



تأثیر شیب دامنه و شدت‌های مختلف بارندگی با شبیه‌ساز باران بر رواناب و هدررفت خاک یک سال پس از آتش‌سوزی جنگل (جنگل شنروود گیلان)

مسعود علی‌دوست^۱، رامین نقدی^{۲*}، مهرداد نیکوی^۳ و حمیدرضا پیروان^۴

^۱ دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
^۲ استاد گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
^۳ استاد گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
^۴ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱)

چکیده

مقدمه: آتش‌سوزی جنگل از مهم‌ترین مشکلات محیط زیستی و اغلب محرکی مهم در تولید رواناب و فرسایش خاک در جنگل است. این پژوهش با هدف بررسی اثر متقابل شیب دامنه و شدت‌های مختلف بارندگی در تولید رواناب و هدررفت خاک از جنگل سوخته با استفاده از شبیه‌ساز باران انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در سری چهار باباکوه از حوزه ۲۵ جنگلداری شنروود شهرستان سياهکل استان گیلان انجام گرفت. در سال ۱۳۹۹ حدود هشت هکتار از عرصه جنگلی این حوزه دچار آتش‌سوزی از نوع به‌نسبت شدید شد. اقلیم منطقه نیمه‌مرطوب و معتدل و حداقل و حداکثر رطوبت نسبی ۷۰ و ۹۰ درصد است. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۳۵۰ متر، جهت عمومی دامنه جنوب غربی، بارندگی سالیانه ۱۴۶۵ میلی‌متر، رطوبت اولیه خاک ۱۶/۴۶ درصد و بافت خاک شنی لومی است. بررسی مؤلفه‌های حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب با دو تیمار، شیب دامنه در دو سطح ۱۵ و ۳۰ درصد و شدت بارندگی در سه سطح ۸/۱۶، ۷/۱۶، ۴/۱۳ میلی‌متر بر دقیقه در مدت ۶/۲۶ دقیقه با سه تکرار در ۱۸ پلات به ابعاد (۲۵ × ۲۵ سانتی‌متر) با استفاده از شبیه‌ساز باران نوع کامفورست انجام گرفت. تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری‌شده به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین اثرهای متقابل تیمارها با روش دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌داری اثر متقابل تیمارهای شیب و شدت بارندگی بر مؤلفه‌های بررسی‌شده است ($p \leq 0/05$). بیشترین حجم رواناب در تیمار با شدت بارندگی ۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه در شیب ۳۰ درصد به مقدار ۲۴۱۸/۳۳ میلی‌لیتر با ضریب رواناب ۸۱/۵۳ درصد و کمترین آن در تیمار شدت بارندگی ۴/۱۳ میلی‌متر بر دقیقه در شیب ۱۵ درصد به مقدار ۸۴۶ میلی‌لیتر ثبت شد. نتایج هدررفت خاک نشان داد که بیشترین مقدار هدررفت خاک مربوط به شدت بارندگی ۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه در شیب ۱۵ درصد به مقدار ۱۱/۰۶ گرم و کمترین هدررفت خاک در شدت بارندگی ۴/۱۳ میلی‌متر بر دقیقه و شیب ۳۰ درصد به مقدار ۱/۷۹ گرم. بیشترین مقدار غلظت رسوب در شیب ۱۵ درصد و شدت ۴/۱۳ میلی‌متر بر دقیقه ثبت شد.

نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان داد که مجموع میانگین حجم رواناب یک سال پس از آتش‌سوزی در این منطقه با افزایش شیب دامنه از ۱۵ به ۳۰ درصد ۱۷/۶۱ درصد افزایش داشت. همچنین در شدت بارندگی ۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه، به‌عنوان شدت بیشینه در این تحقیق، حجم رواناب از شیب ۱۵ به ۳۰ درصد ۳۳/۶ درصد افزایش داشت و نتایج بررسی هدررفت خاک نیز نشان داد که به‌طور میانگین ۶۱/۹ درصد افزایش در شیب ۱۵ نسبت به ۳۰ درصد داشت. این افزایش در تیمار شدت بارندگی ۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه ۷۶ درصد ثبت شد. لذا نتایج حاکی از آن است که شیب و شدت بارندگی از عوامل مؤثر در چرخه هیدرولوژی و فرسایش در منطقه جنگلی در دامنه زمانی یک سال پس از آتش‌سوزی است.

واژه‌های کلیدی: آتش جنگل، رواناب، شبیه‌ساز باران، فرسایش خاک.

مقدمه

مختلف نشان داده‌اند که پس از آتش‌سوزی، نفوذپذیری خاک، شدت رواناب و غلظت رسوب و در نتیجه فرسایش خاک بسته به ویژگی‌های حوضه آبخیز تغییر می‌کند (Hubbert et al., 2006). Larsen et al. (2009) گزارش کردند که افزایش فرسایش خاک پس از آتش‌سوزی ممکن است بر کیفیت آب پایین دست تأثیر بگذارد، مخازن سدها را پر کند و به زیستگاه آبزیان آسیب برساند

(Goode et al., 2012; Shakesby et al., 2011;)

(Doerr, 2006). نتایج پژوهشی با نام اثرهای آتش‌سوزی بر خصوصیات خاک، فرسایش و رژیم هیدرولوژی که به کمک شبیه‌ساز باران در استان کردستان توسط Ebrahimi Mohammadi et al. (2016) انجام شد نشان داد که آتش‌سوزی سبب تغییر مؤلفه‌های هیدرولوژی و در نتیجه شدت فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز خواهد شد و این تغییرات تا احیای مجدد پوشش گیاهی منطقه ادامه خواهد داشت.

(Akbarzadeh et al., 2017) در بررسی تأثیر

آتش‌سوزی بر آبگریزی، مقدار و عوامل فرسایش خاک در جنگل‌های سواحل جنوب غربی دریای خزر نتیجه گرفتند که در سرعت نفوذ آب به خاک، آبگریزی و فرسایش کل، اختلاف معنی‌داری بین نقاط سوخته و شاهد وجود دارد و همچنین گزارش کردند که در حدود چهار تا پنج سال طول کشید تا تخلخل خاک و فرسایش کل به حد قبل از آتش‌سوزی برسد.

(Gholami gohareh et al., 2012) در پژوهشی با هدف بررسی تأثیر آتش‌سوزی مرتع بر نفوذ، رواناب و رسوب در منطقه کدیر مازندران با استفاده از شبیه‌ساز باران و پلات‌های ۰/۲۵ متر مربعی در دو تیمار شاهد و مرتع سوخته به مدت یک سال نتیجه گرفتند که مقدار رواناب و رسوب طی مدت آزمایش به ترتیب افزایش ۱/۱۸ و ۱/۵۲ برابری در مرتع سوخته داشته و همچنین آتش‌سوزی مرتع سبب از بین رفتن پوشش گیاهی و کاهش نفوذ، افزایش رواناب و در نتیجه افزایش تولید رسوب نسبت به تیمار بدون آتش‌سوزی

