

اثرات آتش سوزی بر خصوصیات خاک، فرسایش و رژیم هیدرولوژی حوضه آبخیز دریاچه

زریبار

شیرکو ابراهیمی محمدی^{۱*} - محمود آذری^۲ - اسماعیل منوچهری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۱۶

چکیده

آتش سوزی یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب جنگل‌ها و مراتع کشور به خصوص اکوسیستم‌های حساس جنگل‌های بلوط زاگرس می‌باشد لذا در این پژوهش به کمک شبیه‌ساز باران و استقرار پلات‌های ۰/۲۵ متر مربعی در بخش‌های آتش گرفته و طبیعی کف پوش جنگلی در دو کلاس عمده شیب (کمتر از ۳۰ درصد و ۳۰ تا ۶۰ درصد) شرق حوضه آبخیز دریاچه زریبار در استان کردستان اثرات آتش سوزی بر وضعیت خاک سطحی (عمق ۵ سانتی‌متر) شامل بافت، ذخیره رطوبتی، درصد ماده آلی و درصد کربن آلی کل، آبگریزی، pH و EC و همچنین تولید روان آب و رسوب مطالعه گردید. میزان رطوبت نمونه‌ها به روش وزنی، pH و EC عصاره خاک توسط دستگاه پورتابل آزمایشگاهی، درصد کربن آلی کل و درصد مواد آلی به روش اکسیداسیون مرطوب اندازه‌گیری شدند. میزان روان آب و رسوب خروجی از پلات به مدت سی دقیقه، هر پنج دقیقه یکبار توسط بطری‌های پلاستیکی یک لیتری جمع‌آوری و حجم روان آب با استفاده از روش وزنی، غلظت رسوب معلق از روش خشک کردن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و نفوذپذیری و گیرش با ارزیابی بیلان آبی و با تفاضل آب نزولی بر پلات و روان آب ایجاد شده محاسبه شدند. نتایج بیانگر تأثیر آتش سوزی بر کاهش ذخیره رطوبتی، درصد ماده آلی و کربن آلی کل خاک و همچنین افزایش ناچیز pH و هدایت الکتریکی و از طرفی عدم تأثیر آتش سوزی بر بافت خاک در هر دو کلاس شیب بود. افزایش معنی‌دار آبگریزی خاک و روان آب در سطح اعتماد ۹۵٪ در هر دو کلاس شیب و رسوب در شیب‌های کمتر از ۳۰ درصد از دیگر اثرات آتش سوزی در منطقه مورد مطالعه بود.

واژه‌های کلیدی: آبگریزی، پلات فرسایشی، رسوب، روان آب، مواد آلی

مقدمه

مخریبی بر چرخه هیدرولوژی و هدررفت خاک دارد. از بین رفتن کامل پوشش گیاهی در اثر آتش سوزی ممکن است منجر به تخریب غیر قابل برگشت خاک در مناطق نیمه‌خشک شود (۳).

ملموس‌ترین تغییرات در جنگل‌های آتش گرفته در پوشش گیاهی و لاشبرگ آن صورت می‌گیرد که بسته به شدت آتش سوزی قسمتی یا تمامی آن‌ها از بین می‌روند. از بین رفتن پوشش گیاهی و لاشبرگ جنگل به طور موقت باعث کاهش یا توقف کامل تعرق، برگاب و ذخیره باران توسط تاج پوشش و همچنین لاشبرگ و پوشش کف جنگل می‌شود (۲۵ و ۳۱). به دلیل کاهش برگاب و زبری سطح زمین به واسطه سوختن لاشبرگ و پوشش گیاهی، سرعت و حجم روان آب سطحی افزایش می‌یابد. لخت شدن سطح خاک منجر به آسیب‌پذیری آن در مقابل فرسایش قطرات باران و نوسانات دمایی و رطوبتی خاک و همچنین فرسایش‌پذیرتر شدن سطح خاک شده که مجموع این تغییرات منجر به افزایش سریع و ناگهانی فرسایش خاک می‌شود (۳۴).

آتش سوزی بر بسیاری از خصوصیات فیزیکی (آب‌گریزی، پایداری

پوشش گیاهی به دلیل افزایش ضریب زبری و نفوذپذیری خاک و کاهش انرژی جنبشی قطرات باران، به عنوان فاکتور کلیدی در کنترل روان آب و حفاظت خاک شناخته شده است. تاج پوشش گیاهی مهم‌ترین پارامتر گیاهی برای فرسایش پاشمانی و بین شیباری می‌باشد درحالی که برای فرسایش شیباری و خندقی فصلی و موقت، ریشه گیاهان نیز به اندازه تاج پوشش گیاهی دارای اهمیت است (۱۴). آتش سوزی نه تنها باعث کاهش پوشش گیاهی، لخت شدن سطح خاک و آسیب‌پذیری در برابر برخورد قطرات باران می‌شود بلکه اثرات

۱- استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

* نویسنده مسئول: (Email: shirkoebrahimi@uok.ac.ir)

۲- استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- کارشناس ارشد آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی استان کردستان

اطلاعات مربوط به آستانه شروع روان‌آب در پلات‌های سوخته و شاهد را مقایسه نمودند. نتایج آنالیز آماری آن‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین پلات‌های تیمار و شاهد در آستانه شروع روان‌آب ($P=0.124$) بود، حال آن‌که اثر زمان بر آستانه شروع روان‌آب معنی‌دار ($P=0.007$) بود.

همچنین غلامی گوهره و همکاران (۱۰) با هدف بررسی تأثیر آتش‌سوزی مرتع بر نفوذ، روان‌آب و رسوب و اثر متقابل تیمار و زمان، با استفاده از شبیه‌ساز باران و شش پلات ۰/۲۵ متر مربعی در دو تیمار شاهد و مرتع آتش‌گرفته در مناطق بیلاقی کدیر استان مازندران، به مدت یک‌سال اقدام به برداشت داده‌های روان‌آب، رسوب خروجی از پلات نمودند. نتایج آن‌ها حاکی از افزایش به‌ترتیب ۱/۱۸، ۱/۵۲ برابری در تولید روان‌آب و رسوب و کاهش ۱/۰۱۴ برابری در میزان نفوذ در تیمار مرتع آتش‌گرفته بود.

در عرصه‌های منابع طبیعی غرب کشور به‌خصوص شهرستان مریوان نیز علی‌رغم آتش‌سوزی‌های مکرر مطالعات بسیار محدودی صورت گرفته است به عنوان نمونه رحیمی و اسماعیلی (۳۳) با استفاده از تصاویر MODIS، وضعیت سلامت، وسعت و تراکم گیاهان و همچنین پتانسیل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع مریوان را به کمک شاخص NDVI و همچنین داده‌های بارندگی و دما را مطالعه نمودند که نتایج آن‌ها حاکی از وجود ارتباط مستقیم میان تعداد و شدت آتش‌سوزی‌ها و مقادیر NDVI و حجم بارندگی‌ها بود. حسینی و حسینی (۱۹) به‌منظور بررسی تغییرات میزان عناصر غذایی ناشی از اثر آتش‌سوزی بر خاک منطقه جنگلی گاران مریوان، با آنالیز شیمیایی ۱۰ نمونه خاک از عمق صفر تا بیست سانتی‌متری از مناطق سوخته در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ و توده طبیعی بلوط ایرانی^۱ به‌عنوان شاهد، به این نتیجه رسیدند که مقدار کلسیم، منیزیم تبادل و هدایت الکتریکی در خاک‌های سوخته نسبت به شاهد افزایش یافته و هر چه سال وقوع آتش‌سوزی جدیدتر بود، این افزایش نیز بیشتر بود. همت بلند و همکاران (۱۷) به‌منظور مقایسه تأثیر آتش‌سوزی ۱/۳ هکتاری توده جنگلی در سال ۱۳۸۱ بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در دو عمق ۰ تا ۵ سانتی‌متر و ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر، اقدام به حفر پنج چاله در هر یک از تیمارهای آتش‌گرفته و شاهد نمودند که نتایج آن‌ها حاکی از اثر معنی‌دار آتش‌سوزی بر اغلب ویژگی‌های شیمیایی خاک سطحی از جمله افزایش اسیدیته، فسفر قابل جذب، هدایت الکتریکی و پتاسیم قابل جذب داشت. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات کوتاه مدت آتش‌سوزی بر خصوصیات خاک، فرسایش و رسوب‌گذاری جنگل‌های حوضه آبخیز زریبار انجام پذیرفت.

