

تأثیر آتش‌سوزی بر آبگریزی و مقدار و عوامل فرسایش خاک در جنگل‌های سواحل جنوب غربی دریای خزر

علی اکبرزاده^۱، شجاع قربانی دشتکی^{۲*}، مهدی نادری خوراسگانی^۳، جهانگرد محمدی^۴ و روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی^۴

^۱دکتری علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
^۲آستاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
^۳دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
^۴استادیار گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۱۷)

چکیده

بررسی اثر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های هیدرولوژی، خاک و عوارض سطحی امری مهم و ضروری برای توسعه روش‌های ممانعت از فرسایش به‌منظور مدیریت پایدار اراضی و منابع آب است. در قطعه‌هایی در داخل محدوده ۱۵ ناحیه آسیب‌دیده در اثر آتش‌سوزی و ۱۵ منطقه نسوخته مجاور آنها، در پنج زیر واحد اراضی، ویژگی‌های هیدرولوژی، ویژگی‌های خاک، آبگریزی و مقدار فرسایش برآورد شدند. همچنین وضعیت فرسایش خاک با روش BLM مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فرسایش کل، سرعت نفوذ آب به خاک و آبگریزی اختلاف معنی‌داری بین نقاط آتش‌سوزی و شاهد داشتند. در بین زیر واحدهای اراضی نیز تنها از نظر سرعت نفوذ آب به خاک اختلاف معنی‌دار وجود داشت. حدود چهار تا پنج سال طول کشید تا میزان تخلخل خاک و فرسایش کل به شرایط قبل از آتش‌سوزی برسد. زمان برگشت‌پذیری آبگریزی واقعی و پتانسیل به شرایط قبل از آتش‌سوزی نیز به ترتیب دو تا چهار و چهار تا شش سال بود. نتایج همچنین نشان داد که درصد تاج پوشش درختان، تعداد درختان در هکتار، ارتفاع درختان و تخلخل خاک بهترین متغیرها برای تخمین فرسایش کل در منطقه بودند.

واژه‌های کلیدی: آبگریزی، تخلخل خاک، جنگل‌های کانرود، فرسایش، سرعت نفوذ.

مقدمه

گیاهی و خاک آسیب‌بزند و مانع برخی عملکردهای اکوسیستمی مانند نگهداری منابع آب، محافظت از فرسایش خاک و تجمع مواد غذایی شود (Matinizadeh & Gudarzi, 2013). بررسی اثرهای آتش‌سوزی بر کیفیت، ویژگی‌های هیدرولوژی و فرسایش خاک‌های جنگلی امروزه یکی از مسئله‌های بسیار مهمی است که پژوهش‌گران بسیاری را به تحقیق واداشته است (Certini, 2005; Hubbert et al., 2006; Larsen et al., 2009; Mataix-Solera et al., 2011;

جنگل‌ها یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی کره خاکی به‌شمار می‌روند و عملکرد آنها نقش اساسی در نگهداری تعادل اکولوژیکی دارد. امروزه در خشکی‌ها پس از فعالیت‌های شهری و کشاورزی انسان، آتش‌سوزی فراگیرترین عامل تخریب‌کننده اکوسیستم‌های طبیعی به‌شمار می‌رود (Mohammadi et al., 2010). آتش پدیده تخریبی است که می‌تواند به‌شدت به پوشش

خاک و شدت فرسایش و رواناب برقرار کرد. Pierson et al. (2008) گزارش کردند که افزایش رواناب به وجود آمده در مناطق پس از آتش‌سوزی بیشتر در نتیجه از بین رفتن پوشش سطحی بود و ویژگی آبگریزی به وجود آمده در اثر آتش‌سوزی سهم به مراتب کمتری در افزایش رواناب داشت.

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر آبگریزی و مقدار فرسایش خاک در بخش‌هایی از مناطق جنگلی استان گیلان بود. بررسی تغییر عوامل مختلف مؤثر بر فرسایش خاک از قبیل نفوذ آب به خاک، رطوبت خاک، تخلخل خاک و طول آبراهه‌ها در اثر آتش‌سوزی، در واحدهای مختلف اراضی، از دیگر اهداف این پژوهش بود. همچنین در این پژوهش تلاش بر این بود تا با بررسی وضعیت پوشش گیاهی، ویژگی‌های خاک و میزان فرسایش بهترین متغیرها برای بسط روابط رگرسیونی در تخمین فرسایش خاک معرفی شوند.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

برای اجرای این پژوهش، منطقه جنگلی کانرود در شمال غربی استان گیلان انتخاب شد (شکل ۱). میانگین بارندگی و دمای سالانه این منطقه، به ترتیب حدود ۹۱۴ میلی‌متر و ۱۳/۱ درجه سلسیوس است. گونه‌های درختی غالب این جنگل در قسمت‌های مختلف ممرز (*Carpinus betulus* L.)، خرمندی (*Diospyros lotus* L.)، انجیلی (*Parrotia* C.A. Mey. (*persica* (DC.)، کاج (*Pinus taeda* L.)، توسکا (*Alnus subcordata* C.A. Mey.)، راش (*Fagus orientalis* Lipsky) و افرا (*Acer velutinum* Boiss.) می‌باشند.

(Pierson et al., 2008). پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که پس از آتش‌سوزی نفوذ آب به خاک، شدت رواناب و غلظت رسوب و در نتیجه فرسایش خاک بسته به ویژگی‌های منطقه و حوضه آبخیز با اندازه‌های مختلفی تغییر می‌یابد (Hubbert et al., 2006; Providali et al., 2001). در نتیجه پس از تخریب جنگل‌ها آب کمتری در بالادست رودخانه‌ها به زمین نفوذ کرده و سریع‌تر به طرف دشت جریان پیدا می‌کند و خطر فرسایش شدید نیز بیشتر می‌شود (Brath et al., 2006).

