۱
۱۱	۸۸/۹/۲۳	۲۲	۴۰/۰۰	۳۰/۳۰	۰/۸۶	۳۴/۷۲	۳/۵	۲/۶۵	۰/۲۱	۰/۷۵
۱۲	۸۸/۱۰/۱۵	۵۰	۶۴/۶۶	۲۱/۵۵	۱/۸۶	۱۲۰/۶۳	۱۷	۵/۶۶	۰/۵۲	۸/۸۴۶
۱۳	۸۸/۱۰/۱۷	۲۲	۴۸/۳۴	۳۶/۶۲	۰/۷۵	۳۶/۵۳	۲/۶۶	۲/۰۱	۰/۲۰	۰/۵۵
۱۴	۸۸/۱۱/۷	۵۲	۶۶/۶۵	۲۱/۳۶	۲/۰۴	۱۳۶/۴۲	۱۷/۶۶	۵/۶۶	۰/۵۳	۹/۵۲
۱۵	۸۸/۱۱/۲۳	۲۱	۳۱	۲۴/۶۰	۰/۹۳	۲۸/۸۵	۰/۴۶۶	۰/۳۶۹	۰/۳۲	۰/۱۵
۱۶	۸۸/۱۲/۲۱	۵۷	۵۵	۱۶/۰۸	۰/۸۰	۴۴/۱۸	۲۰/۶۶	۶/۰۴۰	۰/۲۳	۴/۶۹
۱۷	۸۹/۱/۱۵	۲۸	۲۳	۱۳/۶۹	۰/۸۰	۱۸/۴۵	۳	۱/۷۸	۰/۲۶	۰/۷۸
	-	۵۱۷	۶۳۱/۱۸	۳۵۵/۱۰	۵۴/۵۲۷	۹۲۵/۸۳	۱۲۳/۹۶	۵۰/۷۲		۵۲/۸۰

جدول ۲- ویژگی‌های آماری بارش، تولید رسوب و رواناب در دو تیمار مورد بررسی طی دوره مطالعاتی از ۱۳۸۸/۷/۱ تا ۱۳۸۹/۱/۳۰ در حوضه آبخیز کجور

عامل مورد بررسی	تیمار مورد بررسی	سطح معنی‌داری اختلاف	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	جمع
بارش (میلی‌متر)	-	-	۱۱	۶۸	۳۰/۴۷	۱۷/۴۲	۵۷	۵۱۸
رواناب (لیتر در متر مربع)	تخریب‌شده	۰/۰۰	۰/۹۴۳	۱۳/۳۵۵	۶/۱۸۸	۳/۶۸	۶	۱۰۵/۱۹۷
	دست‌نخورده	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۰۰	۱/۱۵۲	۱/۴۲	۹۳	۲۰/۶۶
ضریب رواناب (درصد)	تخریب‌شده	۰/۰۰	۸/۵۷	۳۶/۶۲	۲۰/۸۸	۸/۵۲	۴۰	۳۵۵/۰۴
	دست‌نخورده	۰/۰۰	۰/۰۰	۸/۷۵	۲/۹۸	۲/۷۸	۹۳	۵۰/۰۸
غلظت رسوب (گرم در لیتر)	تخریب‌شده	۰/۰۰۱	۰/۴۸	۲/۵۰	۱/۳۱	۰/۶۳	۱۰۱	۰/۴۵
	دست‌نخورده	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۷	۰/۲۴	۰/۲۱	۱۴۸	۰/۴۲
تولید رسوب (گرم در مترمربع)	تخریب‌شده	۰/۰۰	۰/۴۳۸	۳۳/۴۸۰	۹/۰۷۶	۹/۱۵	۴۸	۱۵۴/۳۰۵
	دست‌نخورده	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۷۰۵	۰/۵۱۷	۰/۷۷	۸۷	۸/۸۰۴