ساختمان، چگالی حجمی، pH، توزیع اندازه ذرات، رنگ و رژیم دمایی، شیمیایی (کمیت و کیفیت مواد آلی، قابلیت دسترسی عناصر غذایی، ظرفیت تبادل) و بیولوژیکی خاک (زیست‌توده میکروبی، اجتماع بی‌مهرگان خاک‌زیست و ترکیب آن‌ها) تأثیر می‌گذارد (۶). اثرات شدت آتش‌سوزی خود متاثر از دو پارامتر دمای بیشینه و مدت زمان آتش‌سوزی است. آتش‌سوزی جنگل‌ها نه‌تنها باعث کاهش پوشش گیاهی کف جنگل و در نتیجه لخت و آسیب‌پذیر شدن خاک در برابر اثر قطرات باران شده بلکه با افزایش آبریزی خاک و در نتیجه کاهش نفوذپذیری، اثرات مهمی بر وضعیت هیدرولوژیکی و هدررفت خاک دارد (۱۷). میزان تأثیر آتش‌سوزی بر فرسایش خاک بستگی به شدت آتش‌سوزی و خصوصیات بارش منطقه دارد.

مطالعات زیادی در خصوص تأثیر آتش‌سوزی بر افزایش آبریزی خاک (۷)، کاهش نفوذپذیری خاک (۱۷ و ۲۶) و افزایش روان‌آب و در نتیجه فرسایش خاک (۵، ۱۲، ۳۵ و ۳۷) صورت گرفته است. یکی از تأثیرات مستقیم آتش‌سوزی‌های متوسط بر خواص فیزیکی خاک، کاهش توانایی جذب آب از سطح به اعماق است. علل آبریز شدن خاک بر اثر آتش‌سوزی عبارتند از: بخارشدن و متراکم شدن بقایا در ذرات خاک با ترکیبات مشخص آلی، پلیمریزاسیون ملکول‌های آلی به انواع آبریزتر، پیوستگی بیش‌تر این ملکول‌ها به ذرات خاک و ذوب و توزیع مجدد موم درختان به داخل خاکدانه‌ها و ذرات معدنی خاک (۸، ۱۸، ۲۱ و ۳۶). مطالعات آزمایشگاهی حاکی از تأثیر دما و مدت زمان آتش‌سوزی بر فرایند آبریز شدن خاک دارد. تحقیقات مختلف حاکی از آبریزی نه‌تنها در خاک‌های شنی و شنی لومی بلکه حتی در خاک‌های لومی رسی شنی با بیش از ۴۰ درصد رس در جنوب شرق نیوساودولز استرالیا است (۹).

الگوی فرسایش خاک پس از آتش‌سوزی که پوشش محافظتی خاک در کم‌ترین حد و خاکستر فرسایش‌پذیر در بیش‌ترین حد می‌باشد، به‌صورت اوج بلند و سریع مطابق با اولین بارش بزرگ منطقه تغییر شکل می‌دهد. این اوج سریع فرسایش خاک بسته به شرایط و زمان برگشت منطقه به حالت اولیه پیش از آتش‌سوزی پس از چند ماه یا چند سال کاهش می‌یابد. در ابتدا فرسایش خاک به‌دلیل حداقل بودن لایه حفاظتی خاک و فراوانی حجم ذرات دانه‌ریز که به راحتی حمل می‌شوند، دارای محدودیت حمل است (۲۸) درحالی‌که به مرور زمان با تخلیه ذرات ریزدانه و باقی ماندن ذرات درشت دانه خاک، فرآیند فرسایش دچار محدودیت تولید رسوب می‌شود.

مرور منابع داخلی حاکی از وجود تعداد محدودی مطالعه صورت گرفته در ارتباط با اثرات آتش‌سوزی بر عرصه‌های منابع طبیعی کشور می‌باشد. به عنوان مثال صادقی و همکاران (۳۵) با هدف بررسی آستانه شروع روان‌آب در دو تیمار مرتعی با و بدون آتش‌سوزی تجویز شده در منطقه بیلاقی کدیر استان مازندران، در فصل تابستان با استفاده از باران‌ساز مصنوعی و شش پلات با ابعاد ۰/۲۵ متر مربعی،

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز دریاچه زریبار در غرب شهرستان مریوان در استان کردستان حد فاصل طول جغرافیایی $35^{\circ} 31' 30''$ تا $46^{\circ} 03' 52''$ و عرض جغرافیایی $35^{\circ} 37' 06''$ شمالی واقع شده شرقی و عرض $35^{\circ} 31' 30''$ تا $35^{\circ} 37' 06''$ شمالی واقع شده است. حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه به ترتیب $1260/93$ و $1986/83$ متر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. منطقه مورد مطالعه شامل یک حوضه آبخیز داخلی است که زهکش ارتفاعات اطراف وارد دریاچه زریبار می‌گردد. دریاچه زریبار با مساحت $2441/1$ هکتار و محیط $27/1$ کیلومتر در بخش مرکزی آبخیز با امتداد تقریباً شمالی-جنوبی قرار گرفته که طول آن حدود 8590 متر و عرض آن در قسمت مرکزی دریاچه در حدود 2556 متر برآورد گردیده است. از دریاچه به سمت ارتفاعات، اراضی زراعی در مناطق مسطح‌تر به دلیل دسترسی به آب دریاچه، به صورت آبی و به سمت دامنه ارتفاعات به دلیل ریزش‌های جوی مناسب در منطقه، تحت کشت دیم قرار می‌گیرند (شکل‌های ۱ و ۲).

ارتفاعات منطقه پوشیده از درختان جنگلی بلوط ایرانی است که با تراکم‌های متفاوت به چشم می‌خورد، این اراضی جنگلی به دلیل شرایط بهره‌برداری نادرست و به دلیل شرایط خاک، سازند و توپوگرافی در برخی دامنه‌ها بسیار تنک شده‌اند. زیر اشکوب جنگلی شامل گونه‌های *Poa*، *Festuca*، *Astragalus* و *Bromus* است (۲۳).

بر اساس روش آمبرژه، اقلیم منطقه مورد پژوهش نیمه‌خشک سرد می‌باشد. منطقه دارای دوره مرطوب طولانی بوده که از اوایل مهر ماه آغاز و در اواسط خرداد ماه به پایان می‌رسد. هم‌چنین دوره خشکی در این منطقه از اواسط خرداد شروع شده و تا اوایل مهر ماه ادامه دارد. متوسط بارش سالیانه منطقه بر اساس دوره آماری ۲۰ ساله از ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۱ ایستگاه سینوپتیک مریوان، $904/8$ میلی‌متر است. دمای متوسط سالانه حوضه $13/6$ درجه سانتی‌گراد و متوسط تبخیر از تشت در ایستگاه سینوپتیک مریوان، 1676 میلی‌متر می‌باشد.