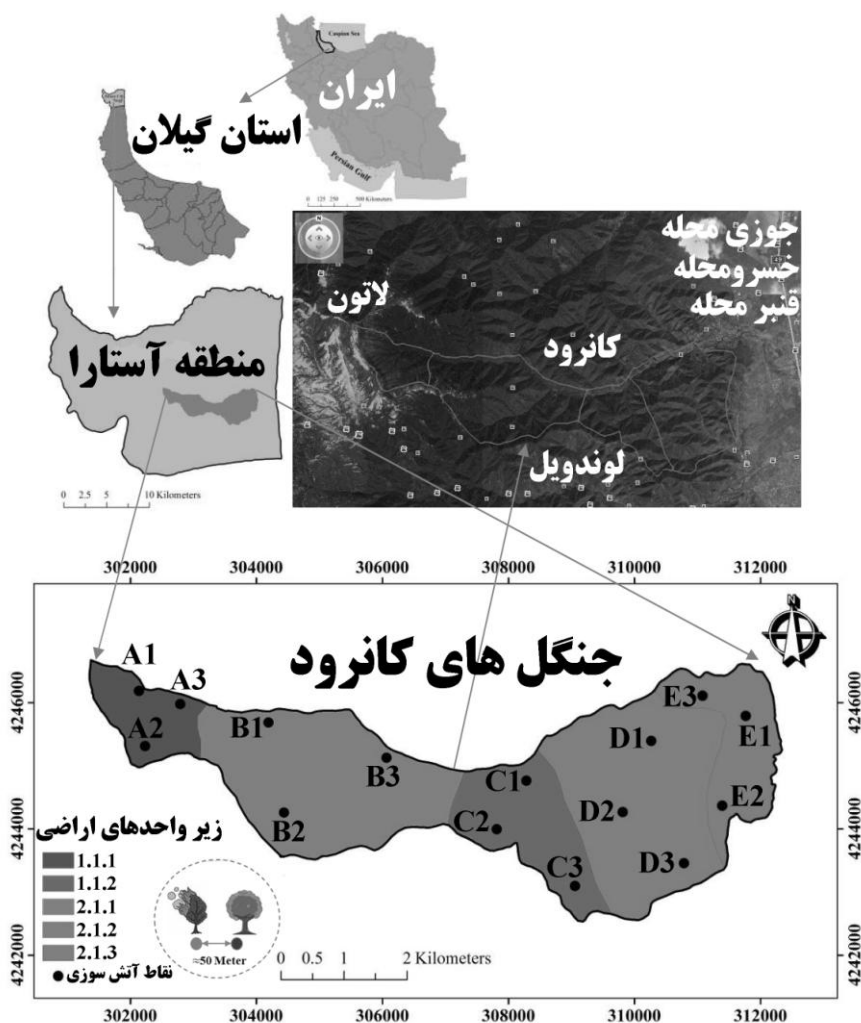
آتش‌سوزی می‌تواند اثرهای نامطلوبی بر ویژگی‌ها و کیفیت خاک داشته باشد. ثابت شده است که ویژگی‌هایی از خاک مانند ساختمان، تخلخل، پایداری خاکدانه‌ها، نفوذپذیری، رژیم دمای و نگهداشت آب در اثر آتش‌سوزی پوشش گیاهی سطح خاک دستخوش تغییر خواهند شد. آبگریزی خاک^۱ ناشی از آتش‌سوزی پوشش گیاهی یک پدیده شناخته شده در خاک‌های نقاط مختلف جهان می‌باشد (Norouzi & Ramezanzpour, 2012). در یک خاک آبگریز، وقتی قطره‌های آب بر روی سطح خاک قرار می‌گیرند، آب قادر به خیس کردن خاک نیست و خاک بسته به شدت آبگریزی، از چند ثانیه تا ساعت‌ها یا روزها در برابر خیس شدن مقاومت می‌کند. آبگریزی باعث کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود. (Shakesby et al., 2000). Robichaud (2000) با استفاده از شبیه‌سازی باران نشان داد که در اثر آتش‌سوزی جنگل میزان رواناب افزایش و میزان نفوذ آب به خاک کاهش یافت. این افزایش در میزان رواناب ناشی از شرایط آبگریزی در خاک جنگل سوخته بود که باعث کاهش ۱۰ تا ۴۰ درصدی در هدایت هیدرولیکی شد. Doerr & Moody (2004) به‌وضوح بیان کردند که نمی‌توان ارتباطی منطقی و معنی‌دار بین آبگریزی

¹ Water repellency

شناسایی نقاط مورد بررسی

ابتدا جداسازی واحدهای اراضی در منطقه مورد بررسی بر مبنای روش‌های ژئودولوژی انجام شد. پنج زیر واحد اراضی مختلف در منطقه وجود داشت (شکل ۱). پس از بازدیدهای میدانی، در هر کدام از زیر واحدهای اراضی سه ناحیه (در مجموع ۱۵ ناحیه) که در زمان‌های مختلف در اثر آتش‌سوزی تخریب شده بود، شناسایی شدند. برخی ویژگی‌های مکانی نقاط آتش‌سوزی در جدول ۱ ارایه شده است. زمان مینا، بر اساس زمان شروع آزمایش‌ها، اول فروردین سال ۱۳۹۴ انتخاب شد (جدول ۱). در مجاور مناطق سوخته، مناطق بدون آتش‌سوزی نیز وجود داشتند

که به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. نقاط شاهد طوری انتخاب شدند که از نظر توپوگرافی، پوشش گیاهی، شیب و ارتفاع شرایط یکسانی با مناطق سوخته مجاور خود دارا بودند. در داخل محدوده نقاط آتش‌سوزی و شاهد با کمک عوارض طبیعی داخل جنگل، در مجموع ۳۰ قطعه با اشکال مختلف مورد مساحی قرار گرفتند. قطعه‌های جدا شده در زیر واحدهای اراضی 1.1.1، 1.1.2، 2.1.1، 2.1.2 و 2.1.3 به ترتیب با حروف A، B، C، D و E نام‌گذاری شدند. واژه F به معنی جنگل آتش‌گرفته و واژه O به معنی نقاط شاهد مجاور آنها است (شکل ۱ و جدول ۲).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی و نقاط آتش‌سوزی با نقشه زیر واحدهای اراضی و نقشه گوگل‌ارث

اندازه‌گیری ویژگی‌های پوشش گیاهی

با روش آماربرداری ۱۰۰ درصد تمام گونه‌های درختی و درختچه‌ای زنده سالم و ناسالم موجود در هر قطعه که از حد شمارش عبور کرده بودند، اندازه‌گیری شدند. تعداد درختان، درصد تاج پوشش

درختان، قطر برابر سینه درختان، ارتفاع کامل درختان، متوسط سن درختان و درصد لاشبرگ در هر قطعه بر اساس روش‌های متداول اندازه‌گیری شدند (Namiranian, 2007).