فرسایش خاک از معضلات مهم کشور است. با هدررفت ذرات خاک و مواد مغذی، حاصلخیزی و ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک نیز کاهش می‌یابد (Refahi, 2007). از این‌رو با توجه به گستردگی فرایند فرسایش خاک در کشور و نقش خاک در اکوسیستم، حفاظت خاک و بازیابی آن برای پایداری اکوسیستم بسیار حائز اهمیت است (Rahul Datta, 2021). پوشش گیاهی به دلیل افزایش ضریب زبری و نفوذپذیری و کاهش انرژی جنبشی قطره‌های باران، عاملی مهم در کنترل رواناب و حفاظت خاک شناخته می‌شود (Ebrahimi et al., 2016). آتش یکی از عوامل نابودکننده عرصه‌های طبیعی و خطرناک‌ترین دشمن جنگل محسوب می‌شود (Sarah R. Schmeer et al., 2018). آتش‌سوزی جنگل‌ها افزون‌بر کاهش پوشش گیاهی کف جنگل و در نتیجه لخت و آسیب‌پذیر شدن خاک در برابر اثر قطره‌های باران، با افزایش آبگریزی خاک و در نتیجه، کاهش نفوذپذیری، بر وضعیت هیدرولوژیکی و هدررفت خاک نیز تأثیر می‌گذارد (Foster et al., 2019). آتش‌سوزی‌های جنگلی به دلیل تخریب پوشش رویشی و تغییر در خصوصیات خاک (Parlak, 2015)، می‌تواند به شدت به پوشش گیاهی و خاک آسیب بزند و مانع برخی عملکردهای اکوسیستمی مانند نگهداری منابع آب، محافظت از خاک و مواد غذایی شود (Matinizadeh & Gudarzi, 2013). تغییر ناشی از آتش‌سوزی در پوشش گیاهی، لاشبرگ کف جنگل و خواص خاک، ممکن است موجب تغییر حرکت آب در داخل خاک شود (Mcnabb & Swanson, 1990). لخت شدن سطح خاک سبب آسیب‌پذیری آن در مقابل فرسایش قطره‌های باران، نوسان‌های دمایی و رطوبتی خاک و همچنین افزایش فرسایش سطحی خاک می‌شود. مجموع این تغییرات به افزایش سریع و ناگهانی فرسایش خاک و رواناب می‌انجامد (Robichaud & Brown, 1999; Brath et al., 2006). پژوهش‌های

و گرم شدن آب‌وهوا، خشکی بیش از حد گیاهان مرتعی و پوشش کف جنگل، وزش بادهای گرم جنوبی در فصول سرد سال، خطر وقوع آتش‌سوزی در استان گیلان را افزایش داده است. براساس آمار اداره کل منابع طبیعی استان گیلان طی سال‌های ۹۹-۱۳۹۷ منابع طبیعی حدود ۱۸۶۰ هکتار از عرصه‌های منابع طبیعی استان دچار آتش‌سوزی شد. حوضه آبخیز شهرستان سیاهکل با مساحت ۱۲۶/۴ کیلومتر مربع شامل اراضی بدون پوشش و مناطق شهری با مساحت ۵/۰۳ کیلومتر مربع، اراضی کشاورزی با مساحت ۱۰/۶۸ کیلومتر مربع و مناطق جنگلی با مساحت ۶۵/۷۳ کیلومتر مربع است که ۸۷/۶ درصد از کل حوضه را پوشانده است. هرساله آتش‌سوزی‌های عمدی و غیرعمدی وسیعی در اراضی جنگلی آن رخ می‌دهد که خسارات فراوانی به پوشش گیاهی اراضی جنگلی وارد می‌کند. هیچ تحقیقی درباره اثرهای متقابل شیب دامنه و شدت‌های مختلف بارندگی بر رواناب و فرسایش خاک پس از آتش‌سوزی در جنگل‌های سیاهکل انجام نگرفته است و درک فرایندهای پس از آتش‌سوزی برای ارزیابی خطرها و تعیین راهبردهای اصلاح مرتبط با سیل، فرسایش، انتقال رسوب، دینامیک مواد مغذی و انتقال آلاینده‌ها ضرورت دارد (Debano et al., 1998). از این‌رو پژوهش درباره فرسایش خاک و هدررفت منابع آب و خاک ناشی از آن و همچنین فراوانی آتش‌سوزی‌های عمدی و طبیعی طی سال‌های اخیر در جنگل‌های استان و تأثیر آن بر افزایش رواناب و رسوب، ضروری است. این پژوهش به بررسی اثر متقابل عوامل شیب دامنه و شدت‌های مختلف بارندگی بر مؤلفه‌های رواناب و هدررفت خاک یک سال پس از آتش‌سوزی در مناطق جنگلی شهرستان سیاهکل استان گیلان می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

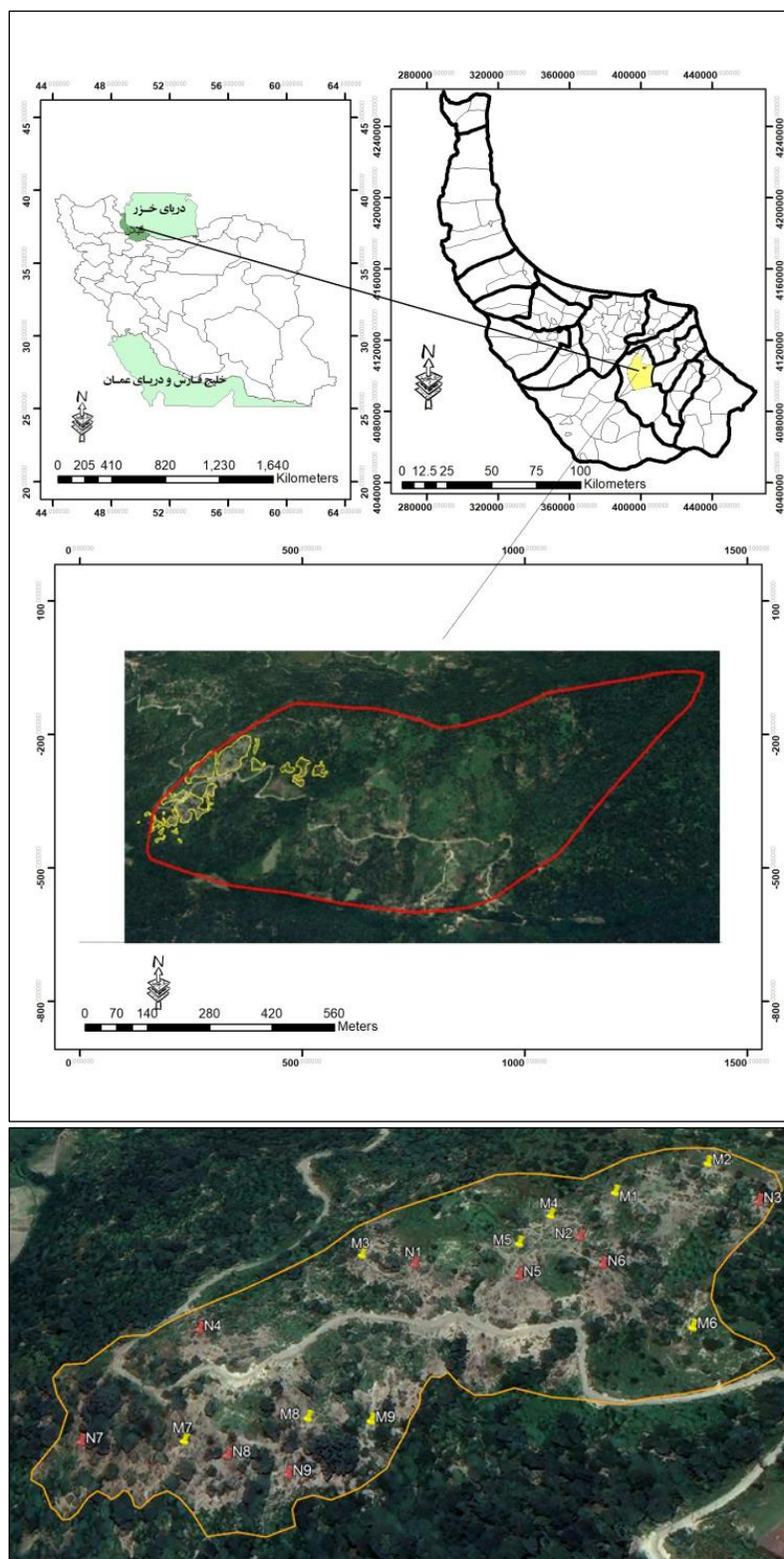
منطقه پژوهش

برای اجرای این پژوهش منطقه جنگلی پایین‌بند سری چهار باباکوه از حوضه ۲۵ جنگلداری شنرود