روش پژوهش

با توجه به اهمیت تاثیر شیب در پاسخ‌های هیدرولوژیک حوضه، اقدام به تهیه نقشه کلاس‌های شیب منطقه شد. لذا مشخص گردید که آتش‌سوزی تابستان ۱۳۹۰ در دو کلاس شیب ۰-۳۰ درصد و ۳۰-۶۰ درصد و در کاربری جنگل اتفاق افتاده است. لذا با ۱۲ بار استقرار پلات مربعی با ابعاد $0/5 \times 0/5$ متر (10 ، 13 ، 29 و 30) در این دو کلاس شیب در قسمت‌های آتش‌گرفته و طبیعی در سه تکرار، اقدام به بررسی اثرات آتش‌سوزی بر خصوصیات هیدرولوژیک و فرسایش و رسوب محل گردید. در هر دو کلاس شیب ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰

۶۰ درصد و در هر دو حالت آتش‌گرفته و طبیعی، اولین پلات به صورت تصادفی و دو پلات دیگر ضمن لحاظ شرایط مشابه، در فاصله $1/5$ متری از همدیگر مستقر شدند. سپس با استفاده از آب‌پاش باغی^۱ پمپی با فشار دائم (۲۰) از ارتفاع نیم‌متری مبادرت به نزول بارش مصنوعی به مدت نیم ساعت با شدت حدود ۲ میلی‌متر در دقیقه و قطر قطرات حدود ۱ میلی‌متر متناسب با شرایط عمومی بارش منطقه گردید. فشار آب‌پاش به وسیله یک پمپ پیستونی دستی تامین شده و پس از پر کردن ۱۵ لیتر از مخزن ۲۰ لیتری آب‌پاش از آب، تلمبه زده و هوا تحت فشاری در حدود ۵ تا ۶ اتمسفر در داخل مخزن (در بالای مایع) حبس شده و پس از باز کردن شیر خروجی آب، آب‌پاشی انجام پذیرفت. میزان روان‌آب و رسوب خروجی از پلات به مدت سی دقیقه، هر پنج دقیقه یکبار توسط بطری‌های پلاستیکی یک لیتری جمع‌آوری گردید. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، حجم روان‌آب با استفاده از روش وزنی و غلظت رسوب معلق از روش برجاگذاری و تخلیه آب تعیین گردید (۳۹). مقدار نفوذپذیری و برگاب با ارزیابی بیلان آبی و با تفاضل آب نزولی بر پلات و روان‌آب ایجاد شده محاسبه شد. هم‌چنین در دو کلاس شیب، چهار نمونه در سه تکرار از خاک قسمت‌های سوخته و طبیعی منطقه توسط سیلندرهای استوانه‌های به روش مته‌ای^۲ جهت بررسی اثر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های مختلف خاک سطحی به عمق ۵ سانتی‌متر، برداشت گردید به طوری که نمونه‌های ۱ و ۲ در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد و نمونه‌های ۳ و ۴ در کلاس شیب ۰ تا ۳۰ درصد به ترتیب در عرصه‌های سوخته و طبیعی برداشت و در آزمایشگاه پس از تعیین بافت، میزان رطوبت نمونه‌ها به روش وزنی، pH و EC عصاره خاک توسط دستگاه پورتابل آزمایشگاه، درصد کربن آلی و درصد مواد آلی به روش اکسیداسیون مرطوب اندازه‌گیری شدند. جهت بررسی آبگریزی سطح خاک^۳ بر اثر آتش‌سوزی، زمان نفوذ قطره آب^۴ (۲۴) در دو تیمار آتش‌گرفته و طبیعی در دو شیب مختلف سنجش گردید.

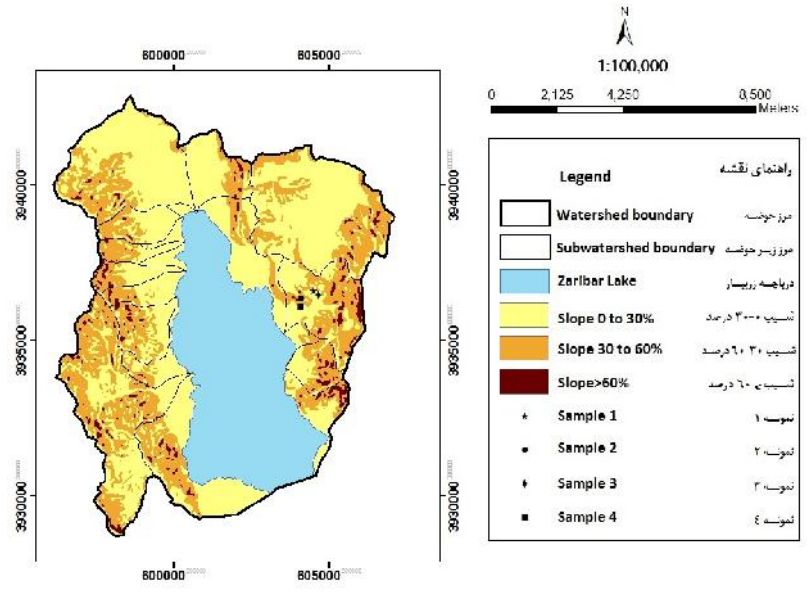
داده‌های صحرایی به‌دست آمده برای ترسیم جداول و نمودارهای لازم وارد نرم افزار Excel 2010 شدند و تجزیه و تحلیل آماری مقایسه میانگین آبگریزی خاک، روان‌آب و رسوب دو تیمار آتش‌گرفته و طبیعی توسط آزمون t مستقل و آزمون تساوی واریانس‌ها توسط آزمون Levene به کمک نرم‌افزار SPSS 21 انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

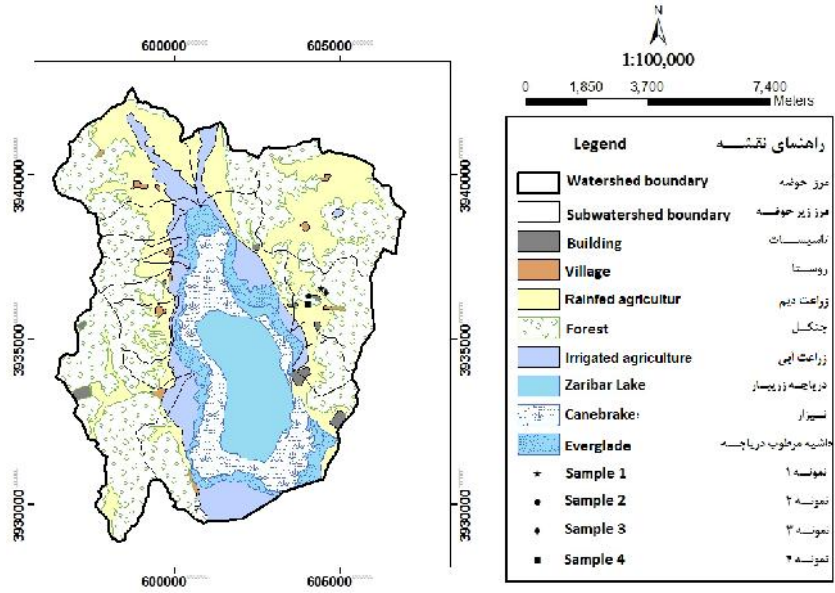
- 1- Garden Spray Simulator
- 2- Core Method or Auger Drilling Method
- 3- Water Repellency
- 4- Water Drop Penetration Times (WDPT)

عرصه‌های ملی این شهرستان مربوط به سال ۱۳۸۹ بود (۱۴۲ مورد با وسعت ۹۲۶/۷ هکتار) که علی‌رغم کاهش تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌ها در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱، مجدداً در دو سال گذشته آتش‌سوزی‌ها روند صعودی داشته است (شکل ۳).

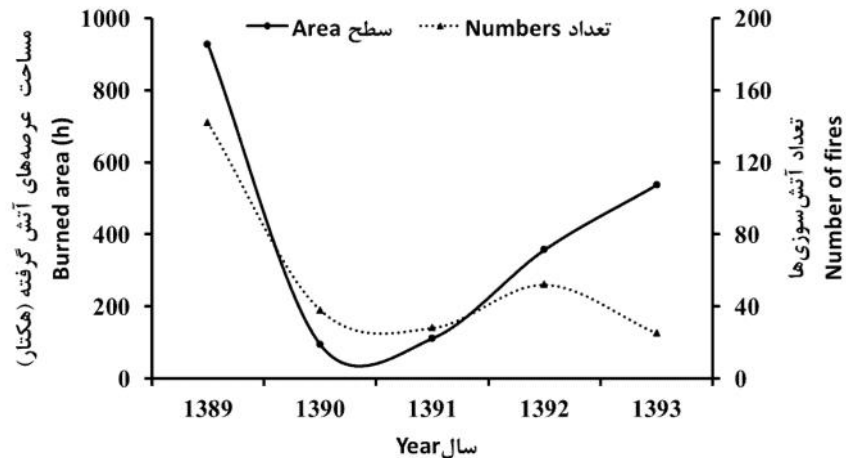
تعداد و سطح آتش‌سوزی عرصه‌های طبیعی منطقه
با بررسی آمار و اطلاعات دریاقتی از اداره کل منابع طبیعی استان کردستان در خصوص آتش‌سوزی‌های پنج سال اخیر شهرستان میروان مشخص شد که بیش‌ترین وسعت و تعداد آتش‌سوزی‌های