جدول ۱- ویژگی‌های مکانی نقاط آتش‌سوزی منطقه مورد بررسی

مکان	ارتفاع (متر)	شیب (درصد)	بارندگی سالانه (میلی‌متر)	دمای سالانه (درجه سلسیوس)	نوع آتش‌سوزی	شدت آتش‌سوزی	فاصله تا زمان مبنا (سال)
A1	۸۱۵	۳۶/۶۲	۸۲۶	۱۲/۵	سطحی	کم	۹/۱۷
A2	۹۹۷	۷۱/۷۵	۷۴۰	۱۱/۷۵	سطحی	کم	۸/۳۳
A3	۶۰۳	۳۵/۰۷	۹۳۸	۱۳/۲۵	سطحی	کم	۵/۵
B1	۳۵۶	۲۳/۶۱	۱۰۸۷	۱۴	تاجی	زیاد	۲/۵۸
B2	۵۴۲	۴۷/۱۰	۹۷۳	۱۳/۷۵	تنه‌ای	زیاد	۵/۵
B3	۱۵۹	۳۶/۱۱	۱۲۲۴	۱۴/۷۵	سطحی	کم	۶/۵
C1	۱۰۵	۴۵/۵۲	۱۲۶۴	۱۵	تاجی	زیاد	۱/۳۳
C2	۲۹۳	۶۶/۵۹	۱۱۲۹	۱۴/۵	تاجی	زیاد	۲/۵
C3	۳۲۰	۲۳/۵۹	۱۱۱۱	۱۴/۵	تنه‌ای	کم	۶/۳۳
D1	۱۷۱	۴۴/۶۴	۱۲۱۵	۱۴/۷۵	تاجی	زیاد	۵/۵
D2	۱۴۴	۳۰/۸۴	۱۲۳۵	۱۵	تاجی	زیاد	۳/۵۸
D3	۲۹	۱۸/۶۹	۱۳۲۳	۱۵/۵	تاجی	زیاد	۴/۹۲
E1	۳۲	۱۷/۵۴	۱۳۲۱	۱۵/۵	سطحی	کم	۹/۴۲
E2	۲۶	۲۷/۲۸	۱۳۲۵	۱۵/۷۵	سطحی	کم	۶/۴۲
E3	۸	۱۳/۲۸	۱۳۴۰	۱۵/۵	تاجی	زیاد	۴/۱۷

اندازه‌گیری فرسایش خاک

در هر یک از قطعه‌های جدا شده انواع مختلف فرسایش با توجه به نشانه شاخص آنها با روش‌های مشاهده‌ای اندازه‌گیری شدند. میزان فرسایش کل در هر یک از قطعه‌های مورد بررسی از طریق جمع فرسایش‌های سطحی، شیار، خندقی و زمین‌لغزش محاسبه شد (Sadeghi et al., 2006). علاوه بر اندازه‌گیری فرسایش، طول تمام مسیل‌های (آبراهه‌های) اصلی و فرعی (بجز شیارهای حاصل از ذوب برف یا شیارهای ابتدایی در بالادست حوضه) موجود در هر قطعه به‌صورت مجموع از طریق

بازدیدهای صحرائی با دقت محاسبه شد. در این پژوهش همچنین فرسایش خاک با روش دفتر مدیریت اراضی^۱ نیز ارزیابی شد. در این روش ابتدا به هر یک از هفت عامل مؤثر در عامل سطحی خاک بسته به میزان تأثیر در فرسایش امتیاز کمی بین صفر تا ۱۵ داده شد. سپس وضعیت فرسایش برحسب جمع نمرات هفت عامل روش دفتر مدیریت اراضی به پنج کلاس جزئی (۲۰-۰)، کم (۴۰-۲۱)، متوسط (۶۰-۴۱)، زیاد (۸۰-۶۱) و خیلی زیاد (۱۰۰-۸۱) تقسیم‌بندی شد.

^۱ Bureau of Land Management (BLM)

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک و آبگریزی

قبل از انجام آزمایش‌ها و نمونه‌برداری هر گونه خاکپوش، لاشبرگ یا خاکستر با دقت توسط برس کنار زده شد. نمونه‌برداری از ۱۵ سانتی‌متری سطح خاک توسط سیلندر نمونه‌برداری انجام شد. سرعت نفوذ نهایی آب به خاک با استفاده از استوانه‌های مضاعف اندازه‌گیری شد (Bauwer, 1986). چگالی ظاهری و حقیقی به ترتیب با روش سیلندر و پیکنومتر اندازه‌گیری شد (Blake & Hartge, 1986). رطوبت اولیه جرمی با روش وزنی اندازه‌گیری شد. سپس رطوبت حجمی اولیه از حاصلضرب مقدار رطوبت جرمی اولیه در چگالی ظاهری محاسبه شد (Klute, 1986). درصد تخلخل کل نیز از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$f = 1 - \left(\frac{\rho_b}{\rho_s} \right) \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن ρ_b و ρ_s به ترتیب چگالی ظاهری و حقیقی (بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب) و f درصد تخلخل می‌باشند.

برای بررسی ویژگی آبگریزی، آزمایش زمان نفوذ قطره آب^۱ و ملاریته یک قطره اتانول^۲ هم در جنگل (آبگریزی واقعی) و هم در آزمایشگاه (آبگریزی پتانسیل) انجام شد (Wessel, 1988). برای اندازه‌گیری آبگریزی پتانسیل، نمونه‌های دست‌نخورده از خاک‌های مورد بررسی به وسیله یک سیلندر برداشت شد و پس از قرار دادن در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت، آزمایش زمان نفوذ قطره آب و ملاریته یک قطره اتانول روی آنها انجام شد. از الگوی آرایه شده توسط Doerr et al. (1998) برای طبقه‌بندی آبگریزی خاک‌ها استفاده شد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای بررسی تفاوت ویژگی‌های اندازه‌گیری شده بین زیر واحدهای اراضی و نقاط آتش‌سوزی و شاهد از طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده در مکان استفاده شد. در این روش، تجزیه واریانس ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با روش مدل خطی عام و تحت سنجش‌های تکرار شده انجام شد. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها در هر زیر واحد اراضی منحصر به فرد نیز، هر تیمار مربوط به آتش‌سوزی به‌طور جداگانه با مناطق شاهد خود مورد آزمون t نمونه‌های جفت شده در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت. برای دستیابی به معادله‌های جدید در تخمین فرسایش کل از رگرسیون چند متغیره با روش گام به گام استفاده شد.

نتایج

نتایج ارزیابی وضعیت فرسایش خاک با روش دفتر مدیریت اراضی نشان داد که بیشتر قطعه‌های شاهد از نظر وضعیت فرسایش در کلاس فرسایش جزئی و کم قرار داشتند. در حالی که بیشتر قطعه‌های آتش‌سوزی در کلاس فرسایش متوسط قرار داشتند. سه قطعه آتش‌سوزی CF1، CF2 و DF2 نیز در کلاس فرسایش زیاد قرار داشتند (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از میان ویژگی‌های هیدرولوژی، خاک و فرسایش تنها سرعت نفوذ نهایی آب به خاک اختلاف معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) بین زیر واحدهای اراضی (بین گروه‌ها) داشت. در بین نقاط آتش‌سوزی و شاهد (داخل گروه‌ها) نیز فرسایش کل، نفوذ نهایی آب به خاک و تخلخل خاک اختلاف معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) نشان دادند، در حالی که طول آبراهه‌ها و رطوبت حجمی اولیه خاک اختلاف معنی‌داری در داخل گروه‌ها نداشتند (جدول ۳).