شده است. نتایج پژوهش‌های Neary et al. (2003) در مناطق جنگلی جنوب غربی قاره آمریکا نشان داد که رواناب و فرسایش خاک به ترتیب تابع شدت و مقدار بارش، پوشش کف و تاج‌پوشش گیاهی است؛ اگرچه هر دو به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار می‌گیرند، ولی تأثیرات فرسایش خاک بیشتر از رواناب است. (Samdaliri et al., 2021) در ارزیابی تأثیر بهره‌برداری و آتش‌سوزی جنگل بر مؤلفه‌های هیدرولوژی شامل تولید رواناب و رسوب در بخش نم‌خانه جنگل خیرودکنار نوشهر در استان مازندران، دریافتند که افزایش شدت آتش‌سوزی (کم، متوسط و زیاد) بر مقدار تولید رواناب و رسوب اثر معناداری دارد. با افزایش شدت آتش‌سوزی جمع کل رواناب سالیانه به ترتیب به ۱۷۷، ۱۹۷ و ۲۲۱ میلی‌متر در سال و جمع کل فرسایش سالیانه به ترتیب شدت آتش‌سوزی به ۱/۱۰، ۱/۵۷ و ۲/۲۴ تن در هکتار در سال رسید. با توجه به پژوهش‌های یادشده، کنترل فرسایش و رواناب و شناسایی عرصه‌های نیازمند حفاظت فوری، مستلزم داشتن اطلاعات درباره نرخ فرسایش نسبی، رواناب و مقدار هدررفت خاک است (Landi et al., 2011). استفاده از ابزار و دستگاه‌های دقیق برای برآورد رسوب و تعیین فرسایش خاک، به برنامه‌ریزان امکان می‌دهد که تصمیم‌گیری‌های درستی در زمینه حفاظت از خاک داشته باشند. یکی از این روش‌ها استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران است (Peyrowan & Lotfallahzadeh, 2016). با شبیه‌ساز بارش می‌توان آزمایش‌های مختلفی برای تعیین تأثیرات آتش‌سوزی بر فرسایش در اکوسیستم‌های مختلف جنگل انجام داد. آتش‌سوزی می‌تواند فرایندهای هیدرولوژیکی و آسیب‌پذیری منطقه را به‌طور چشمگیری به یک رخداد بزرگ سیل و فرسایش تغییر دهد (Doerr et al., 2006). امروزه بررسی آثار آتش‌سوزی بر کیفیت، ویژگی‌های هیدرولوژی و فرسایش خاک‌های جنگلی، یکی از مسئله‌های بسیار مهم پژوهشی است. تغییرات اقلیمی

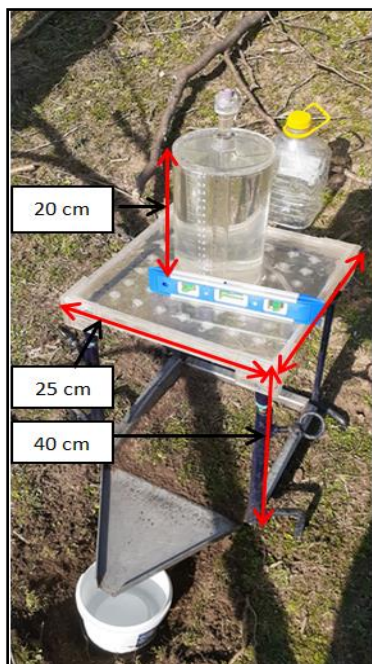
شهرستان سیاهکل استان گیلان انتخاب شد. براساس اطلاعات اداره کل منابع طبیعی استان گیلان، در پاییز سال ۱۳۹۹، حدود هشت تا ده هکتار از عرصه جنگلی این منطقه دچار آتش‌سوزی با درجه به نسبت شدید (براساس آثار و شواهد برجای مانده از آتش‌سوزی) شد. مساحت لکه‌های آتش‌سوزی کوچک در حدود ۱۰ متر مربع و مساحت لکه‌های بزرگ بیش از ۵۰۰ متر مربع بود (شکل ۱). منطقه در مختصات جغرافیایی $48^{\circ} 48'$ تا $37^{\circ} 51' 10''$ عرض شمالی و $53^{\circ} 02'$ تا $49^{\circ} 54' 27''$ طول شرقی واقع است (شکل ۱). براساس آمار اداره کل هواشناسی و اطلاعات ثبت‌شده ایستگاه از برم، اقلیم منطقه نیمه‌مرطوب و معتدل است. حداقل رطوبت نسبی بین ۷۰ تا ۷۵ درصد و متوسط حداکثر آن بین ۸۷ تا ۹۰ درصد متغیر است. ارتفاع از سطح دریا ۳۵۰ متر، جهت عمومی دامنه جنوب غربی، مقدار بارندگی سالیانه ۱۴۶۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. با بررسی میدانی و ایجاد پروفیل خاک در منطقه پژوهش، وضعیت عمق خاک در دو سطح شیب دامنه ۱۵ و ۳۰ درصد متفاوت بود. عمق خاک در شیب ۱۵ درصد بیشتر از شیب ۳۰ درصد بود. رطوبت اولیه خاک ۱۶/۴۶ درصد و بافت خاک شنی لومی است. تیپ خاک قهوه‌ای جنگلی، pH خاک خنثی و مایل به اسیدی است. بهره‌برداری در قالب طرح جنگلداری در منطقه صورت نگرفته، اما برداشت درختان برای مصارف روستاییان و قاچاق به صورت محدود وجود دارد. گونه‌های درختی غالب این جنگل در قسمت‌های مختلف توسکای بیلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.)، لیلکی (*Gleditsia caspica* Desf.)، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، بلندمازو (*Quercus castaenifolia* C.A.Mey.)، افرا پلت (*Acer velutinum* Boiss.)، ازگیل (*Mespilus germanica* L.)، سرخ و لیک (*Crataegus*)

شبهه‌ساز باران استفاده شده یکی از روش‌های ارزیابی فرسایش‌پذیری خاک و رواناب، اندازه‌گیری صحرایی به کمک باران‌سازهای مصنوعی است. در این روش می‌توان خصوصیات فیزیکی باران را به طور دلخواه انتخاب کرد. سرعت، کارایی و تکرارپذیری آزمایش‌ها از مزایای استفاده از باران‌ساز است. باران طبیعی پیش‌بینی‌پذیر نیست و برای آزمایش باید در انتظار آن ماند و از سوی دیگر خصوصیات فیزیکی باران طبیعی نامعلوم و متغیر است. با توجه به هدف این پژوهش یعنی بررسی اثرهای متقابل شیب دامنه و شدت‌های مختلف بارندگی در اراضی جنگلی در دامنه زمانی یک سال پس از آتش‌سوزی، از دستگاه شبهه‌ساز باران نوع کامفورست (kamphorst) ساخت پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری استفاده شد (شکل ۲). دستگاه شامل اسکلت باران‌ساز، قاب استیل و آبرو متصل به آن برای هدایت رواناب و رسوب، قسمت آب‌پاش شامل مخزن ذخیره آب استوانه‌ای مدرج با ظرفیت حدود ۱۲۰ میلی‌متر، لوله هوادهی برای تعیین شدت‌های مختلف بارش شبهه‌ساز و پاشنده باران (براساس اصل بطری ماریوت) برای تولید بارش استاندارد از ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری است (peyrowan, 2016).