شکل ۱- نقشه شیب حوضه آبخیز دریاچه زریبار و موقعیت پلاتها و نقاط نمونه‌برداری
Figure 1- Slope map of Zarivar Lake watershed, plots location and sampling points



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز دریاچه زریبار و موقعیت پلاتها و نقاط نمونه‌برداری
Figure 2- Landuse map of Zarivar Lake watershed, plots location and sampling points



شکل ۳- تعداد و سطح آتش‌سوزی‌های منابع طبیعی مریوان بین سالهای ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳
Figure 3- Number and area of burned Marivan natural resources between 2010 and 2014

است که pH خاک سطحی بعد از آتش‌سوزی می‌تواند به اندازه سه واحد افزایش یابد. این افزایش اساساً به دلیل تولید اکسیدهای سدیم و پتاسیم، هیدروکسیدها و کربنات‌ها می‌باشد که در طول فصل مرطوب از بین می‌روند (۳۸). مقادیر هدایت الکتریکی تیمارهای آتش‌گرفته و طبیعی در شیب‌های کم‌تر از ۳۰ درصد به ترتیب ۰/۲۹۸، ۰/۲۲۵ و در شیب‌های ۳۰ تا ۶۰ درصد به ترتیب ۰/۲۵۶ و ۰/۲۰۴ دسی‌زیمنس بر متر^۲ بود که نشان دهنده افزایش به‌ترتیب ۰/۰۷۳ و ۰/۰۵۲ واحدی در این دو کلاس شیب بود. هدایت الکتریکی در نتیجه انتشار یون‌های غیرآلی (۱۶) هنگام سوختن ماده آلی، به طور موقت افزایش می‌یابد. بر اثر آتش‌سوزی، میزان ماده آلی و کربن آلی کل خاک کاهش یافتند به‌طوری‌که در کلاس شیب ۰ تا ۳۰ درصد ماده آلی و کربن آلی کل ۲۴ درصد و در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد حدود ۲۹ درصد کاهش یافتند (۱۱). اثرات آتش‌سوزی در سطح خاک منطقه مورد مطالعه به صورت خاکستر^۳ سیاه دیده شد که بیانگر شدت آتش‌سوزی کم تا متوسط است زیرا رنگ خاکستر نشان‌دهنده میزان شدت آتش‌سوزی و معیاری برای میزان هدررفت مواد آلی است، به‌طوری‌که در آتش‌سوزی‌های با شدت کم تا متوسط، خاک با لایه‌ای از خاکستر سیاه پوشیده می‌شود و تا زمان رشد و تجمع دوباره پوشش گیاهی باقی می‌ماند اما در آتش‌سوزی‌های شدید، رنگ خاکستر، خاکستری روشن و متمایل به سفید خواهد بود (۲۲). خصوصیات خاکستر بستگی به شدت آتش‌سوزی گیاهان، نوع گونه‌های گیاهی سوخته و رطوبت دارد (۴). مواد آلی خاک شامل کل اجزای ترکیبات آلی از قبیل هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و هم‌چنین کربن است، لذا کربن آلی کل

وضعیت خاک سطحی

نتایج تعیین بافت خاک سطحی حاکی از درشت دانه‌تر بودن بافت خاک در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد نسبت به کلاس شیب ۰ تا ۳۰ درصد بود به‌طوری‌که بافت خاک شیب‌های بالاتر از ۳۰ درصد لوم شنی و در کلاس خاک‌های درشت دانه بوده درحالی‌که بافت خاک شیب‌های زیر ۳۰ درصد لوم رسی شنی و لوم شنی و در کلاس خاک‌های دانه متوسط بود (جدول ۱). بر اساس یافته‌های این پژوهش، آتش‌سوزی تغییری در بافت خاک در هیچ‌کدام از کلاس‌های شیب ایجاد نکرد لذا می‌توان گفت توزیع اندازه ذرات به طور مستقیم تحت تاثیر آتش‌سوزی نبود (۳۲)، اما در سطوح پرشیب، حذف انتخابی ذرات ریزدانه از طریق فرسایش منجر به درشت دانه شدن خاک شده است (۲۷). مقایسه ذخیره رطوبتی خاک در تیمارهای آتش‌گرفته و طبیعی در هر دو کلاس شیب بیانگر کاهش ذخیره رطوبتی خاک بر اثر حرارت ناشی از آتش‌سوزی از ۴۶ درصد در شیب‌های زیر ۳۰ درصد تا ۶ درصد در شیب‌های ۳۰ تا ۶۰ درصد بود.

pH خاک‌های آتش‌گرفته و طبیعی در شیب‌های زیر ۳۰ درصد به ترتیب ۷/۰۳ و ۶/۹۸ بود که نشان‌دهنده افزایش ۰/۷۱ درصدی معادل ۰/۰۵ واحد و در خاک‌های آتش‌گرفته و طبیعی در شیب‌های ۳۰ تا ۶۰ درصد به ترتیب ۷/۵۷ و ۶/۶۶ بود که نشان از افزایش ۱۲ درصدی معادل ۰/۹۱ واحد داشت. افزایش pH ناشی از تخریب ساختار اسیدهای آلی^۱ بر اثر حرارت ناشی از آتش‌سوزی می‌باشد اما افزایش‌های قابل ملاحظه pH تنها در دماهای بالا (بیش از ۴۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) هم‌زمان با سوختن کامل گیاهان اتفاق می‌افتد (۱). تجزیه و تحلیل خاک‌های با لیتولوژی‌های مختلف نشان داده

2- Decisiemens per metre (dS m-1)

3- Ash

1- Organic Acids Denaturation

عبارت است از میزان کربن موجود در مواد آلی خاک. میکروارگانسیم‌های خاک، با شکستن کربن آلی خاک به عنوان منبع غذایی، به حیات خود ادامه می‌دهند. سرعت این فرآیند در خاک‌های گرم و مرطوب بیش‌تر است. کربن آلی خاک به طور مستقیم بر بسیاری از ویژگی‌های خاک از جمله رنگ، ظرفیت نگهداری عناصر غذایی (ظرفیت تبادل آنیون‌ها و کاتیون‌ها)، پایداری و گردش عناصر غذایی و به طور غیرمستقیم بر نگهداری آب در خاک، تهویه و کارایی خاک اثر می‌گذارد.

جدول ۱- مقایسه وضعیت خاک سطحی (۵ سانتی‌متر) در پلات‌های آتش‌گرفته و طبیعی در دو کلاس شیب مختلف

Table 1- Compare topsoil characteristics (5 cm) in both burned and natural plots in two different slope classes

تیمارها Treatments	بافت خاک Soil Texture	رطوبت خاک (درصد) Soil Moisture (%)		pH	EC	کربن آلی کل (%) Total Organic Carbon (%)	ماده آلی (%) Organic Matter (%)
شیب 0-30% Slope	آتش‌گرفته Burned	Sandy Clay Loam	2.03	7.03	0.298	1.65	2.83
	طبیعی Natural	Loamy Sand	3.75	6.98	0.225	2.17	3.74
شیب 30-60% Slope	آتش‌گرفته Burned	Sandy Loam	2.34	7.57	0.256	1.48	2.55
	طبیعی Natural	Sandy Loam	2.49	6.66	0.204	2.08	3.59

جدول ۲- زمان نفوذ قطره آب به ثانیه در پلات‌های آتش‌گرفته و طبیعی

Table 2- Water Drop Penetration Times (WDPT) in burned and natural plots

آزمون Test	شیب 30-60%		شیب 0-30%	
	طبیعی		طبیعی	
	آتش‌گرفته	طبیعی	آتش‌گرفته	طبیعی
1	5.6	1.5	1.4	0.7
2	4.2	1.7	0.8	0.6
3	4.7	1.4	2	1.2
4	6.9	1.1	1.2	1.2
5	2.9	0.9	0.9	0.6
6	2.7	1	1.3	0.6
7	2.9	0.8	1	0.5
8	5.9	0.5	1.2	0.4
9	3.9	0.8	1.8	0.7
10	5.5	0.7	0.8	0.5

اعداد بیانگر میانگین زمان نفوذ قطره آب در سه تکرار در تیمارها می‌باشند

Numbers represent the average water drop penetration time with three replications in treatments

می‌رود (۲۱).