¹ Water Depth Penetration Time (WDPT)

² Molarity of Ethanol Droplet (MED)

جدول ۲- ارزیابی وضعیت فرسایش خاک در قطعه‌های مورد بررسی با روش دفتر مدیریت اراضی (BLM)

نام قطعه	امتیاز حرکت توده خاک	امتیاز پوشش لاشبرگ	امتیاز پوشش سنگی	امتیاز قطعات سنگی تحکیم یافته	امتیاز شیارهای سطحی	امتیاز فرم آبراهه‌ها	امتیاز توسعه فرسایش خندقی	جمع نمرات	وضعیت فرسایش
AO1	۰	۱	۱	۱	۰	۴	۱	۸	جزئی کم
AF1	۰	۳	۳	۴	۳	۶	۳	۲۲	کم
AO2	۰	۱	۰	۰	۰	۴	۲	۷	جزئی کم
AF2	۰	۴	۳	۴	۳	۵	۳	۲۲	کم
AO3	۰	۱	۲	۲	۱	۵	۳	۱۴	جزئی متوسط
AF3	۷	۸	۶	۷	۵	۸	۶	۴۷	متوسط
BO1	۰	۳	۲	۳	۲	۶	۳	۱۹	جزئی متوسط
BF1	۸	۹	۹	۹	۸	۹	۷	۵۹	متوسط
BO2	۰	۳	۲	۲	۱	۵	۳	۱۶	جزئی متوسط
BF2	۷	۸	۷	۸	۷	۹	۶	۵۲	متوسط
BO3	۰	۲	۲	۳	۲	۵	۳	۱۷	جزئی متوسط
BF3	۷	۷	۴	۶	۶	۷	۵	۴۲	متوسط
CO1	۰	۳	۴	۶	۳	۷	۵	۲۸	کم
CF1	۹	۹	۱۰	۱۱	۹	۱۲	۹	۶۹	زیاد
CO2	۰	۵	۴	۵	۳	۷	۵	۲۹	کم
CF2	۹	۹	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۹	۶۶	زیاد
CO3	۰	۱	۰	۱	۰	۴	۰	۶	جزئی کم
CF3	۰	۴	۳	۴	۳	۶	۴	۲۴	کم
DO1	۰	۳	۳	۴	۳	۶	۳	۲۲	کم
DF1	۷	۷	۷	۸	۶	۹	۸	۵۲	متوسط
DO2	۰	۴	۴	۴	۳	۶	۴	۲۵	کم
DF2	۸	۹	۹	۹	۸	۱۰	۸	۶۱	زیاد
DO3	۰	۳	۲	۰	۱	۵	۳	۱۴	جزئی متوسط
DF3	۷	۷	۵	۶	۴	۸	۷	۴۴	متوسط
EO1	۰	۲	۱	۲	۱	۴	۲	۱۲	کم
EF1	۰	۳	۱	۱	۱	۴	۲	۱۲	جزئی کم
EO2	۶	۷	۵	۷	۴	۸	۸	۴۵	متوسط
EF2	۱۰	۷	۶	۷	۵	۸	۳	۴۶	متوسط
EO3	۰	۳	۲	۳	۱	۵	۳	۱۷	جزئی کم
EF3	۰	۳	۲	۳	۲	۵	۳	۱۸	جزئی کم

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های هیدرولوژی، خاک و فرسایش

منبع	درجه آزادی	فرسایش کل	طول آبراهه‌ها	سرعت نفوذ	رطوبت حجمی	تخلخل
بین گروه‌ها	۴	۲۹۹/۴۷۱ ^{n.s}	۹۲۴/۴۷۹ ^{n.s}	۷۵/۴۱۴ ^{**}	۵۱/۲۶۰ ^{n.s}	۱۱/۱۰۵ ^{n.s}
داخل گروه‌ها	۱	۱۷۸۳/۶۳۱ ^{**}	۱۰۹/۰۶۱ ^{n.s}	۴۵/۳۶۲ ^{**}	۸۹/۲۰۰ ^{n.s}	۱۴۵/۴۲۰ ^{**}
کل	۵	۲۰۸۳/۱۰۲	۱۰۳۳/۵۴	۱۲۰/۷۷۶	۱۴۰/۴۶	۱۵۶/۵۲۵

^{n.s}، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

رطوبت حجمی اولیه خاک نیز اگرچه در اثر آتش‌سوزی در مقایسه با شاهد کاهش یافت ولی این کاهش در هیچ یک از زیر واحدهای اراضی معنی‌دار نبود. درصد تخلخل خاک در تمام تیمارهای مربوط به آتش‌سوزی کاهش معنی‌داری (در سطح احتمال پنج درصد) با منطقه شاهد مجاور خود در همه زیر واحدهای اراضی داشت. همچنین سرعت نفوذ نهایی آب به خاک در سه زیر واحد اراضی (A، B و C) کاهش معنی‌داری (در سطح احتمال پنج درصد) در نقاط آتش‌سوزی در مقایسه با شاهد نشان داد (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس همچنین نشان داد که آبگریزی واقعی و پتانسیل اندازه‌گیری شده با روش‌های WDPT و MED در بین زیر واحدهای اراضی اختلاف معنی‌داری نداشتند. در داخل گروه‌ها نیز آبگریزی واقعی و پتانسیل اندازه‌گیری شده با هر دو روش مذکور اختلاف معنی‌داری نشان دادند (جدول ۴).

مقایسه میانگین ویژگی‌های هیدرولوژی، خاک و فرسایش نشان داد که میزان فرسایش کل و طول آبراهه‌ها در همه تیمارهای مربوط به آتش‌سوزی در مقایسه با شاهد افزایش یافت، ولی این افزایش در هیچ یک از زیر واحدهای اراضی معنی‌دار نبود.

جدول ۴- تجزیه واریانس آبگریزی خاک

میانگین مربعات (MS)				درجه آزادی	منبع
ملازیمه یک قطره اتانول (MED)		زمان نفوذ قطره آب (WDPT)			
آبگریزی پتانسیل	آبگریزی واقعی	آبگریزی پتانسیل	آبگریزی واقعی		
۱۰/۰۳۳ ^{n.s}	۳/۵۸۳ ^{n.s}	۵۸۵۸۱/۲۱۷ ^{n.s}	۷/۲۱۷ ^{n.s}	۴	بین گروه‌ها
۳۳۳/۳۳۳ ^{**}	۳/۳۳۳ [*]	۴۶۰۰۴/۸۳۳ ^{**}	۱۰/۸۰۰ [*]	۱	داخل گروه‌ها
۳۴۳/۳۶۶	۶/۹۱۶	۵۱۸۶۲۹/۰۵	۱۸/۰۱۷	۵	کل

^{n.s}، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های هیدرولوژی، خاک و فرسایش