علاوه بر مطالعات انجام‌گرفته در مقیاس پلات، در مقیاس حوضه آبخیز نیز افزایش چشمگیر فرسایش خاک در نتیجه عملیات برداشت تأیید شده است (Malmer et al., 1990). همان‌طور که در جدول ۱ نیز نشان داده شده است، بیشترین ضریب رواناب در دو منطقه در بارشی در حدود ۲۲ تا ۲۷ میلی‌متر به‌دست‌آمد، در صورتی که مقادیر بیشتر بارش ضریب رواناب کمتری داشتند که علت آن، رطوبت قبلی خاک ناشی از بارش‌های قبل است، به‌طوری‌که رگبار بعدی در مدت کوتاهی بعد از رگبار قبلی به‌وقوع پیوست. در همین زمینه (Lal, 1996) به نتایج مشابه‌ای رسیده‌اند. نتایج حاصل از جدول ۲، نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تخریب جنگل بر تولید رواناب، ضریب رواناب، تولید رسوب و غلظت رسوبات معلق در سطح احتمالی ۹۹ درصد است. در ایران صادقی و همکاران (۱۳۸۴) و در خارج از کشور بسیاری از محققان (Malmer, 1990; Lal, 1996; Castillo et al., 1997; Wang & Zhang, 2001; Caissie et al., 2002; Zhang et al., 2003; Fen-Li, 2006; Gomi et al., 2009) نیز، تأثیر معنی‌دار تخریب جنگل در افزایش تولید رسوب و رواناب را دریافتند.

با بررسی دقیق نتایج به‌دست آمده از این قسمت می‌توان به تأثیر زیاد تخریب جنگل بر افزایش تولید رسوب و رواناب نسبت به مناطق جنگلی تخریب‌نشده پی برد. از طرفی نتایج تحقیق حاضر تأثیر بیشتر جنگل تخریب‌نشده را در کاهش مقدار تولید رسوب نسبت به دیگر متغیرهای مورد بررسی نشان می‌دهد که علت آن تاج‌پوشش و لاشبرگ کف جنگل است، به‌طوری‌که پوشش تاجی با تأثیر بر توزیع، شدت و قدرت بارش، تبخیر و تعرق، توازن آب، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری رطوبت خاک و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، سبب کاهش انرژی جنبشی بارندگی و در نتیجه کاهش فرسایش و تولید رواناب و در نهایت کاهش حرکت ذرات رسوبی می‌شود. لایه لاشبرگ نیز سطح خاک را محافظت و با ایجاد زبری سطحی، از جداسازی ذرات خاک جلوگیری می‌کند و رسوبات معلق آب را می‌گیرد و حرکت ذرات خاک به‌طرف پایین شیب را به حداقل می‌رساند در این زمینه محققان مختلف (Wang et al., 2001; Zhang et al., 2003; Casermeiro et al., 2004; Miyata et al., 2007; Gomi et al., 2008) به نتایج مشابهی رسیده‌اند.

به طوری که در جدول ۱ ارائه شده، از کل هدررفت رسوب و رواناب، در طی هفده رگبار ثبت شده، قسمت اعظم آن، فقط در چند رگبار سنگین رخ داده است که نشان دهنده رابطه قوی بین خصوصیات بارندگی و مقدار هدررفت است، به طوری که از مقدار رواناب تولید شده طی رگبارهای مختلف، حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد در منطقه تخریب شده و ۲۵ تا ۳۰ درصد در منطقه تخریب نشده و از مقدار رسوبات به دست آمده، از کل رسوبات هدررفته، حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد در منطقه تخریب شده و حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد در منطقه تخریب نشده در نتیجه رگبارهای ۱۳۸۸/۹/۱ و ۱۳۸۹/۹/۶ به وقوع پیوسته است. به نظر می رسد که علت مقادیر کم رواناب و رسوب در جنگل تخریب نشده نسبت به جنگل تخریب شده را می توان، نقش کنترلی کمتر پوشش جنگلی در رگبارهای شدید و مداوم نسبت به رگبارهای ملایم و کم دوام دانست. به نحوی که در رگبارهای شدید و مداوم، خاک، تاج پوشش و لاشبرگ کف جنگل در اثر رطوبت قبلی ناشی از دوام بارش، از آب اشباع می شود و آب جمع شده روی تاج پوشش به صورت قطرات بزرگی به سطح خاک برخورد می کند و رواناب و رسوب به راحتی به وجود می آید. در صورتی که در بارش های کم دوام و ملایم، جنگل تخریب نشده با تأثیر موانع حفاظتی روی سطح خاک از برخورد مستقیم قطرات باران جلوگیری کرده یا از طریق تبخیر و تعرق، نفوذ و اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از ایجاد رواناب و رسوب جلوگیری می کند یا از مقدار آنها می کاهد.