تغییر رفتار هیدرولوژیک

نفوذ و برگاب، روان‌آب و رسوب

نتایج بررسی مجموع میزان نفوذپذیری خاک و برگاب^۱ حاکی از کاهش میزان آن در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد نسبت به کلاس ۰ تا ۳۰ درصد در هر دو حالت آتش‌گرفته (با تفاوت میانگین مجموع نفوذ و برگاب ۵۲۶/۷ میلی‌لیتر در دقیقه) و طبیعی (با تفاوت میانگین مجموع نفوذ و برگاب ۳۷۷ میلی‌لیتر در دقیقه) بود (۱۰، ۱۷ و ۲۶)، که دلیل آن تندتر بودن شیب و عدم فرصت کافی جهت نفوذ بود. در عین حال، به‌طور کلی در هر دو کلاس شیب روند کاهش مجموع

آب‌گریزی

در منطقه مورد مطالعه با توجه به رنگ بقایای سوخته گیاهان، آزمون نفوذ قطره آب صرفاً بر روی سطح خاک صورت گرفت. نتایج آزمون t مستقل مربوط به زمان نفوذ قطره آب در هر دو کلاس شیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در تیمارهای آتش‌گرفته و طبیعی بود (۸)، به‌طوری‌که در کلاس شیب ۰ تا ۳۰ درصد، میانگین زمان نفوذ قطره آب در تیمارهای آتش‌گرفته و طبیعی به ترتیب ۱/۲۴ و ۰/۷۰ ثانیه بود که با $t=3/466$ در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۳ معنی‌دار تشخیص داده شدند، همچنین در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد با میانگین به ترتیب ۴/۵۲ و ۱/۰۴ ثانیه با $t=7/364$ در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰ معنی‌دار تشخیص داده شد (جدول ۲ و ۳). عمق منطقه غیرقابل نفوذ خاک بر اثر آتش‌سوزی، تابع دما و ویژگی‌های خاک مانند رطوبت و توزیع اندازه ذرات است اما در مجموع به ندرت از ۳ سانتی‌متر فراتر

1- Interception

شیب ۰ تا ۳۰ درصد افزایش بیش تری در نرخ روان آب و رسوب نسبت به کلاس ۳۰ تا ۶۰ درصد روی داده است که خود بیانگر وجود شیب بحرانی در این کلاس شیب است.

به طور کلی می توان گفت روان آب در تیمارهای آتش گرفته و طبیعی در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد پس از افزایش ناگهانی در ابتدای شروع آزمایش که مشخصه وقوع روان آب در شیب های تند است، با نوساناتی آرام به تدریج پس از رسیدن نفوذپذیری خاک به ثابت نفوذ، به مقادیر ثابتی می رسد درحالی که مقادیر رسوب خروجی از پلات ها پس از افزایش ناگهانی و رسیدن به اوج خود پس از پنج دقیقه از شروع آزمایش (۲ و ۹۸/۰ گرم به ترتیب در تیمارهای آتش گرفته و طبیعی) با شیب تندی در هر دو تیمار آتش گرفته و طبیعی کاهش یافت. منحنی های تغییرات رسوب پس از ۲۰ دقیقه از شروع آزمایش در هر دو تیمار آتش گرفته و طبیعی به مقادیر ثابتی می رسند (شکل ۵)، لذا با فرض صد در صد بودن نسبت تحویل رسوب پلات های مورد استفاده در این مطالعه به دلیل کوچکی آن ها و نسبت دادن میزان رسوب خروجی از هر پلات به سطح پلات در بازه های پنج دقیقه ای و محاسبه میزان فرسایش خاک (شکل ۶) می توان نتیجه گرفت که در این کلاس شیب پس از ۲۰ دقیقه از شروع آزمایش، به دلیل کاهش توان حمل و همچنین موجودیت رسوب در سطح پلات های آتش گرفته و طبیعی، مقادیر رسوب خروجی ثابت شده اند. همچنین نتایج حاکی از رسیدن اوج میزان فرسایش در این کلاس شیب به ۹۹ و ۴۷/۳ گرم در متر مربع در ساعت به ترتیب در تیمارهای آتش گرفته و طبیعی پنج دقیقه پس از شروع آزمایش بود اما در کلاس شیب ۰ تا ۳۰ درصد به طور کلی روان آب خروجی از پلات ها روند افزایشی آرامی داشته و مقدار رسوب خروجی از پلات طبیعی (شاهد) بسیار اندک بود و به نظر می رسد مدت انجام آزمایش (۳۰ دقیقه) برای تشخیص زمان کاهش موجودیت رسوب در این کلاس شیب کافی نبوده است. همچنین نتایج حاکی از رسیدن اوج میزان فرسایش در این کلاس شیب به ۹ و ۱/۶۴ گرم در متر مربع در ساعت به ترتیب در تیمارهای آتش گرفته و طبیعی، ده دقیقه پس از شروع آزمایش بود.

نتایج آزمون Levene حاکی از عدم تساوی میانگین واریانس ها و آزمون t مستقل بیانگر تفاوت معنی دار میانگین روان آب با سطح معنی داری ۰/۰۰۰ در سطح اعتماد ۹۵٪ در هر دو کلاس شیب بود (۵، ۱۰، ۱۲، ۳۵ و ۳۷). همچنین در کلاس شیب ۰ تا ۳۰ درصد با سطح معنی داری ۰/۰۱۲ مقادیر میانگین رسوب خروجی از پلات های آتش گرفته و طبیعی در سطح اعتماد ۹۵٪ دارای اختلاف معنی دار بودند.

نفوذ و برگاب از ابتدا تا انتهای آزمایش (به مدت سی دقیقه) مشاهده گردید به طوری که در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد تغییرات مجموع نفوذ و برگاب در زمان دارای نوسانات بیش تری (با ضرایب تعیین ۰/۱ و ۰/۴۶۵ به ترتیب در تیمارهای آتش گرفته و طبیعی) نسبت به کلاس شیب ۰ تا ۳۰ درصد (با ضرایب تعیین ۰/۶۷ و ۰/۸۲ به ترتیب در تیمارهای آتش گرفته و طبیعی) بود.