مکان	فرسایش کل (تن در هکتار در سال)	طول آبراهه‌ها (متر)	سرعت نفوذ (میلی‌متر بر ساعت)	رطوبت حجمی (درصد)	تخلخل (درصد)
AO	۳/۰۲(۰/۹۴)a	۲۲/۶۳(۴/۷۹)a	۱۹/۲۶(۰/۴۶)a	۴۰/۶۷(۴/۳۹)a	۵۷/۶۹(۰/۵۹)a
AF	۱۰/۶۳(۵/۸۵)a	۲۳/۴۰(۱/۹۳)a	۱۷/۱۹(۰/۷۱)b	۳۸/۰۳(۳/۱۱)a	۵۴/۱۶(۱/۴۱)b
BO	۴/۰۲(۰/۲۳)a	۲۵/۷۳(۴/۴۹)a	۱۶/۹۶(۰/۹۰)a	۳۳/۳۶(۵/۲۲)a	۵۶/۰۵(۱/۴۷)a
BF	۲۱/۷۸(۱۱/۳۹)a	۳۳/۱۷(۵/۰۱)a	۱۳/۷۸(۰/۶۷)b	۳۳/۸۹(۳/۷۶)a	۵۰/۰۷(۲/۵۴)b
CO	۸/۵۰(۵/۵۵)a	۴۸/۴۳(۲۴/۸۹)a	۱۵/۱۹(۰/۶۵)a	۳۶/۳۸(۵/۴۵)a	۵۶/۳۰(۱/۴۳)a
CF	۴۰/۹۵(۲۹/۲۷)a	۵۱/۷۷(۲۵/۹۸)a	۱۰/۵۹(۱/۰۳)b	۳۰/۶۲(۲/۵۷)a	۴۹/۶۲(۱/۹۵)b
DO	۶/۹۹(۲/۴۷)a	۴۶/۲۰(۵/۴۹)a	۱۱/۱۱(۲/۳۱)a	۳۶/۴۴(۹/۳۱)a	۵۵/۰۰(۰/۸۵)a
DF	۲۵/۰۴(۱۴/۹۵)a	۵۵/۷۷(۹/۱۶)a	۹/۲۶(۱/۵۶)a	۲۷/۱۱(۴/۰۰)a	۵۰/۶۴(۱/۴۷)b
EO	۸/۰۸(۶/۴۲)a	۴۱/۷۳(۱۱/۸۹)a	۱۰/۱۵(۲/۷۸)a	۳۵/۹۶(۴/۲۱)a	۵۳/۴۷(۲/۰۵)a
EF	۹/۳۳(۷/۲۷)a	۳۹/۷۰(۹/۰۰)a	۹/۵۶(۱/۹۴)a	۳۵/۹۲(۳/۲۳)a	۵۲/۰۱(۱/۹۱)b

ویژگی‌های دارای حروف غیر مشترک در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار دارند. اعداد داخل پرانتز انحراف معیار می‌باشند

اراضی (C) در تیمارهای آتش‌سوزی افزایش معنی‌داری نسبت به تیمارهای شاهد داشت. آبگریزی پتانسیل اندازه‌گیری شده با روش MED نیز در سه زیر واحد اراضی (B, C و D) در تیمارهای آتش‌سوزی افزایش معنی‌داری نسبت به تیمارهای شاهد نشان داد (جدول ۶).

نتایج مقایسه میانگین همچنین نشان داد که آتش‌سوزی باعث تغییر معنی‌دار آبگریزی واقعی، اندازه‌گیری شده با دو روش WDPT و MED، در هیچ یک از زیر واحدهای اراضی نشد. نتایج مقایسه میانگین همچنین مشخص کرد که آبگریزی پتانسیل اندازه‌گیری شده با روش WDPT در یک زیر واحد

جدول ۶- مقایسه میانگین آبگریزی خاک

مکان	زمان نفوذ قطره آب (WDPT)		ملازیمه یک قطره اتانول (MED)	
	آبگریزی واقعی (ثانیه)	آبگریزی پتانسیل (ثانیه)	آبگریزی واقعی (درصد)	آبگریزی پتانسیل (درصد)
AO	۲/۲۲(۰/۵۸)a	۳۹/۳۳(۶/۱۱)a	۱/۳۳(۰/۵۸)a	۹/۳۳(۰/۵۸)a
AF	۳/۰۰(۱/۰۰)a	۱۱۷/۶۷(۹۲/۸۰)a	۱/۶۷(۰/۵۸)a	۱۳/۰۰(۳/۰۰)a
BO	۳/۶۷(۱/۵۳)a	۲۸/۰۰(۲۳/۰۰)a	۲/۶۷(۱/۵۳)a	۷/۳۳(۳/۰۶)a
BF	۴/۰۰(۱/۰۰)a	۳۹۰/۰۰(۲۲۰/۵۷)a	۳/۰۰(۱/۰۰)a	۱۷/۰۰(۱/۷۳)b
CO	۲/۳۳(۱/۵۳)a	۱۸/۶۷(۱۶/۵۰)a	۱/۶۷(۱/۱۶)a	۶/۳۳(۳/۰۵)a
CF	۴/۶۷(۰/۵۸)a	۴۷۱/۶۷(۱۵۹/۱۴)b	۳/۰۰(۱/۰۰)a	۱۸/۰۰(۱/۰۰)b
DO	۴/۳۳(۳/۵۱)a	۱۵۰/۶۷(۱۹۰/۰۸)a	۲/۶۷(۲/۰۸)a	۱۲/۰۰(۵/۰۰)a
DF	۶/۳۳(۱/۱۶)a	۴۴۵/۶۷(۴۴۷/۰۰)a	۴/۰۰(۰/۰۰)a	۱۷/۳۳(۳/۵۱)b
EO	۲/۳۳(۱/۵۳)a	۵۶/۳۳(۳۳/۵۰)a	۱/۶۷(۱/۱۵)a	۱۱/۰۰(۳/۰۰)a
EF	۳/۰۰(۱/۰۰)a	۱۰۶/۳۳(۹۶/۶۴)a	۱/۶۷(۰/۵۸)a	۱۴/۰۰(۱/۰۰)a