همچنین از کل بارش های رخ داده، بیشترین تعداد بارش در آذر ۱۳۸۹ مشاهده شد که بیشترین مقدار رواناب و فرسایش خاک را در پی داشت و حدود ۵۰ درصد از هدررفت در این ماه اتفاق افتاد. در همین زمینه (Girmay et al. (2009) نیز (Hotta et al. (2007); Wainwright et al. (2002) رگبارهای شدید را علت اصلی هدررفت خاک در همه

به طوری که در جدول ۲ ارائه شده است، مقایسه مقدار تولید رسوب و رواناب نشان می دهد که مقدار کل رواناب و رسوب در منطقه تخریب شده به ترتیب ۱۰۵۲ مترمکعب در هکتار و ۱۵۴۳ کیلوگرم در هکتار و در منطقه جنگلی به ترتیب ۲۰۷ مترمکعب در هکتار و ۸۸ کیلوگرم در هکتار است. همچنین حداکثر ضریب رواناب و غلظت رسوبات معلق در منطقه تخریب شده به ترتیب ۳۶/۶۲ درصد و ۲/۵ گرم در لیتر و در منطقه تخریب نشده به ترتیب ۸ درصد و ۰/۶۸ گرم در لیتر است. این مقادیر نشان دهنده هدررفت شدید آب و خاک در منطقه تخریب شده نسبت به منطقه جنگلی تخریب نشده است. در ایران، نور (۱۳۸۸) مقدار کل رسوب تولید شده از حوضه آبخیز جنگلی کجور را ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار ذکر کرد. مقدار بیشتر ارائه شده در تحقیق حاضر به علت شرایط موجود در حوضه آبخیز نسبت به پلات فرسایشی است، به طوری که در مقیاس پلات بسیاری از عوامل حمل رسوب به پایین دست نسبت به حوضه آبخیز مانند زبری، طول مسیر حمل، شیب، دبی و ... مشاهده نمی شود. مقدار به دست آمده از پلات نشان دهنده تغییرات شرایط خاکی متحمل شده در اثر تغییر در ساختار و ترکیب پوشش تیمارهاست که به اثرگذاری بر خاک و در نهایت تأثیر بر متغیرهای هیدرولوژیک منجر شده، به طوری که می توان آن را به خاک بخش های دیگر حوضه آبخیز با شرایط مشابه در وضعیت خاک شناسی و فیزیوگرافیک تعمیم داد. محققان مختلف در سراسر دنیا نتایج گوناگون اما مشابهی را گزارش دادند. در همین راستا (Marques et al. (2007) بیان داشتند که در پلات های دارای پوشش، می توان از مقدار رواناب و رسوب چشم پوشی کرد، در حالی که ضریب رواناب در منطقه تخریب شده به ۳۵ درصد نیز رسید. به گفته (Girmay et al. (2009، وقتی که پوشش زمین از ۷۲ درصد بیشتر می شود می توان از مقدار رواناب چشم پوشی کرد.

صادقی، سید حمیدرضا و بنفشه یثربی، ۱۳۸۷. حفاظت خاک و آب در آبخیزهای جنگلی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۴۰ ص.

صادقی، سید حمیدرضا، نصرت‌الله صفاییان و سبحان‌الله قنبری، ۱۳۸۴. بررسی نقش کاربری اراضی بر نوع و شدت فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کسلیان)، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۲۶: ۸۵-۹۸.

قربانی، داریوش، ۱۳۸۹. اثر میکروکلیمایی تخریب جنگل‌های هیرکانی. مجله جنگل و مرتع، ۸۵: ۲۹-۳۴.

نور، حمزه، ۱۳۸۸. مدل‌سازی رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای در حوضه آبخیز جنگلی کجور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس. ۵۵ ص.

Benito, E., J.L. Santiago, E. Blas & M.E. Varela, 2003. Deforestation of water-repellent soils in Galicia (NW Spain): effects on surface runoff and erosion under simulated rainfall, *Earth Surface Processes and Landforms*, 28: 145-155.

Blanco, H. & R. Lal, 2008. Principles of soil conservation and management. Springer Science. 617 pp.

Bowes, M.J., W.A. House, R.A. Hodgkinson & D.V. Leach, 2005. Phosphorus-discharge hysteresis during storm events along a river catchment: the River Swale, UK. *Water Research*, 39: 751-762.

Caissie, D., S. Jolicoeur, M. Bouchard & E. Poncet, 2002. Comparison of stream flow between pre and post timber harvesting in Catamaran Brook (Canada), *Journal of Hydrology*, 258: 232-248.

Casermiro, M.A., J.A. Molina, M.T. Cruz Caravaca, J.H. Costa & M.I.H. Massanet, 2004. Moreno, Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate, *Catena*, 57: 91-107.

Castillo, V.M., M. Martinez-Mena & J. Albaladejo, 1997. Carbon movement in runoff and soil loss response to vegetation removal in a semiarid environment, *Soil Science Society of America Journal*, 61: 1116-1121.