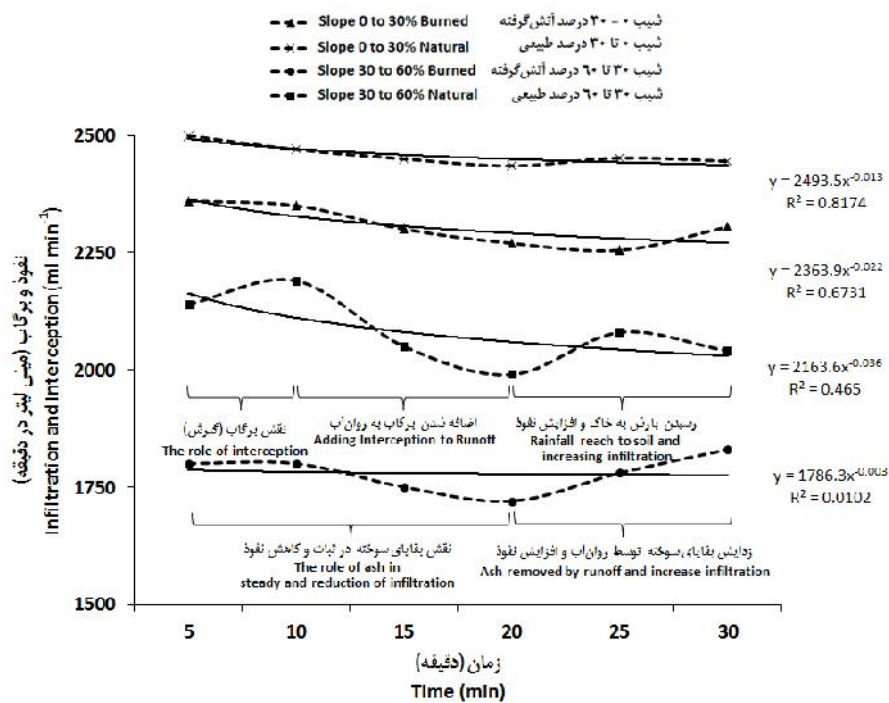
شکل ۴ تغییر رفتار هیدرولوژیک ناشی از آتش سوزی کف پوش جنگلی در منطقه مورد مطالعه را به خوبی نشان می دهد. به عنوان نمونه در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد در تیمار آتش گرفته مشاهدات دقیقی حین انجام آزمایش ها و داده های برداشتی حاکی از نقش بقایای سوخته کف پوش جنگلی (خاکستر) در ثابت نگه داشتن نفوذ از ابتدای شروع آزمایش تا ده دقیقه اول و کاهش نفوذپذیری پس از آن به مدت ده دقیقه به دلیل چسبیدگی خاکستر به سطح خاک بود که در نهایت به دلیل زدایش نسبی خاکستر از سطح خاک، شاهد افزایش نفوذپذیری در ده دقیقه آخر آزمایش بودیم که مشابه همین روند افزایشی در پنج دقیقه آخر آزمایش در تیمار آتش گرفته در کلاس شیب ۰ تا ۳۰ درصد مشاهده گردید. اما نتایج آزمون در پلات های شاهد (طبیعی) بیانگر افزایش برگاب و کاهش روان آب در ده دقیقه اول آزمایش به دلیل وجود تاج پوشش متراکم گیاهی بود که در ده دقیقه دوم به دلیل سرریز شدن برگاب و ریزش آن، شاهد افزایش روند کاهش نفوذ و افزایش روان آب بودیم که در ده دقیقه سوم به دلیل رسیدن قطرات باران به سطح خاک، نفوذپذیری روند افزایشی نسبی را نشان داد.

نتایج بررسی اثر افزایش شیب بر تغییر میزان روان آب و رسوب حاکی از چند برابر شدن روان آب و رسوب با افزایش شیب می باشد (۵، ۱۰ و ۳۷) به طوری که در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد نسبت به کلاس شیب ۰ تا ۳۰ درصد، در پلات های آتش گرفته و طبیعی روان آب به ترتیب ۳/۷۲ و ۱۰ برابر و رسوب به ترتیب ۵/۲ و ۲۳ برابر شد. همچنین نتایج بررسی اثر آتش سوزی بر تغییر روان آب و رسوب حاکی از چندین برابر شدن روان آب و رسوب پلات ها به دلیل آتش سوزی بود (۱۰)، به طوری که شاهد ۴/۷ و ۸/۷۵ برابر شدن به ترتیب میانگین روان آب و رسوب در کلاس شیب ۰ تا ۳۰ درصد و همچنین ۱/۷۲ و ۱/۹۶ برابر شدن به ترتیب میانگین روان آب و رسوب در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد بودیم (شکل ۵). نتایج بیانگر این واقعیت است که مقدار روان آب تولیدی با افزایش تندی شیب، افزایش می یابد اما نرخ این افزایش با زیاد شدن شیب به تدریج کاهش می یابد لذا یک شیب بحرانی برای وقوع حداکثر فرسایش وجود دارد که هیچگاه یک عدد ثابت نیست بلکه بسته به شرایط بارش و نوع خاک تغییر می کند (۲ و ۱۵). لذا مشخص شد بر اثر آتش سوزی در کلاس

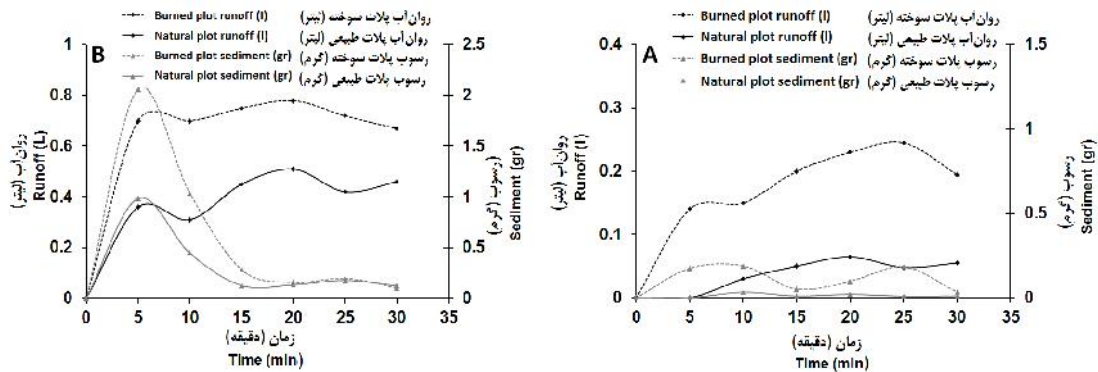
جدول ۳- شاخص‌های توصیفی (A) و نتایج آزمون t مستقل زمان نفوذ قطره آب در پلات‌های آتش گرفته و طبیعی (B)
Table 3- Basic statistics (A) and water drop penetration time independent t-test result of burn and natural plots (B)

شیب Slope	تیمار Treatments	تعداد قطرات Drop Numbers	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation	میانگین خطای انحراف معیار Standard Deviation Mean Error
%30-0	سوخته Burned	30	1.24	0.406	0.128
	طبیعی Natural	30	0.70	0.278	0.088
%60-30	سوخته Burned	30	4.52	1.444	0.456
	طبیعی Natural	30	1.04	0.383	0.121

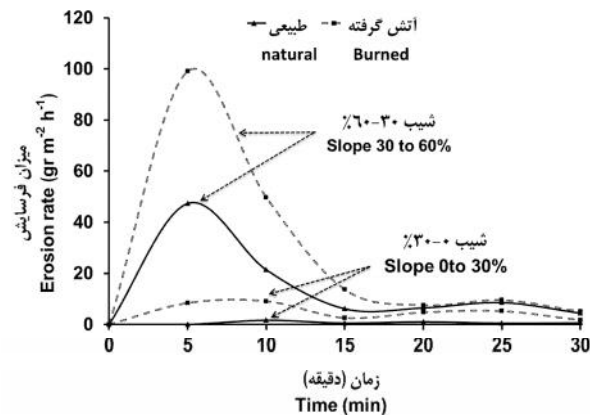
شیب Slope	آزمون Levene جهت مقایسه واریانس‌ها Levene test for variance comparison		آزمون t جهت مقایسه میانگین‌ها Independent t test for mean comparison		
	مقدار F	سطح معنی داری Sig	t	درجه آزادی df	سطح معنی داری Sig
%30-0	1.257	0.277	3.466	18	0.003
%60-30	15.071	0.001	7.364	10.263	0.000



شکل ۴- تغییرات رفتار هیدرولوژیک (نفوذ و برگاب) در تیمارهای آتش گرفته و طبیعی در دو کلاس شیب
Figure 4- Changes in the hydrological behavior (infiltration and interception) in burned and natural plots in two slope classes



شکل ۵- تغییرات روان آب و رسوب در دو تیمار آتش گرفته و طبیعی در شیب‌های ۰-۳۰٪ (A) و ۳۰-۶۰٪ (B)
 Figure 5- Runoff and sediment variations in burned and natural plots in slopes of 0-30% (A) and 30-60% (B)



شکل ۶- تغییرات میزان فرسایش در پلات‌های آتش گرفته و طبیعی در دو شیب مختلف تحت بارش شبیه سازی شده
 Figure 6- Soil erosion rates variations of burned and natural plots in two different slopes using rainfall simulator

جدول ۴- نتایج آزمون t مستقل جهت مقایسه میانگین روان آب (A) و رسوب (B) تیمارهای آتش گرفته و طبیعی در دو کلاس شیب
 Table 4- Results of t-test to compare the average runoff (A) and Sediment (B) burned and natural in two classes slope plots