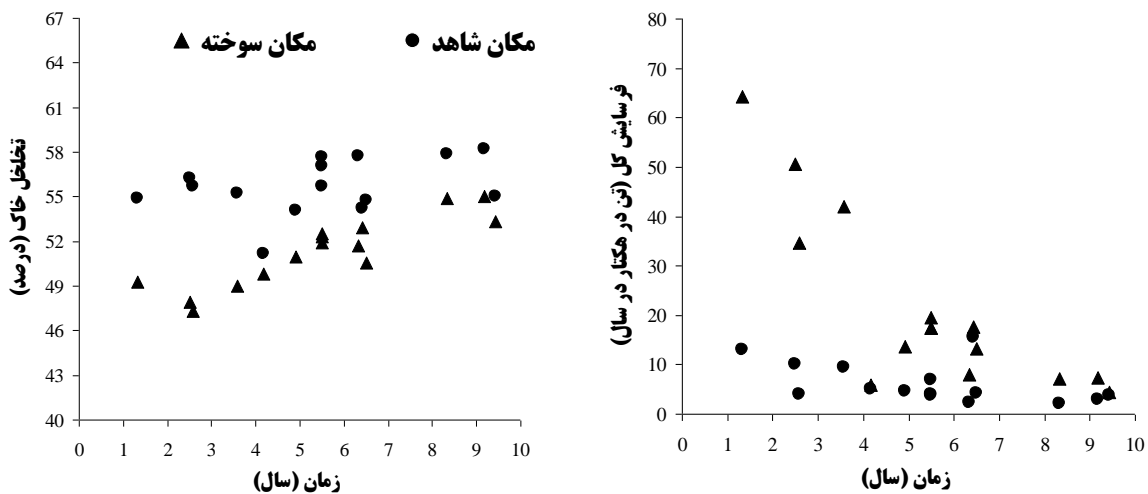
ویژگی‌های دارای حروف غیر مشترک در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار دارند. اعداد داخل پرانتز انحراف معیار می‌باشند

نتایج نشان داد که مقدار رطوبت بر آبگریزی خاک تأثیر زیادی داشت. زیرا آبگریزی پتانسیل که بر روی نمونه‌های خشک شده انجام شده بود تعداد بیشتری از خاک‌ها را در بخش آبگریز قرار داد. بر اساس روش WDPT، خاک‌هایی که در کلاس قابل مرطوب شدن یا جزئی آبگریز قرار داشتند در اثر آتش‌سوزی در کلاس آبگریزی قوی قرار گرفتند. بر اساس روش MED نیز خاک‌هایی که بدون دفع آب یا جزئی آبگریز بودند در اثر آتش‌سوزی در کلاس آبگریزی قوی یا خیلی قوی قرار گرفتند. بنابراین نتایج این پژوهش نقش رطوبت را در آبگریزی خاک‌ها تأیید نمود. زیرا پدیده آبگریزی بیشتر در تیمارهای آتش‌سوزی مشاهده شد که رطوبت کمتری نسبت به تیمارهای شاهد داشتند.

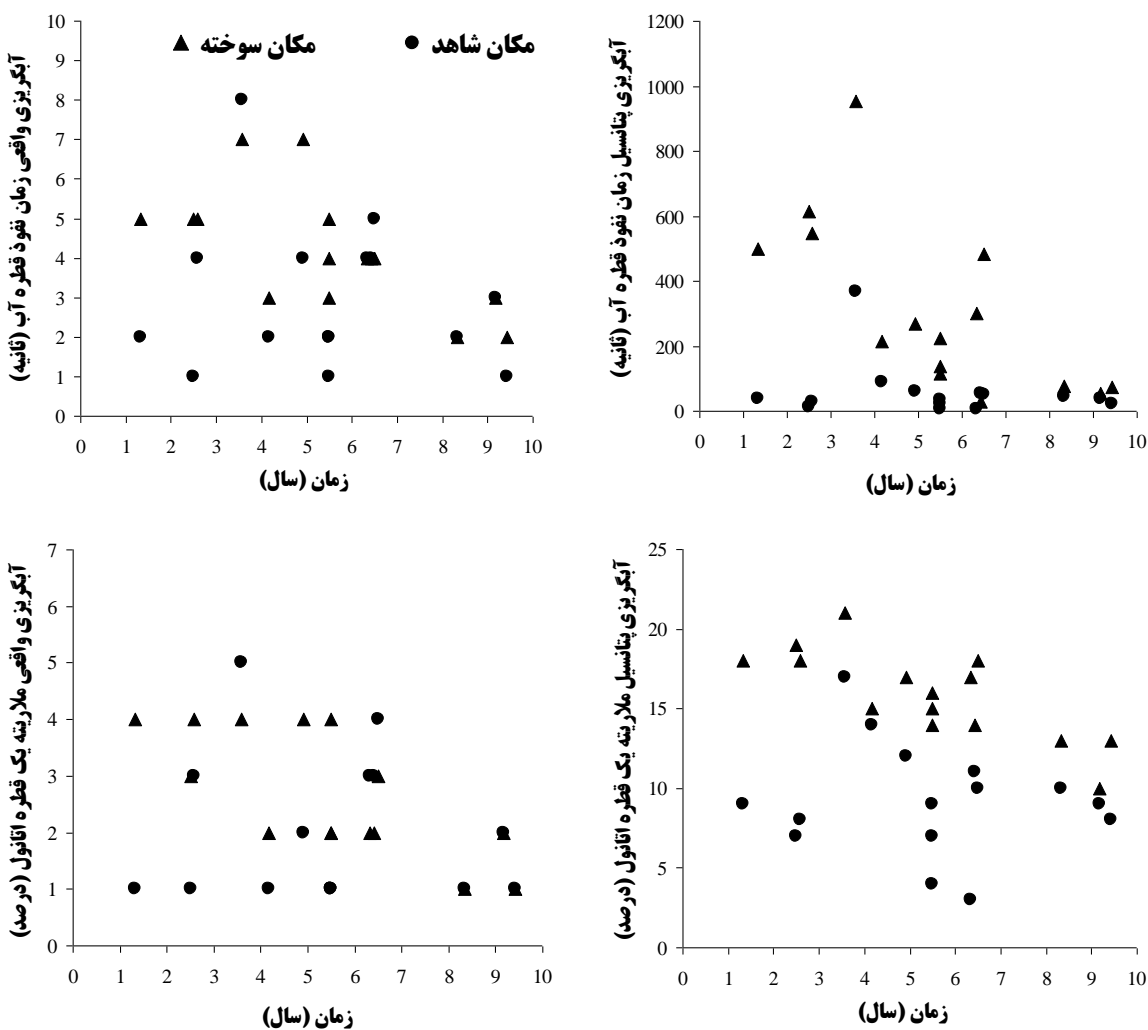
اثر گذشت زمان بر التیام‌پذیری (برگشت‌پذیری) تخلخل و فرسایش کل نشان داد که حدود چهار تا پنج سال طول کشید تا میزان تخلخل خاک و فرسایش کل به شرایط قبل از آتش‌سوزی برسد (شکل ۲). زمان برگشت‌پذیری آبگریزی واقعی و پتانسیل به شرایط قبل از آتش‌سوزی نیز به ترتیب دو تا چهار و چهار تا شش سال بود (شکل ۳).