شکل ۱- موقعیت منطقه پژوهش و نقاط نمونه‌برداری از رواناب و رسوب با باران‌ساز در لکه‌های آتش‌سوزی، جنگل هیرکانی، سیاهکل، گیلان، ایران

Figure 1. The Location of study area and sampling points of runoff and soil loss with rain simulator in fire spots in the Hyrcanian forest, siyahkal, Guilan, iran



شکل ۲- دستگاه باران‌ساز قابل حمل نوع کامفورست در عرصه با ابعاد مختلف آن
Figure 2. Kamphorst type portable rain simulator with different dimensions

شیوه اجرای پژوهش

ابتدا با توجه به شرایط آب‌وهوایی و ارتفاعی محل آزمایش و فصل اجرای عملیات صحرایی، دستگاه باران‌ساز در شرایط محل تحقیق برای تعیین دقیق خط نشانه آزمایش به‌منظور تخلیه حجم بارش روی استوانه مدرج، مقدار بارش و شدت بارش کالیبره شد. در انتخاب سطوح مختلف شدت‌های بارندگی، کمترین درجه‌بندی مخزن ذخیره آب دستگاه شبیه‌ساز باران که منجر به تولید رواناب و رسوب در عرصه شد (درجه ۱/۶ مخزن استوانه با شدت بارندگی ۴/۱۳ میلی‌متر بر دقیقه در مدت زمان ۶/۲۶ دقیقه) به‌عنوان آستانه شروع رواناب و رسوب انتخاب شد. سطوح دیگر شدت بارندگی براساس دوبرابری شدت آستانه و میانگین دو بارش انتخاب شد. سطوح مختلف شدت باران و شیب دامنه با مرور تحقیقات پیشین (Kiani Harchegani et al.; Azmoodeh et al., 2010) و شیب (Sadeghi et al., 2010; al., 2017)، بارندگی و شیب عمومی منطقه، قابلیت‌ها و محدودیت‌های دستگاه باران‌ساز و شرایط کار در عرصه و همچنین دقت آزمایش مدنظر انتخاب شد. در پژوهش‌های داخلی و

خارجی با توجه به شرایط مختلف هر تحقیق، شدت باران‌های باران‌ساز دارای مقادیر متفاوت و متغیر می‌تواند باشد. (Gholami Gohareh et al., 2012; Ahmadi Eilkhchy et al., 2002; Bayat et al., 2016; Ebrahimi Mohammadi et al., 2016) از بررسی‌های میدانی در منطقه سوخته تحت بررسی در داخل لکه‌های آتش‌سوزی، تعداد واحدهای مورد نیاز آزمایش (هجده پلات)، در دو سطح شیب شامل ۱۵ و ۳۰ درصد با کمک دستگاه شیب‌سنج سنتو مشخص شد. سپس در هر طبقه شیب پلات‌های آزمایشی با اندازه پلات ۰/۰۶۲۵ متر مربعی (۲۵×۲۵ سانتی‌متر) ابعاد شبیه‌ساز باران، با شدت بارندگی در سه سطح ۴/۱۳، ۷/۱۶ و ۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه با دوام بارش ۶/۲۶ دقیقه برای همه آزمایش‌ها با سه تکرار (هجده آزمایش) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام گرفت. نمونه‌برداری این پژوهش در پاییز ۱۴۰۰ یک سال پس از آتش‌سوزی از پارامترهای رواناب و رسوب شامل (حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک، غلظت رسوب) صورت گرفت شد. در هر هجده آزمایش شبیه‌ساز، حجم

یک‌صدم گرم توزین شد (Jabbary Zahra et al., 2021; Jafari haghghi, 2003). غلظت رسوب برحسب گرم در لیتر از تقسیم وزن هدررفت خاک به حجم نمونه رواناب محاسبه شد و ضریب رواناب برحسب درصد از تقسیم حجم رواناب خروجی بر حجم بارش به دست آمد (شکل ۳).

رواناب پس از جمع‌آوری در بطری و انتقال به آزمایشگاه با استفاده از استوانه مدرج با دقت میلی‌لیتری تعیین شد (Marques et al., 2007). نمونه‌های رسوب پس از گذراندن از کاغذ صافی واتمن ۴۲ به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و با استفاده از ترازوی دقیق با دقت



شکل ۳- روند اجرای پژوهش: منطقه جنگلی سوخته (۱)؛ نحوه استقرار پلات‌ها با شبیه‌ساز باران و نمونه‌برداری رواناب و رسوب (۲)؛ جمع‌آوری رواناب و رسوب (۳)؛ اندازه‌گیری رواناب در آزمایشگاه (۴)؛ جداسازی رسوب (۵)؛ خشک کردن و توزین رسوب (۶ و ۷)

Figure 3. Research stages: (1)The burned forest study area, (2) Establishing a rain simulator plot and sampling runoff and sediment, (3) Runoff and sediment collection, (4) Runoff measurement in the laboratory, (5) Sediment separation, (6,7) Drying and weighing the sediment

روش تحلیل

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در سطح اطمینان ۹۵ درصد سنجیده شد. برای تحلیل آماری از نرم‌افزار spss26 استفاده شد. تجزیه داده‌های آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تیمار، شیب دامنه در دو سطح (۱۵ و ۳۰ درصد) و شدت بارندگی در سه سطح (۸/۱۶، ۷/۱۶، ۴/۱۳ میلی‌متر بر دقیقه) انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها، از روش دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج

طبقه شیب ۱۵ و ۳۰ درصد از نظر پتانسیل تولید رواناب و هدررفت خاک در شدت‌های بارندگی مختلف ارزیابی شد. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که در منطقه پژوهش، یک سال پس از آتش‌سوزی بین دو طبقه شیب دامنه و شدت‌های مختلف بارندگی شبیه‌ساز، اثر متقابل تیمارها از نظر مؤلفه‌های حجم رواناب، هدررفت خاک، غلظت رسوب و ضریب رواناب در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($p \leq 0.05$)، (جدول ۱)؛ یعنی شیب و شدت بارندگی از عوامل مؤثر در ایجاد رواناب و فرسایش در اراضی جنگلی سوخته این پژوهش است.