A	شیب Slope	آزمون Levene جهت مقایسه واریانس‌ها Levene test for variance comparison		آزمون t جهت مقایسه میانگین‌ها Independent t test for mean comparison		
		مقدار F	سطح معنی داری Sig	t	درجه آزادی df	سطح معنی داری Sig
	%30-0	1.894	0.199	7.768	10	0.000
	%60-30	1.927	0.195	8.950	10	0.000

B	شیب Slope	آزمون Levene جهت مقایسه واریانس‌ها Levene test for variance comparison		آزمون t جهت مقایسه میانگین‌ها Independent t test for mean comparison		
		مقدار F	سطح معنی داری Sig	t	درجه آزادی df	سطح معنی داری Sig
	%30-0	31.913	0.000	3.752	5.287	0.012
	%60-30	3.639	0.086	0.887	10	0.296

مقادیر غلظت رسوب خروجی از پلات‌های آتش گرفته و طبیعی (سطح معنی داری ۰/۳۹۶) در این کلاس شیب وجود نداشت که به نظر

اما در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد علی‌رغم تفاوت زیاد غلظت رسوب در ابتدای شروع آزمایش، اختلاف معنی داری بین میانگین

نفوذ قطره آب در تیمارهای آتش‌گرفته و طبیعی به ترتیب ۱/۲۴ و ۰/۷۰ ثانیه و در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد به ترتیب ۴/۵۲ و ۱/۰۴ ثانیه بود که بر اساس آزمون t مستقل به ترتیب با $t=۳/۴۶۶$ در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰، تفاوت معنی‌داری ۰/۰۰۳ و $t=۷/۳۶۴$ در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰، تفاوت معنی‌داری در تیمارهای آتش‌گرفته و طبیعی معنی‌دار تشخیص داده شدند. نتایج آزمون Levene و آزمون t مستقل بیانگر تفاوت معنی‌دار میانگین روان‌آب در سطح اعتماد ۹۵٪ در هر دو کلاس شیب بود. در شیب کم‌تر از ۳۰ درصد با سطح معنی‌داری ۰/۰۱۲ میانگین رسوب پلات‌های آتش‌گرفته و طبیعی دارای اختلاف معنی‌دار بودند اما در کلاس شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد علی‌رغم تفاوت زیاد غلظت رسوب خروجی از پلات‌های آتش‌گرفته و طبیعی در ابتدای شروع آزمایش، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در مجموع می‌توان جمع‌بندی نمود که آتش‌سوزی منجر به تغییر مؤلفه‌های هیدرولوژی و در نتیجه میزان فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز خواهد شد و این تغییرات تا احیاء مجدد پوشش گیاهی منطقه ادامه خواهد داشت لذا در ادامه این پژوهش، بررسی اثرات آتش‌سوزی در دوره‌های مختلف زمانی تا احیاء کامل پوشش گیاهی توصیه می‌گردد.

می‌رسد دلایل آن، حذف پوشش گیاهی و در نتیجه سهم برگ‌آب، وجود خاکستر و آبگریزی خاک سطحی، کاهش توان حمل و در نهایت درشت‌دانه بودن بافت خاک (sandy loam) تیمارهای آتش‌گرفته و طبیعی باشد که روان‌آب پس از پنج دقیقه از شروع آزمایش تقریباً به مقادیر ثابتی می‌رسد و غلظت رسوب خروجی نیز پس از افزایش ناگهانی، روند کاهش داشته و در نهایت به مقدار ثابتی می‌رسد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استقرار پلات‌های $۵ \times ۵ \times ۰/۵$ متر در قسمت‌های آتش‌گرفته و طبیعی کف‌پوش جنگلی در شیب‌های ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ درصد حوضه آبخیز دریاچه زریبار در استان کردستان اثرات آتش‌سوزی بر وضعیت خاک و تولید روان‌آب و رسوب مطالعه گردید. نتایج بیانگر عدم تأثیرپذیری بافت خاک از آتش‌سوزی به دلیل کم‌تا متوسط بودن شدت حرارت بود اما آتش‌سوزی باعث کاهش ۴۶ و ۶ درصدی ذخیره رطوبتی خاک و همچنین کاهش ۲۴ و ۲۹ درصدی ماده آلی و کربن آلی کل خاک به ترتیب در کلاس‌های شیب زیر ۳۰ درصد و ۳۰ تا ۶۰ درصد شد. افزایش ناچیز pH و هدایت الکتریکی از دیگر اثرات آتش‌سوزی بود. در شیب کم‌تر از ۳۰ درصد میانگین زمان

منابع

- 1- Arocena J.M., and Opio C. 2003. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma* 113: 1–16.
- 2- Assouline S., and Ben-Hur M. 2006. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *CATENA* 66(3): 211–220.
- 3- Baldock J.A., and Smernik R.J. 2002. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry* 33: 1093–1109.
- 4- Bodí M.B., Martín D.A., Balfour V.N., Santín C., Doerr S.H., Pereira P., Cerdà A., and Mataix-Solera J. 2014. Wildland fire ash: Production, composition and eco-hydro-geomorphic effects, *Earth-Science Reviews* 130: 103–127.
- 5- Cerdà A., and Doerr S.H. 2005. Influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire: An eleven year investigation, *International Journal of Wildland Fire* 14(4): 423–437.
- 6- Certini G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review, *Oecologia* 143: 1–10.
- 7- DeBano L.F. 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology* 231–232, 195–206.
- 8- Doerr S.H., Shakesby R.A., and Walsh R.P.D. 2000. Soil water repellence: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews* 51: 33–65
- 9- Doerr S.H., Shakesby R.A., Blake W.H., Chafer C.J., Humphreys G.S., and Wallbrink P.J. 2006. Effects of different wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response. *Journal of Hydrology* 319: 295–311.
- 10- Gholami Gohareh R., Sadeghi S.H.R., Mirnia S.Kh., and Soleimankhani Z. 2012. Effects of Light Firing on Infiltration, Runoff and Sediment in Rangeland in Kodir Area, Iran. 5(17): 23–32. (In Persian with English abstract)
- 11- Gimeno-García E., Andreu V., and Luis Rubio J. 2007. Influence of vegetation recovery on water erosion at short and medium-term after experimental fires in a Mediterranean shrubland. *Catena* 69: 150–160.
- 12- Glenn N.F., Finley C.D. 2010. Fire and Vegetation Type Effects on Soil Hydrophobicity and Infiltration in the Sagebrush-Steppe: I. Field Analysis, *Journal of Arid Environments*, 74: 653–659.
- 13- González-Pérez J.A., González -Vila F.J., Almendros G., and Knicker H. 2004. The effect of fire on soil organic matter—a review. *Environment International* 30: 855–870.
- 14- Gyssels G., Poesen J., Bochet E., and Li Y. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by