به‌منظور استخراج معادله‌هایی برای تخمین فرسایش کل، رابطه‌های رگرسیونی چند متغیره خطی بین فرسایش کل و ویژگی‌های اصلی پوشش گیاهی و هیدرولوژی و خاک با روش گام به گام مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج نشان داد که مقدار رطوبت بر آبگریزی خاک تأثیر زیادی داشت. زیرا آبگریزی پتانسیل که بر روی نمونه‌های خشک شده انجام شده بود تعداد بیشتری از خاک‌ها را در بخش آبگریز قرار داد. بر اساس روش WDPT، خاک‌هایی که در کلاس قابل مرطوب شدن یا جزئی آبگریز قرار داشتند در اثر آتش‌سوزی در کلاس آبگریزی قوی قرار گرفتند. بر اساس روش MED نیز خاک‌هایی که بدون دفع آب یا جزئی آبگریز بودند در اثر آتش‌سوزی در کلاس آبگریزی قوی یا خیلی قوی قرار گرفتند. بنابراین نتایج این پژوهش نقش رطوبت را در آبگریزی خاک‌ها تأیید نمود. زیرا پدیده آبگریزی بیشتر در تیمارهای آتش‌سوزی مشاهده شد که رطوبت کمتری نسبت به تیمارهای شاهد داشتند.



شکل ۲- اثر گذشت زمان بر برگشت پذیری تخلخل خاک و فرسایش کل



شکل ۳- اثر گذشت زمان بر برگشت پذیری آبگریزی

خاک اثر معنی‌داری بر فرسایش کل داشتند. در نهایت رابطه فرسایش کل و مهمترین ویژگی‌های مؤثر بر آن به صورت معادله‌های جدید برای منطقه مورد بررسی استخراج گردید (جدول ۷).

نتایج نشان داد که در بین ویژگی‌های اصلی پوشش گیاهی، تنها درصد تاج پوشش درختان، تعداد درختان در هکتار و ارتفاع درختان و در بین ویژگی‌های اصلی هیدرولوژی و خاک نیز تنها تخلخل

جدول ۷- نتایج رگرسیون چند متغیره خطی با روش گام به گام در برآورد فرسایش کل

معادله رگرسیونی خطی	خطای استاندارد تخمین	آماره F	ضریب تبیین (R ²)
$E = -0.656C + 44.070$	۹/۸۱۳۳۶	۴۰/۳۲۹**	۰/۵۹۰
$E = -1.484C + 0.114N + 59.604$	۸/۷۱۵۹۷	۲۹/۸۰۹**	۰/۶۸۸
$E = -1.252C + 0.091N + 1.042H + 39.758$	۸/۱۳۴۰۸	۲۴/۴۸۵**	۰/۷۳۹
$E = -3.564F + 204.516$	۱۰/۵۹۶۳۱	۳۰/۶۰۵**	۰/۵۲۲

E: فرسایش کل (تن در هکتار در سال)، C: تاج پوشش آسمانه درختان (درصد)، N: تعداد درختان در هکتار (اصله)، H: ارتفاع درختان (متر) و F: تخلخل خاک (درصد). ** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

بحث

فرسایش خاک خواهد شد (Certini, 2005). در نتیجه در جنگل‌های تخریب شده در اثر آتش‌سوزی، به‌ویژه در اراضی پرشیبی که مواد مادری آنها مستعد فرسایش هستند، تعداد و تراکم آبراهه‌ها افزایش خواهد یافت (Benda et al., 2003).

پس از وقوع یک آتش‌سوزی سطح خاک در معرض تشکیل سله سطحی قرار می‌گیرد و دفع آب خاک به دلیل پیوستگی آن در چند سانتی‌متری زیر سطح خاک افزایش می‌یابد. تغییر در سرشت ماده آلی در اثر آتش‌سوزی به احتمال فراوان یک عامل مهم در ایجاد ویژگی آب‌گریزی در خاک‌های سوخته است. همچنین پایداری ساختمان خاک در اثر سوختن مواد آلی خاک جنگل کاهش می‌یابد. از این رو از بین رفتن پوشش سطحی در اثر آتش‌سوزی باعث کاهش نفوذ آب در خاک می‌شود (Certini, 2005). بنابراین در پژوهش حاضر به احتمال فراوان در اثر کاهش پایداری خاکدانه‌ها و تخلخل خاک در اثر از بین رفتن مواد آلی و افزایش آب‌گریزی، میزان سرعت نفوذ آب به خاک در برخی تیمارهای آتش‌سوزی نسبت به تیمارهای شاهد کاهش یافت. کاهش تخلخل در خاک

در این پژوهش مشخص شد که تخریب پوشش گیاهی جنگل در اثر آتش‌سوزی در برخی از قطعه‌های مورد بررسی بر تغییر وضعیت فرسایش خاک اثرگذار بود. به طوری که امتیازهای مربوط به شیارهای سطحی، فرم آبراهه‌ها و توسعه فرسایش خندقی، در روش BLM، در بیشتر قطعه‌های آتش‌سوزی بیش از قطعه‌های شاهد مجاور آنها بود. به‌طور مشابه Neary et al. (2012) گزارش کردند که در اثر آتش‌سوزی جنگل تعداد خندق‌ها و شیارها به‌ویژه در اراضی پرشیبی که سطح زمین و مواد مادری آنها حساسیت بیشتری به فرسایش داشت، افزایش یافت. تخریب پوشش گیاهی جنگل با کاهش میزان لاشبرگ موجود در سطح خاک باعث کاهش مواد آلی خاک می‌شود (Kavian et al., 2014). همچنین مقدار نفوذ آب به خاک با تغییر کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها در اثر آتش‌سوزی هم‌بستگی دارد (Heidary et al., 2014). بنابراین تخریب پوشش گیاهی جنگل در اثر آتش‌سوزی با کاهش مقدار تخلخل و نفوذ آب به خاک باعث افزایش رواناب و

پژوهش‌های Unger & Vigil (1998) نیز مشخص کرد که میزان باقی مانده گیاهی (لاشبرگ) بیشترین اهمیت را در کاهش رواناب و هدررفت خاک داشت. Sadeghi et al. (2006) نیز هم‌بستگی زیادی بین برخی ویژگی‌های پوشش گیاهی جنگل مانند درصد تاج پوشش و لاشبرگ سطحی با ویژگی‌های مرتبط با فرسایش خاک مشاهده کردند. Durán & Rodríguez (2008) نیز درصد تاج پوشش گیاهان در اراضی جنگلی و مرتعی را به‌عنوان بهترین پارامتر در تخمین میزان فرسایش خاک معرفی کردند. تاکنون پژوهش‌های کمی برای برآورد میزان فرسایش خاک در جنگل‌های آسیب دیده در اثر آتش‌سوزی در شمال کشور انجام شده است. بنابراین معادله‌های به‌دست آمده از پژوهش حاضر ارزیابی فرسایش خاک در جنگل‌های شمال کشور را تسهیل می‌کنند.