جدول ۱- اثر مستقل و متقابل شیب و شدت بارندگی بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب با استفاده از تحلیل واریانس

Table 1. The independent and reciprocal effect of slope and rainfall intensity on runoff and sediment parameters with analysis of variance

منبع تغییرات	درجه آزادی	مؤلفه تحت بررسی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
Source of changes	Degrees of freedom	The investigated parameter	sum of squares	average of squares	F value	The significance level
شیب Slope	1	حجم رواناب Runoff volume	259200.0	259200.2	13.82	0.003**
		ضریب رواناب Runoff coefficient	390.6	390.6	10.1	0.008**
		هدررفت خاک Soil loss	81.2	81.2	36.42	0.000**
		غلظت رسوب Sediment concentration	51.7	51.7	52.27	0.000**
شدت بارندگی Rainfall intensity	2	حجم رواناب Runoff volume	4351702.7	2175851.3	116.02	0.000**
		ضریب رواناب Runoff coefficient	609.4	304.7	7.87	0.007**
		هدررفت خاک Soil loss	38.3	19.1	8.58	0.005**
		غلظت رسوب Sediment concentration	7.8	3.9	3.97	0.047*
شیب × شدت بارندگی S × R	2	حجم رواناب Runoff volume	324858.3	162429.1	8.66	0.005**
		ضریب رواناب Runoff coefficient	351.6	175.8	4.45	0.034*
		هدررفت خاک Soil loss	47.8	23.9	10.72	0.002**
		غلظت رسوب Sediment concentration	22.5	11.2	11.37	0.002**

*** و ** به ترتیب در سطح ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دارند.

**and * are significant at the level of one percent and five percent, respectively

حجم رواناب

با توجه به معنی‌داری اثر متقابل دو طبقه شیب و سه سطح شدت بارندگی در عرصه جنگلی سوخته (جدول ۱) بر حجم رواناب، تأثیر همزمان این دو عامل بر حجم رواناب به روش دانکن بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین حجم رواناب مربوط به تیمار شیب ۳۰ درصد و شدت ۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه و کمترین آن مربوط به شدت بارندگی ۴/۱۳ میلی‌متر بر دقیقه و شیب ۱۵ درصد بود (شکل ۴ الف). همچنین حجم رواناب با افزایش شدت بارندگی در دو سطح شیب بررسی شده افزایش نشان داد. در کل مجموع میانگین حجم رواناب در شیب دامنه ۳۰ نسبت به ۱۵ درصد ۱۷/۶۱ درصد افزایش داشت. این موضوع حاکی از آن است که شیب و شدت بارندگی از عوامل مؤثر در چرخه هیدرولوژی منطقه جنگلی این پژوهش در زمان یک سال پس از آتش‌سوزی هستند.

ضریب رواناب

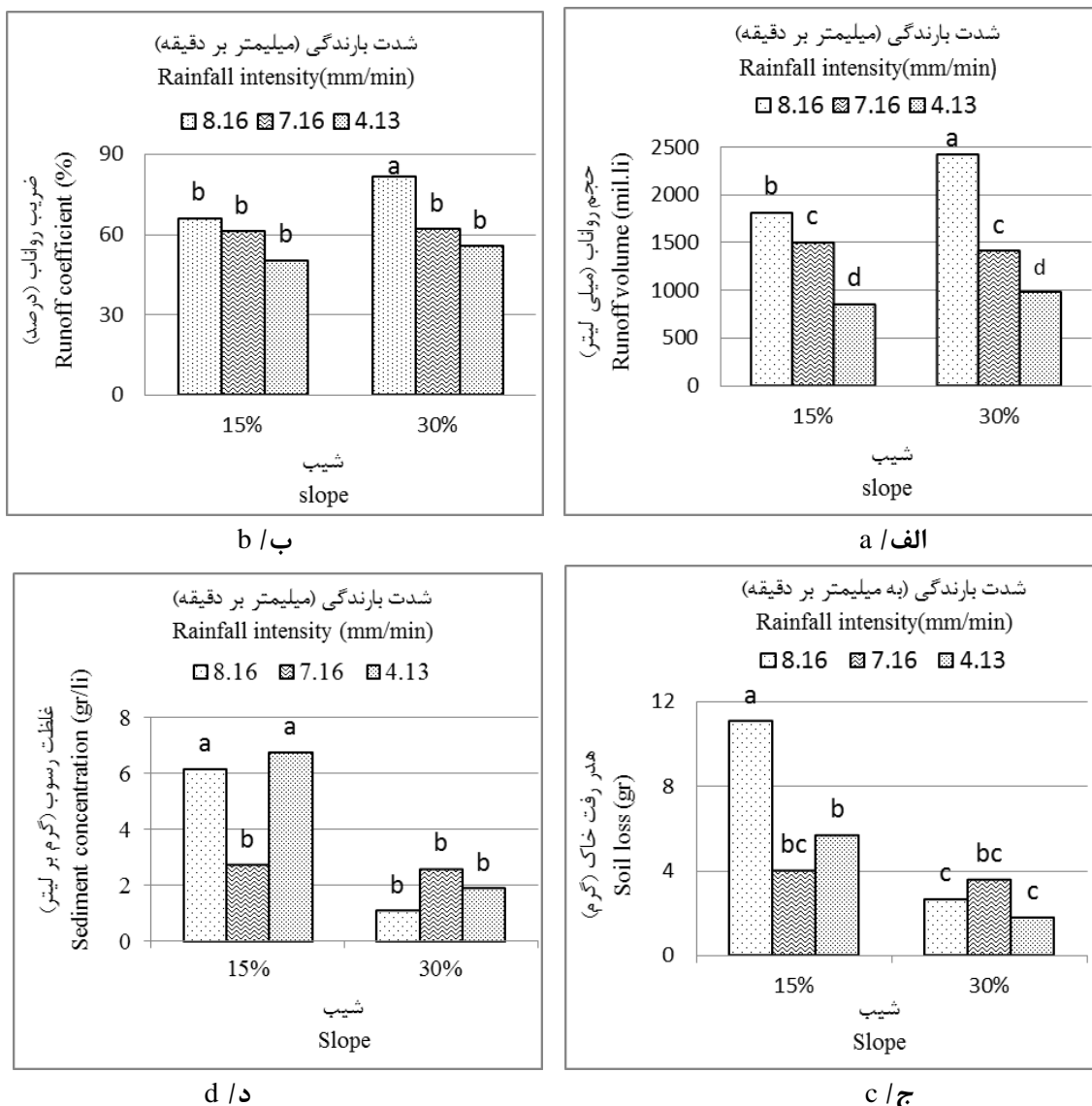
نتایج تحلیل واریانس اثر متقابل دو سطح شیب دامنه و شدت‌های مختلف بارندگی بر مؤلفه ضریب رواناب (جدول ۱) در عرصه جنگلی سوخته معنی‌دار بود. مقایسه اثر متقابل میانگین‌ها به روش دانکن (شکل ۴ ب) نشان می‌دهد که بیشترین ضریب رواناب در شیب ۳۰ درصد و شدت بارندگی ۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه برابر ۸۱/۵۳ درصد و کمترین آن در شیب ۱۵ و شدت بارندگی ۴/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه بود. همچنین در شیب ثابت با افزایش شدت بارش، ضریب رواناب افزایش و در شدت بارش ثابت نیز با افزایش شیب دامنه، ضریب رواناب افزایش می‌یابد.