Dunjó, G., G. Pardini & M. Gispert, 2003. Land use effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain, *Catena*, 52: 23-37.

Doerr, S.H., A.J.D. Ferreira, R.P.D. Walsh, R.A. Shakesby, G. Leighton-Boyce, C.O.A. Coelho, 2003. Soil water repellency as a potential parameter in rainfall-runoff modelling: experimental evidence at point to catchment scales from Portugal, *Hydrological Processes*, 23: 363-377.

کاربری‌ها گزارش کردند. در طول دوره مطالعه و طی وقایع مختلف در رگبارهای متوالی کاهش نسبی در تولید رسوب و افزایش نسبی در تولید رواناب مشاهده شد. همچنین افزایش رسوبات معلق بعد از رگبار در دوره طولانی بعد از فصل خشک مشاهده شد. (Bowes et al. (2005) نیز به نتایج مشابهی رسیدند، آنها علل این امر را کم شدن موجودی و کاهش حرکت رسوب در رگبارهای متوالی و آب‌گریزی خاک‌های جنگلی گزارش کردند. به‌طور کلی آب‌گریزی در خاک‌های خشک، شدیدتر و در ماه‌های مرطوب حداقل است که به‌نوبت می‌تواند به افزایش جریان هورتونی و شدت فرسایش خاک منجر شود. به‌همین علت آب‌گریزی ممکن است با افزایش دوره خشک، افزایش پیدا کند (Doerr et al., 2003; Kobayashi & Shimizu, 2007; Sadeghi et al., 2008). جمع‌بندی نتایج تحقیق حاضر و مقایسه آن با نتایج پژوهش‌های دیگر محققان در سراسر دنیا می‌توان نتیجه گرفت که تخریب جنگل همواره سبب هدررفت آب و خاک می‌شود، اما شدت تأثیرگذاری آن بسته به نوع پوشش، تراکم و توزیع گونه‌های جنگلی متفاوت است. با این حال درک نسبت هدررفت آب و خاک در اثر تخریب جنگل، به برنامه‌ریزان و مدیران جنگل در اولویت‌بندی عملیات مدیریتی کمک خواهد کرد.

منابع

اداره کل منابع طبیعی استان مازندران. ۱۳۸۱. طرح جنگلداری کجور، سری ۳ آغوزچال، آبخیز ۴۶، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۳۷۹ ص.

خدیبور، اکرم. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات کاربری اراضی بر مقدار فرسایش و رسوب با استفاده از تکنیک‌های GIS و RS (مطالعه موردی: زیر حوضه غریب محله، نکورد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۷۰ ص.

صادقی، سید حمیدرضا، ۱۳۸۹. مطالعه و اندازه‌گیری فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۲۰۰ ص.