- water: a review. *Progress in Physical Geography* 29: 198–217.
- 15- He J.J., Cai Q.G., and Liu S.B. 2012. Effects of slope gradient on slope runoff and sediment yield under different single rainfall conditions. *Ying yong sheng tai xue bao* (The journal of applied ecology) In Chinese. 23(5):1263–1268. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22919836>
 - 16- Hernandez T., Garcia C., and Reinhardt I. 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biology and Fertility of Soils* 25:109–116.
 - 17- Hemmatboland I., Akbarinia M., and Banej Shafiei A. 2010. The effect of fire on some soil chemical properties of oak forests in Marivan region. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18 (2): 205-218. (In Persian with English abstract)
 - 18- Horne D.J., and McIntosh J.C. 2000. Hydrophobic compounds in sands in New Zealand-extraction, characterisation and proposed mechanisms for repellence expression. *Journal of Hydrology* 231: 35–46.
 - 19- Hosseini S.S., and Hosseini V. 2014. Effect of fire occurrence through the time on changes of K, Mg, Ca and EC of forest soil. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 22 (1): 141-151.
 - 20- Hudson N.W. 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. *FAO Soil Bulletin* 68.
 - 21- Huffman E.L., Mac Donald L.H., and Stednick J.D. 2001. Strength and persistence of fire-induced soil hydrophobicity under ponderosa and lodgepole pine, Colorado Front Range. *Hydrological Processes* 15:2877–2892.
 - 22- Keeley J. 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire* 18: 116–126.
 - 23- Kurdistan Province natural resources head office. Detailed- executive Zarivar watershed studies, hydrology, erosion and sediment studies. Sixth and ninth volumes. Ideh Pardazan Consulting Company. (in Persian)
 - 24- Letey J. 2001. Causes and consequences of fire-induced soil water repellency. *Hydrological Processes* 15(15): 2867–2875.
 - 25- Loaiciga H.A., Pedreros D., and Roberts D. 2001. Wildfire-streamflow interactions in a chaparral watershed. *Advances in Environmental Research* 5: 295–305.
 - 26- Martin D.A., and Moody J.A. 2001. Comparison of soil infiltration rates in burned and unburned mountainous watersheds. *Hydrological Processes* 15: 2893–29003.
 - 27- Mermut A.R., Luk S.H., Romkens M.J.M., and Poesen J.W.A. 1997. Soil loss by splash and wash during rainfall from two loess soils. *Geoderma* 75: 203–214.
 - 28- Moody J.A., and Martin D.A. 2001. Initial hydrologic and geomorphic response following a wildfire in the Colorado Front Range. *Earth Surface Processes and Landforms* 26:1049–1070.
 - 29- Morvan X., Naisse C., Malam Issa O., Desprats J. F., Combaud A., and Cerdan O. 2014. Effect of ground-cover type on surface runoff and subsequent soil erosion in Champagne vineyards in France. *Soil Use and Management* 30: 372–381.
 - 30- Morvan X., Naisse C., Malam Issa O., Desprats J. F., Combaud A., and Cerdan O. 2015. Rainfall simulations to study the types of groundcover on surface runoff and soil erosion in Champagne vineyards in France. *Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-4740*.
 - 31- Neary D.G., Gottfried G.J., and Ffolliott P.F. 2003. Post-wildfire watershed flood responses. Second International Fire Ecology and Fire Management Congress, Orlando, Florida, 16–20 November, Paper 1B7.
 - 32- Oswald B.P., Davenport D., and Neuwander L.F. 1999. Effects of slash pile burning on the physical and chemical soil properties of Vassar soils. *Journal of Sustainable Forestry* 8 (1): 75–86.
 - 33- Rahimi I., and Esmaeeli A. 2010. Evaluate the potential of forests and rangelands fire using satellite images of MODIS and remote sensing techniques: Case study Marivan forests). 1–2 April. Iran National Cartographic Center. Tehran. Iran. (In Persian)
 - 34- Robichaud P.R., and 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 Herson, Virginia, June. American Water Resource Association, pp. 419–426.
 - 35- Sadeghi S.H.R., Gholami Gohareh R., and Mirnia S.Kh. Analysis of two pasture treatments runoff production threshold. 6th National Seminar on Watershed Management Science and Engineering and 4th National Seminar on Erosion and Sediment. 28–29 April. 2010. Natural Resources & Marine Sciences. Tarbiat Modares University., Noor, Mazandaran, Iran. (in Persian)
 - 36- Scott D.F. 2000. Soil wettability in forested catchments in South Africa; as measured by different methods and as affected by vegetation cover and soil characteristics. *Journal of Hydrology* 231–232: 87–104.
 - 37- Shakesby R.A., Bento C.P.M., Ferreira C.S.S., Ferreira A.J.D., Stoof C.R., Urbanek E., and Walsh R.P.D. 2015. Impacts of prescribed fire on soil loss and soil quality: An assessment based on an experimentally-burned catchment in central Portugal. *Catena* 128: 278–293.
 - 38- Ulery A.L., and Graham RC. 1993. Forest fire effects on soil color and texture. *Soil Science Society of America Journal* 57: 135–140

- 39- Walling D.E., Collins A.L., Sickingabula H.A., and Leeks G.J.L. 2001. Integrated Assessment of Catchment Suspended Sediment Budget: A Zambian Example. *Land Degradation and Development* 12: 387-415.

Effects of Fire on Soil Properties, Erosion and Hydrologic Regime of Zrebar Lake Watershed

Sh. Ebrahimi Mohammadi^{1*}- M. Azari²- E. Manoochehri³

Received: 07-09-2015

Accepted: 07-12-2015

Introduction: Forest herbs due to decrease of runoff coefficient and the kinetic energy of raindrops, is known as a key factor in controlling runoff and soil conservation. Many physical (hydrophobicity, electrical conductivity, pH, particle size distribution, color and temperature regimes), chemical (quality and quantity of organic matter, nutrient availability) and biological (Microbial biomass, soil invertebrates living community) soil properties can be affected by forest fires. Fire not only reduces forest herbs, vulnerability against splashing rain but also has strong effects on the hydrological cycle and soil loss. Despite of repeated fires, there are very few studies about fire impact on natural resources of the west of the country, especially the city of Marivan, in Kurdistan province so this study aimed to investigate the short-term fire impacts on soil properties, Hydrologic regime, soil erosion and sedimentation of Zrebar Lake watershed in west of Iran.

Materials and Methods: Considering the importance of the slope on the hydrological response of the watershed, slope classes of the Zrebar Lake watershed were mapped. Therefore, effects of fire on hydrological characteristics, erosion and sedimentation were studied by the establishment of twelve 0.25 square meter plots in three replications at two dominant slope classes (0 to 30 and 30 to 60%) in burned and natural areas. The first plots in the burned and natural sections, was established randomly and two other plots with the similar conditions at a distance of 1.5 meters from each other were established. Garden Spray Simulator with constant pressure was used to fall rain from half a meter height for thirty minutes with an intensity of about 2 mm min^{-1} and 1 mm droplet diameter according to the general weather conditions of the studied area. For every five minutes, runoff and sediment were collected. Runoff volume by weighting and suspended sediment concentration by drying at 105°C were measured. Infiltration and interception by water balance assessment and subtracting the simulated rainfall volume and runoff were calculated. Soil samples were also collected in triplicate by auger drilling method to assess the effects of fire on different characteristics of topsoil (depth of 5 cm) as the samples 1 and 2 in the slope class of 30 to 60%, and samples 3 and 4 in slope class of 0 to 30%, at the burned and natural sections respectively. In the laboratory, after determination of soil texture, the moisture content, pH and EC by portable laboratory instruments, the percentage of total organic carbon and organic matter by wet oxidation were measured. Soil water repellency by Water Drop Penetration Times (WDPT) method in the field was calculated. Statistical analysis for comparing the average hydrophobicity of the soil, runoff and sediment of both natural and burned treatments by independent t-test and for equality of variances by the Levene test was performed using SPSS 21 software.

Results and Discussion: The results showed no effect of fire on soil texture because the fire severity was low to moderate as the color of ash was black. The fire caused to 46 percent reduction of soil moisture and also 24 percent reduction of soil organic matter and 29 percent reduction of total organic carbon at 0% to 30% and 30% to 60% slope classes respectively. Slight increase in pH and electrical conductivity were another effects of fire. At the slope of less than 30%, the average water drop penetration time were 1.24 and 0.70 S in burned and natural treatments and at the slope of 30 to 60 % slope class were 4.52 and 1.04 S respectively. Independent t-test results showed that, the water repellency differences of natural ($t=3.466$, $p=0.003$) and burned ($t=7.364$, $p=0.000$) treatments were significant. Levene test and independent t-test results showed significant difference in the average of runoff at confidence level of 95% in both slope classes. At the slope of less than 30%, differences of sediment average of burned and natural plots with a significant level of 0.012 were significant. But in slope class of 30% to 60%, despite of large different sediment concentration output from the burned and natural plots at the beginning of the experiment, there was no significant difference between them. The results showed that fire leads to low soil moisture content, total organic carbon and soil organic matter. Slight increase of pH and EC

1- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management Engineering, University of Kurdistan, Iran

(*- Corresponding Author Email: shirkoebrahimi@uok.ac.ir)

2- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management Engineering, University of Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3- M.Sc. Graduated of Watershed Management Engineering, Kurdistan Province Head Office of Natural Resources and Watershed Management, Iran

and also lack of effect on soil texture, in both slope classes were also observed. Ash on the forest floor caused to soil water repellency and therefor decreased soil infiltration and increased runoff and soil erosion.

Keywords: Erosion Plot, Organic Matter, Runoff, Sediment, Water Repellency