هدررفت خاک

اثر متقابل دو عامل شیب دامنه و شدت بارندگی در جنگل سوخته یک سال پس از آتش‌سوزی بر مؤلفه هدررفت خاک معنی‌دار بود (جدول ۱). بنابراین تأثیر همزمان این دو عامل بر هدررفت خاک با استفاده از آزمون دانکن بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین هدررفت خاک مربوط به تیمار شدت بارندگی ۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه در شیب ۱۵ درصد و کمترین آن مربوط به شدت بارندگی ۴/۱۳ در شیب ۳۰ درصد به ترتیب ۱۱/۰۶ و ۱/۷۹ گرم بود (شکل ۴ ج). مجموع میانگین هدررفت خاک در شیب دامنه ۱۵ درصد ۲۰/۷۴ گرم و در شیب ۳۰ درصد ۸ گرم بود. نتایج اندازه‌گیری نشان داد که مجموع میانگین هدررفت خاک در تمام شدت‌های بارندگی با کاهش شیب دامنه از ۳۰ به ۱۵ درصد، افزایش ۲/۵ برابری داشت. این موضوع حاکی از تأثیر متقابل شیب و شدت بارندگی در فرسایش مناطق جنگلی این منطقه در زمان یک سال پس از آتش‌سوزی است.

غلظت رسوب

با توجه به معنی‌داری اثر متقابل دو طبقه شیب و سه سطح شدت بارندگی در عرصه جنگلی سوخته بر غلظت رسوب (جدول ۱)، نتایج اثر متقابل به روش دانکن (شکل ۴ د) نشان داد که بیشترین غلظت رسوب مربوط به شیب ۱۵ درصد و شدت بارندگی ۴/۱۳ میلی‌متر بر دقیقه و کمترین مربوط به شیب ۳۰ درصد و شدت بارندگی ۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه بود. نتایج نشان داد که مقدار غلظت رسوب با افزایش شیب از ۱۵ به ۳۰ درصد، در منطقه جنگلی سوخته در بارش‌های اندازه‌گیری شده ۶۸/۸۴ درصد کاهش داشت.



شکل ۴- اثر متقابل تیمارهای شیب و شدت بارندگی بر مؤلفه‌های

الف) حجم رواناب؛ ب) ضریب رواناب؛ ج) هدررفت خاک؛ د) غلظت رسوب به روش آماری دانکن

درج حروف یکسان در نمودار نشان می‌دهد که تیمارها با هم اختلاف معنی‌داری ندارند

Figure 4. Duncan's test of the reciprocal effect of slope and rainfall intensity treatments on parameters: (a) runoff volume, (b) Runoff coefficient, (c) soil loss & (d) sediment concentration

The insertion of the same letters in the graph shows that the treatments have no significant difference

۲۵×۲۵ سانتی‌متر انجام گرفت. نتایج تحلیل واریانس در قالب طرح پایه تصادفی حاکی از معنی‌داری اثرهای متقابل تیمارهای شیب و شدت‌های مختلف بارندگی بر مؤلفه‌های وابسته اندازه‌گیری‌شده در سطح ۵ درصد است ($p \leq 0.05$)، (جدول ۱). همچنین اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین میانگین مؤلفه‌های تحت بررسی در سطوح مختلف تیمارهای شیب دامنه و شدت‌های مختلف بارندگی با استفاده از آزمون دانکن مشخص شد

بحث

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی اثرهای متقابل دو متغیر شیب دامنه در دو سطح ۱۵ و ۳۰ درصد و متغیر شدت بارندگی در سه سطح ۸/۱۶، ۷/۱۶ و ۴/۱۳ میلی‌متر بر دقیقه بر مؤلفه‌های حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در منطقه جنگلی شهرستان سیاهاکل استان گیلان، یک سال پس از آتش‌سوزی با استفاده از شبیه‌ساز باران در پلات

ناگهانی شود (Shakesby et al., 2011). در این پژوهش هدررفت خاک در شیب ۱۵ درصد نسبت به شیب ۳۰ درصد به‌طور میانگین ۶۱/۴۳ درصد افزایش داشت. این افزایش در شدت بارندگی ۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه ۷۶ درصد ثبت شد (شکل ۴ ج). این موضوع ممکن است به دلیل عمق بیشتر خاک در شیب ۱۵ درصد و از طرفی خروج سریع‌تر رواناب در شیب ۳۰ درصد باشد؛ از این رو زمان برای نفوذ تخلیه رسوب از پلات، فراهم نشده است. نتایج مربوط به غلظت رسوب نیز مشابه روند تغییرات در هدررفت خاک نشان داد که غلظت رسوب در شیب ۱۵ درصد نسبت به ۳۰ درصد، در منطقه جنگلی سوخته در شدت بارندگی‌های آزمایش شده ۶۴/۸۶ درصد افزایش داشت که با نتایج Neris et al. (2023) و Alcañiz et al. (2018) و Agbeshie et al. (2022) مطابقت دارد. نتایج اثر متقابل آزمون دانکن غلظت رسوب نشان داد (شکل ۴ د) که در شیب ۳۰ درصد در شدت‌های مختلف بارندگی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد و غلظت رسوب در همه سطوح شدت بارندگی در یک گروه قرار دارد. نتایج تحقیقات Ebrahimi et al. (2016) نیز نشان داد که آتش‌سوزی سبب تغییر مؤلفه‌های هیدرولوژی و در نتیجه مقدار فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز خواهد شد و این تغییرات تا احیای مجدد پوشش گیاهی منطقه ادامه خواهد داشت. Havel et al. (2018) در مناطق کوهستانی دچار آتش‌سوزی شدید در آمریکا به این نتیجه رسیدند که مقدار رواناب سطحی تا ۷۵ درصد افزایش داشته است. بنابراین تأثیر بیشتری بر جریان‌های اوج دارد که ممکن است خطر بروز سیل‌های فوری و هدررفت خاک را پس از آتش‌سوزی افزایش دهد. فرسایش‌پذیری پس از آتش‌سوزی به عوامل متعددی مانند شدت آتش‌سوزی، شیب دامنه، شدت بارندگی، زمین‌شناسی و جنس خاک بستگی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تولید رواناب و هدررفت خاک در بازه زمانی یک سال پس از آتش‌سوزی جنگل به