- Duran, Z.V.H., P.C.R. Rodriguez, M.J.R. Francia, R.B. Carceles, R.A. Martinez & G.P. Perez, 2008. Harvest intensity of aromatic shrubs vs soil-erosion: an equilibrium for sustainable agriculture (SE Spain), *Catena*, 73: 107-116.
- FAO, 2005. Global Forest Resources Assessment. Progress towards sustainable forest management. Forestry Paper 147. Rome, Italy.
- Fen-Li., Z., 2006. Effect of Vegetation Changes on Soil Erosion on the Loess Plateau, *Pedosphere*. 16: 420-427.
- Girmay, G., B.R. Sing, J. Nyssen & T. Borrosen, 2009. Runoff and sediment-associated nutrient losses under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia, *Journal of Hydrology*, 376: 70-80.
- Gomi, T., R.C. Sidle, M. Ueno, S. Miyata & K. Kosugi, 2008. Characteristics of overland flow generation on steep forested hillslopes of central Japan, *Journal of Hydrology*, 361: 275-290.
- Gyssels, G., J. Poesen, E. Bochet & Y. Li, 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review, *Progress in Physical Geography*, 2: 189-217.
- Hartanto, H., R. Prabhu, A.S.E. Widayat & C. Asdak, 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.
- Hotta, N., T. Kayama & M. Suzuki, 2007. Analysis of suspended sediment yields after low impact forest harvesting, *Hydrological Processes*, 21: 3565-3575.
- Kobayashi, M. & T. Shimizu, 2007. Soil water repellency in a Japanese cypress plantation restricts increases in soil water storage during rainfall events, *Hydrological Processes*, 21: 2356-2364.
- Lal, R., 1996. Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. Runoff, soil erosion and nutrient loss, *Land Degradation and Development*, 7: 99-119.
- Malmer, A., 1990. Stream suspended sediment load after clear-felling and different forestry treatments in tropical rainforest, Sabah, Malaysia, *Hydrological Science Journal*, 192: 62-71.
- Marques, M.J., L. Jiménez, R. Pérez-Rodríguez, S. García-Ormaechea & R. Bienes, 2007. Reducing water erosion in a gypsum soil by combined use of organic amendment and shrub revegetation, *Land Degradation and Development*, 16: 339-50.
- Miyata, S., K. Kosugi, T. Gomi, Y. Onda & T. Mizuyama, 2007. Surface runoff as affected by soil water repellency in a Japanese cypress forest, *Hydrological Processes*, 21: 2365-2376.
- Negi, G.C.S., V. Joshi & K. Kumar, 1998. Springsanctuary development to meet household water demand in the mountains: a call for action. In: Research for Mountain Development: Some Initiatives and Accomplishments. Gyanodya Prakashan, Nainital, India, pp. 25-48.
- Putjaroon, W. & K. Pongewon, 1987. Amount of Runoff and Soil Losses from Various Landuse Sampling Plots in Province, Thailand, in: Proceeding of Forest Hydrology and watershed management August 1987, IAHS-AISH, Publication, 22: 167-198.
- Rey, F., 2003. Influence of vegetation distribution on sediment yield in forested marly gullies, *Catena*, 50: 549-562.
- Roose, E., 1988. Soil and water conservation lessons from steep slope farming in French speaking countries of Africa, in: Conservation farming oil lands, *Soil and Water Conservation*, 12: 130-131.
- Sadeghi, S.H.R., T. Mizuyama, S. Miyata, T. Gomi, K. Kosugi, T. Fukushima, S. Mizugaki & Y. Onda, 2008. Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed, *Journal of Hydrology*, 356: 271-282.
- Wagenbrenner, J.W., L.H. MacDonald & D. Rough, 2006. Effectiveness of three post-fire rehabilitation treatments in the Colorado Front Range, *Hydrological Processes*, 20: 2989-3006.
- Wainwright, i., A.J. Parsons & W.H. Schlesinger, 2002. Hydrology-vegetation interactions in areas of discontinuous flow on a semi-arid badland, Southern New Mexico, *Journal of Arid Environment*, 51: 319-338.
- Walling, D.E., A.L. Collins, H.A. Sickingabula & G.J.L. Leek, 2001. Integrated Assessment of Catchment Suspended Sediment Budgets: A Zambian Example, *Land Degradation and Development*. 12: 387-415.
- Wang, L.X. & Z.Q. Zhang, 2001. Impacts of forest vegetation on watershed runoff in dry land area, *Journal of Natural Resources*, 16: 439-444.
- Xiaoming, Z., Y. Xinxiao, W. Sihong & L. Huifang, 2007. Effects of forest vegetation on runoff and sediment transport of watershed in Loess area, west China, *Science of Soil and Water Conservation*, 2: 163-168.
- Zhang, Z.Q., X.X. Yu, Y.T. Zhao & Y.S. Qin, 2003. Advance in researches on the effect of forest on hydrological process, *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14: 113-116.

Hydrological effects of forest surface disturbance, a case study

M. Khazayi¹, S.H.R. Sadeghi^{*2} and S.Kh. Mirnia²

¹M.Sc. Graduate, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, I. R. Iran

²Associate Prof., College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, I. R. Iran

(Received: 26 July 2010, Accepted: 1 March 2011)

Abstract

Forests have had a vital role in survival, growth and development of human communities in various epochs of history. Overexploitation of the forest resources induced environmental disturbance leading to desertification and disappearance of civilizations. Deforestation has detrimental effects on the watershed environment which resulted in increasing flooding and sediment yield. Since long time ago, many studies have been conducted to evaluate the effects of managerial and engineering treatments on forest ecosystems characteristics. Since the hydrologic response of forest disturbance has been rarely considered, the present study has been conducted to investigate the effect of forest disturbance on hydrological components in sample plot scale with three replicates in the northern forests of Iran during seventeen storm events occurred from October 2009 to April 2010. The rain depth was measured by using a rain gauge installed in the study area. The runoff volume and sediment yield were also measured through field data collection and lab analyses by weighting and decantation methods. The results of the study showed significant effects of forest degradation ($P < 0.001$) on hydrological components of runoff volume and coefficient, sediment yield and concentration. So that, the amount of runoff, runoff coefficient, sediment concentration and yield in disturbed area was found 5, 10, 18 and 6 times of those recorded for the undisturbed forest area, respectively.

Key words: Forest disturbance, Sediment yield, Forest watershed, Hydrological components.