سوخته نیز می‌تواند به‌دلیل افزایش چگالی ظاهری خاک و کاهش پایداری خاکدانه‌ها باشد. خاکی که کمتر در معرض آتش‌سوزی بوده به‌احتمال فراوان به‌علت داشتن شرایط فیزیکی مطلوب‌تر ظرفیت بیشتری برای نگهداری آب دارد (Certini, 2005).

زمان برگشت‌پذیری آب‌گریزی واقعی و پتانسیل به شرایط قبل از آتش‌سوزی نیز به‌ترتیب دو تا چهار و چهار تا شش سال بود. به‌طور مشابه Larsen et al. (2009) گزارش کردند که ویژگی آب‌گریزی خاک‌های واقع در اراضی جنگلی ناحیه کلرادوی آمریکا بعد از گذشت یک تا دو سال بعد از آتش‌سوزی از بین رفت.

در این پژوهش همچنین مشخص شد که درصد تاج پوشش درختان، تعداد درختان در هکتار، ارتفاع درختان و تخلخل خاک بهترین متغیرها برای تخمین فرسایش کل در منطقه بودند. به‌طور مشابه

References

- Bauwer, J. (1986). Intake rate: Cylinder infiltrometer. In A. Klute (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 1-Physical and mineralogical methods* (pp. 341-345). Madison, WI.
- Benda, L., Miller, D., Bigelow, P., & Andras, K. (2003). Effects of post-wildfire erosion on channel environments, Boise River, Idaho. *Forest Ecology and Management*, 178(1-2), 105-119.
- Blake, G.R., & Hartge, K.H. (1986). Bulk Density. In A. Klute (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 1-Physical and mineralogical methods* (pp. 363-375). Madison, WI.
- 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.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils. A review. *Oecologia*, 143(1), 1-10.
- Doerr, S.H., & Moody, J.A. (2004). Hydrological impacts of soil water repellency: On spatial and temporal uncertainties. *Hydrological Processes*, 18(4), 829-832.
- Doerr, S.H., Shakesby, R.A., & Walsh, R.P.D. (1998). Spatial variability of soil hydrophobicity in fire-prone eucalyptus and pine forests, Portugal. *Soil Science*, 163(4), 313-324.
- Durán, Z.V.H., & Rodríguez, P.C.R. (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 65-86.
- Heidary, J., Ghorbani Dashtaki, Sh., Raiesi, F., & Tahmasebi, P. (2014). Effect of rangeland fire on soil physical properties and water infiltration parameters using principle component analysis. *Journal of Water and Soil*, 28(5), 964-975.

- 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(3-4), 284-298.
- Kavian, A., Azmoodeh, A., & Solaimani, K. (2014). Deforestation effects on soil properties, runoff and erosion in northern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(5), 1941-1950.
- Klute, A. (1986). *Methods of soil analysis, part 1-physical and mineralogical methods*. Madison, WI.
- Larsen, I.J., MacDonald, L.H., Brown, E., Rough, D., Welsh, M.J., Pietraszek, J.H., Libohova, Z., & Benavides-Solorio, J.D.D. (2009). Causes of post-fire runoff and erosion: water repellency, cover, or soil sealing. *Soil Science Society of America Journal*, 73(4), 1393-1407.
- Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., & Zavala, L.M. (2011). Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews*, 109(1-2), 44-60.
- 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.
- Mohammadi, F., Shabaniyan, N., Pourhashemi, M., & Fatehi, P. (2010). Risk zone mapping of forest fire using GIS and AHP in a part of Paveh forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(4), 569-586.
- Namiranian, M. (2007). *Measurement of trees and forest biometry*. Tehran University Press.
- Neary, D.G., Koestner, K.A., Youberg, A., & Koestner, P.E. (2012). Post-fire rill and gully formation, Schultz Fire 2010, Arizona, USA. *Geoderma*, 191, 97-104.
- Norouzi, M., & Ramezani, H. (2012). Effects of flooding and fire on some of soil properties in Lakan forest in Guilan province. *Journal of Water and Soil Science*, 16(61), 291-300. (In Persian)
- Pierson, F.B., Robichaud, P.R., Moffet, C.A., Spaeth, K.E., Williams, C.J., Hardegree, S.P., & Clark, P.E. (2008). Soil water repellency and infiltration in coarse-textured soils of burned and unburned sagebrush ecosystems. *Catena*, 74(2), 98-108.
- Providali, I., Elsenbeer, H., & Conedera, M. (2001). Post-fire management and splash erosion in a chestnut coppice in southern Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 162(2-3): 219-229.
- Robichaud, P.R. (2000). Fire effects on infiltration rates after prescribed fire in Northern Rocky Mountain forests, USA. *Journal of Hydrology*, 231-232, 220-229.
- Sadeghi, S.H.R., Safaeian, N.A., & Ghanbari, S.A. (2006). Study on the effect of land uses on type and intensity of soil erosion. *Journal of Agriculture and Engineering Research*, 7(26), 85-98.
- Shakesby, R.A., Doerr, S.H., & Walsh, R.P.D. (2000). The erosional impact of soil hydrophobicity: Current problems and future research directions. *Journal of Hydrology*, 231-232, 178-191.
- Unger, P.W., & Vigil, M.F. (1998). Cover crop effects on soil water relationships. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53(3), 200-207.
- Wessel, A.T. (1988). On using the effective contact angle and the water drop penetration time for classification of water repellency in dune soils. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13(6), 555-562.



Effect of fire on water repellency, amount and factors of soil erosion in forests of southwest coast of the Caspian Sea

A. Akbarzadeh¹, S. Ghorbani Dashtaki^{2*}, M. Naderi Khorasgani³,
J. Mohammadi², and R. Taghizadeh Mehrjardi⁴

¹Ph.D. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, I. R. Iran

²Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, I. R. Iran

³Associate Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, I. R. Iran

⁴Assistant Prof., Department of Desert Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, I. R. Iran

(Received: 9 March 2016, Accepted: 7 May 2017)

Abstract

Studying the effect of fire on hydrological properties, soil and surface features is important and essential to develop the methods preventing soil erosion for sustainable management of lands and water resources. In compartments within the study area, 15 burned sites and 15 unburned sites, in five sub-land units, hydrological properties, soil characteristics, water repellency and the amount of erosion were determined. Also, the status of soil erosion was evaluated using BLM method. The results of analysis of variance showed that total erosion, infiltration rate and water repellency had significant differences in burned and unburned sites. Only infiltration rate showed significant differences among sub-land units. The reversibility time for soil porosity and total erosion to conditions before the fire was about four to five years. The time reversibility for actual and potential water repellencies were also two to four and four to six years, respectively. The results also showed that canopy cover percentage, number of trees in hectare, height of trees, and soil porosity were the best variables to estimate the total erosion in study area.

Keywords: Erosion, Infiltration rate, Kanroud forests, Soil porosity, Water repellency.