(شکل ۴). آتش‌سوزی می‌تواند عامل مهمی برای تغییرات هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی در اراضی مستعد آتش‌سوزی باشد. آتش‌سوزی با درجه نسبتاً شدید، سبب سوختن کامل پوشش کف جنگل و لاشبرگ می‌شود و با سوختن تنه و تاج درختان، حرارت به‌نسبت زیاد ایجاد شده، تغییرات محسوس‌تری را در خواص خاک ایجاد می‌کند، این تغییرات به افزایش فرسایش خاک در عرصه‌های جنگلی پس از آتش‌سوزی خواهد انجامید (Badia & Marti, 2008). واکنش هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز پس از آتش‌سوزی به شکل رواناب زیاد، تغییر می‌یابد. آتش‌سوزی سبب کاهش نفوذپذیری و آبگریزی خاک از طریق تولید خاکستر و در نتیجه افزایش رواناب می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت بارندگی در هر دو سطح شیب دامنه، حجم رواناب افزایش یافت. همچنین مجموع میانگین حجم رواناب در دامنه زمانی یک سال پس از آتش‌سوزی ۱۷/۶۱ درصد افزایش را از شیب ۱۵ به ۳۰ درصد ثبت کرد. این افزایش در شدت بارندگی بیشینه این پژوهش (۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه)، ۳۳/۶ درصد اندازه‌گیری شد (شکل ۴ الف) که با یافته‌های Badia & Marti (2008) و Akbarzadeh et al. (2017) مطابقت دارد. بیشترین ضریب رواناب در شیب ۳۰ درصد و با شدت بارندگی ۸/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه برابر ۸۱/۵۳ درصد و کمترین آن در شیب ۱۵ درصد و شدت بارندگی ۴/۱۶ میلی‌متر بر دقیقه بود (شکل ۴ ب). به‌طور کلی با افزایش شیب دامنه و شدت‌های مختلف بارندگی در دامنه زمانی یک سال پس از آتش‌سوزی جنگل در منطقه پژوهش، حجم رواناب و ضریب رواناب افزایش یافت. پژوهش‌های Stooft et al. (2012) نشان داد که حذف پوشش گیاهی توسط آتش‌سوزی، هم سبب افزایش تأثیر قطره‌های باران بر خاک لخت می‌شود و هم ضریب رواناب را افزایش می‌دهد. افزایش رواناب می‌تواند آستانه شدت و مقدار بارش لازم برای ایجاد رویداد سیلاب را کاهش دهد و تأثیر بارش را تشدید کند و در شیب‌های تند سبب وقوع سیلاب‌های

مکانی، زمانی و با تعداد تکرار بیشتر و مقایسه با جنگل نسوخته توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از نتایج رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «بررسی اثر آتش‌سوزی بر میزان فرسایش خاک و تولید رواناب در جنگل استان گیلان» است. نگارندگان مراتب سپاسگزاری خود را از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری گیلان بابت پشتیبانی و فراهم آوردن امکانات لازم برای اجرای این پژوهش اعلام می‌دارند.

عوامل متعددی از جمله شیب دامنه و شدت بارندگی و اثرهای متقابل آنها بستگی دارد. از این رو نتایج این پژوهش می‌تواند در برآورد نسبی تولید رواناب و هدررفت خاک با کمک شبیه‌ساز باران در شرایط شیب دامنه و شدت‌های مختلف بارندگی در ریزکرت‌های انتخابی و کوتاه‌مدت، به مدیران حوضه آبخیز در این منطقه برای تصمیم‌گیری درباره احیا، بازیابی و برنامه اقدامات اصلاحی و مرمت پس از آتش‌سوزی کمک کند. همچنین برای دستیابی به جمع‌بندی‌های جامع‌تر درباره تأثیرات شیب و شدت بارندگی و دیگر عوامل مؤثر در تولید رواناب و رسوب در مناطق جنگلی پس از آتش‌سوزی، پژوهش‌های گسترده‌تر در شرایط آزمایشگاهی و طبیعی با کمک تجهیزات دقیق اندازه‌گیری در مقیاس‌های مختلف

References

- Ahmadi Eilkhchy, A., Hajabbasi, M.A., & Jalalyan, A. (2002). The effect of changing the use of pasture land to dry farming on runoff production, waste and soil quality in Dorahan region. *Agricultural sciences and techniques and natural resources*, 6(4), 103-114. (In Persian)
- Akbarzadeh, A., Ghorbani Dashtaki, S., Naderi Khorasgani, M., Mohammadi, J., & Taghizadeh Mehrjardi, R. (2017). Effect of fire on water repellency, amount and factors of soil erosion in forests of southwest coast of the Caspian Sea. *Iranian Journal of Forest*, 9(1), 145-157. (In Persian)
- Azmoodeh, A., Kavian, A., soleimani, K., & Vahabzadeh, Gh. (2010). Comparing Runoff and Soil Erosion in Forest, Dry Farming and Garden Land Uses Soils Using Rainfall Simulator. *Journal of Water and Soil*, 24(3), 490-500. (In Persian)
- Badia, D., & Marti, C. (2008). Fire and Rainfall Energy Effects on Soil Erosion and Runoff Generation in Semi-Arid Forested Lands. *Arid Land Research and Management*, 22(2), 93-108.
- Bayat, R., Arabkhedri, M., Gerami, Z., Eisaei, H., & Alivamaei, R. (2016). Survey on quality of dry lands runoff using rainfall simulator (Kalaleh, Golstan Province, case study). *5th conference on rainwater catchment systems*. Gilan- IRAN. (In Persian)
- Brath, A., Montanari, A., & Moretti, G. (2006). Assessing the effect on flood frequency of land use change via hydrological simulation (with uncertainty). *Journal of Hydrology*, 324(4), 141-153.
- Debano, L.F., Neary, D.G., & Folliott, P.F. (1998). Fire effects on ecosystems. Wiley, New York. 333p.
- Doerr, S.H., Shakesby, R.A., Blake, W.H., Chafer, C.J., Humphreys, G.S., & Wallbrink, P.J. (2006). Effects of different wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response. *Journal of Hydrology*, 319, 295-311.
- Ebrahimi Mohammadi, Sh., Azari, M., & Manoochehri, E. (2016). Effects of Fire on Soil Properties, Erosion and Hydrologic Regime of Zrebar Lake Watershed. *Journal of Water and Soil*, 30(2), 618-631. (In Persian)
- Foster, A.C., Armstrong, A.H., Shuman, J.K., Shugart, H.H., Rogers, B.M., Mack, M.C., Goetz, S.J., & Ranson, K.J., (2019). Importance of tree- and species-level interactions with wildfire, climate, and

- soils in interior Alaska: implications for forest change under a warming climate. *Ecological Modelling*, 409, 108765. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108765>
- Havel, A., Tasdighi, A., & Arabi, M. (2018). Assessing the hydrologic response to wildfires in mountainous regions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2527-2550.
- Hubbert, K.R., Preisler, H.K., Wohlgemuth, P.M., Graham, R.G., & Narog, M.G. (2006). Prescribed burning effects on soil physical properties and water repellency in a steep chaparral watershed, Southern California, USA. *Geoderma*, 130, 284-298.
- Gholami Gohareh, R., Sadeghi, S.H.R., Mirnia, S.Kh., & Soleimankhani, Z. (2012). Effects of Light Firing on Infiltration, Runoff and Sediment in Rangeland in Kodir Area, Iran. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 5(17), 23-32. (In Persian)
- Goode, J.R., Luce, C.H., & Buffington, J.M. (2012). Enhanced sediment delivery in a changing climate in semi-arid mountain basins: implications for water resource management and aquatic habitat in the northern Rocky Mountains. *Geomorphology*, 139(140), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.021>.
- Jabbary Zahra, A., Mohammadi GHaleni, M., Moghaddasi, M., & Dehban, H. (2021). The effect of slope and rainfall intensity on runoff and soil erosion using a rainfall simulator. *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 45(1), 113-128. (In Persian)
- Jafari Haghighi, M., (2003). Methods of soil decomposition Sampling and important physical and chemical analyzes with emphasis on theoretical and practical principles. neday zaha press. (In Persian)
- Landi, A., Barzegar, AR., Sayadi, J., & Khademalrasoul, A. (2011). Assessment of Soil Loss Using WEPP Model and eographical Information System. *Journal of Spatial Hydrology*, 11(1), 40-51.
- Larsen, I.J., MacDonald, L.H., Brown, E., Rough, D., Welsh, M.J., Pietraszek, J.H., Libohova, Z., Benavides-Solorio, J.D., & Schaffrath, K. (2009). Causes of post-fire runoff and erosion: water repellency, cover, or soil sealing?. *Soil Science Society of America Journal*, 73(4), 1393-1407. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0432>.
- Marques, M.J., Bienes, R., Jimenez, L., & Perez- Rodriguez, R. (2007). Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE plots. *Science of the Total Environment*, 378, 161-165. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.043>.
- Matinizadeh, M., & Gudarzi, M. (2013). Effects of fire on activity of some rangeland soil enzymes. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20(1), 213-225. (In Persian)
- McNabb, D., Swanson, H., & Frederick, J. (1990). Effects of fire on soil erosion. In: Walstad, John D.; Radosovich, Steven R.; Sandberg, David V., eds. Natural and prescribed fire in the Pacific Northwest forests. Corvallis, OR: Oregon State University Press, 159-176p.
- Neary, D.G., Gottfried, G.J., & Ffolliott, P.F. (2003). Post-wildfire watershed flood responses. *Second International Fire Ecology and Fire Management Congress*, Orlando, Florida, Paper 1B7.
- Neris, j., Robichaud, P.R., Wagenbrenner, J.W., Brown, R.E., & Doerr, S.H. (2023). Soil erosion after fire in volcanic terrain: Assessment and implications for post-fire soil losses. *Journal of Hydrology*, 625(A) 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129923>
- Kiani Harchegani, M., Sadeghi, S., & Asadi, H. (2017). Intra-storm variability of runoff volume change coefficient and soil loss during simulation repetitions of rain and soil erosion. *Journal of Ecohydrology*, 4(1), 191-199
- Parlak, M. (2015). Effects of Wildfire on Runoff and Soil Erosion in the Southeastern Marmara Region, Turkey. *Ekoloji*, 24, 94, 43-48.
- Peyrowan, H.R., & Lotfollahzadeh, D. (2016). Principles and application of desert rain simulator in soil erosion research and runoff and sediment production. The first national conference on soil protection and watershed management. Tehran. Iran. (In Persian)

Rahul, D. (2021). To extinguish or not to extinguish: The role of forest fire in nature and soil resilience. *Journal of King Saud University – Science* 33, 101539

Refahi, H. (2007). Water erosion and its control, *Tehran University Publications*, 671p. Iran. (In Persian)

Robichaud, P.R., & Brown, R.E. (1999). What happened after the smoke cleared: onsite erosion rates after a wildfire in eastern Oregon. In: Olsen, D.S., Potyondy, J.P. (Eds.), *Proceedings Wildland Hydrology Conference*, Bozeman, Mt Hennon, Virginia, June. *American Water Resource Association*, 10(10) 419–426.

Sadeghi, S.Hr., Gholami Gohareh, R., Mirnia, S.Kh. (2010). Analysis of runoff threshold of two pasture treatments. The 6th National Conference on Watershed Science and Engineering and the 4th National Conference on Erosion and Sedimentation. (In Persian)

Samdaliri, H., Jourgholami, M., Salajegheh, A., Abdi, E., & Kooch, Y. (2021). The effect of forest fires on the dynamics of some soil physical, chemical and biological characteristics over time, *Iranian Journal of Forest*, 13(2), 129-140, <https://doi.10.22034/ijf.2021.136935>. (In Persian)

Samdaliri, H., Jourgholami, M., Salajegheh, A., Abdi, E., & Kooch, Y. (2021). Effect of fire on runoff quality in forest watersheds (Case study: Kheyroud educational and research forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 29(4), 402-411. <https://doi.10.22092/ijfpr.2022.356906.2031>. (In Persian)

Sarah, R., Schmeer, S.K., Kampf Lee, H., MacDonald, J., & Hewitt, C.W. (2018). Empirical models of annual post-fire erosion on mulched and unmulched hillslopes. *Elsevier Catena*, 163, 276–287. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.029>.

Shakesby, R.A. (2011). Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews*, 105, 71–100.

Stoof, C.R., Vervoort, R., Iwema, J., Elsen, E., Ferreira, A., & Ritsema, C.J. (2012). Hydrological response of a small catchment burned by experimental fire. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(2) 267-285.



Effect of slope and different intensities of rainfall using rain simulator on runoff and soil loss one year after forest fire (Shenroud Forest, Guilan)

M. Alidoust¹, R. Naghdi^{2*}, M. Nikooy³, and H.R. Peyrowan⁴

¹Ph.D. Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh sara, I. R. Iran

²Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh sara, I. R. Iran

³Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh sara, I. R. Iran

⁴Associate Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran

(Received: 12 September 2023; accepted: 31 January 2024)

Abstract

Introduction: Forest fires is one of the most important environmental problems and often as an important driver in runoff generation and soil erosion in the forest. This study was conducted with the aim of investigating the mutual effect of slope and rainfall intensity on the runoff generation and soil loss in a burned forest using a rainfall simulator.

Material and Methods: This study was conducted in series 4 of Babakoh of the 25 Forestry Zone of Shenroud, Siahkal County, Guilan Province, where about 8(ha) of the forest area of this zone suffered from a relatively severe fire in 2019. The climate of the region is semi-humid and moderate, the minimum and maximum relative humidity varies between 70 and 90 percent, respectively. The height above the sea level is 350 meters, the slope direction is southwest, the annual rainfall is 1465 mm, the initial soil moisture is 16.46%, the texture of the soil is loamy sand. Changes in parameters of runoff volume, runoff coefficient, soil loss and sediment concentration due to changes with two treatments, slopes at two levels of 15 and 30% and rainfall intensity at three levels of 8.16, 7.16, and 4.13 mm min⁻¹ in the time of 6.26 min was investigated using a rainfall simulator. Analysis of variance of the parameters measured in the experiments was performed with three replications within 18 plots (25×25 cm) by using Komforest type rain simulator. Factorial analysis of variance was performed in the form of complete randomized design and comparison of the average interaction effects of treatments was performed with Duncan's method at the 95% confidence level.

Results: The results of analysis of variance showed that the interaction effect of slope treatments and rainfall intensity on the studied components is significant ($p \leq 0.05$). The highest amount of runoff volume was recorded in the treatment of rainfall intensity of 16.8 mm/min and slope of 30% with a value of 2418.33 ml and a runoff coefficient of 81.53% and the lowest one related to the treatment of rainfall intensity of 13.4 mm/min and slope of 15% was recorded with a value of 846 ml. The results of soil loss showed that the highest value was related to the rainfall intensity of 16.8 mm/min with a slope of 15% to the value of 11.06 gr and the lowest soil loss was 13.4 mm/min related to the intensity of rainfall and a slope of 30% to the value of 1.79 gr. The highest concentration of sediment was recorded at a slope of 15% and intensity of 13.4 mm/min.

Conclusion: This research showed that the total average volume of runoff increased by 17.61% in the period of one year after the fire in this area with the increase of slope from 15% to 30%. Also, in the rainfall intensity of 8.16 mm/min, as the maximum intensity in this research, the volume of runoff increased by 33.6% from the slope of 15 to 30%. The results of the study of soil loss showed that it had an average increase of 61.9% in the slope of 15% compared to 30%. Also, there was a 76% increase in the rainfall intensity treatment of 8.16 mm/min. These results indicate that the slope and intensity of rainfall are effective factors in the hydrological cycle and erosion in the forest area of this study after the fire.

Keywords: Forest fire, Runoff, Rain simulator, Soil erosion.