

تأثیر آتش‌سوزی مراتع بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و پارامترهای نفوذ آب با استفاده از آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی

جلال حیدری^۱ - شجاع قربانی دشتکی^{۲*} - فایز رئیسی^۳ - پژمان طهماسبی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۵/۱۳

چکیده

آتش‌سوزی‌های سالانه ممکن است بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک مراتع نیمه استپی را دستخوش تغییر نماید. هدف از این پژوهش، مطالعه تأثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و پارامترهای نفوذ آب در مراتع نیمه استپی کرسک واقع در استان چهارمحال و بختیاری بود. بدین منظور، مراتعی با تاریخچه‌ی آتش‌سوزی متفاوت که طی سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به ترتیب ۳، ۲ و ۱ سال پیش از مطالعه حاضر دچار آتش‌سوزی شده بودند، انتخاب گردید. نفوذ آب به خاک در ۵۴ نقطه از منطقه مطالعاتی با استفاده از نفوذسنج مکشی اندازه‌گیری شد. تعداد نمونه‌های خاک برای مطالعات آزمایشگاهی با توجه به دو عمق سطحی (۱۰-۰ سانتی‌متر) و زیر سطحی (۲۵-۱۵ سانتی‌متر)، ۱۰۸ نمونه بود. برای بررسی تفاوت ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در مناطق سوخته و شاهد از آزمون t مستقل در سطح ۵ درصد و آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. نتایج نشان داد که ضرایب پایداری خاکدانه‌ها (MWD و GMD) در لایه سطحی ۱ و ۲ سال پس از آتش‌سوزی در مقایسه با شاهد به صورت معنی‌دار کاهش یافت. رس قابل پراکنش در آب (WDC) و جرم ویژه ظاهری خاک در لایه سطحی تمامی مناطق سوخته شده در مقایسه با شاهد به صورت معنی‌دار بیشتر بود. هدایت آبی اشباع (K_{fs}) در تمامی سال‌های مورد مطالعه در مناطق تحت تأثیر آتش‌سوزی مقادیری کمتر از شاهد را نشان داد. به دلیل عمق کم، ظرفیت نگهداری آب کم و خطر بالای فرسایش خاک‌های مراتع نیمه استپی کرسک، وقوع آتش‌سوزی‌های سالانه اثرات منفی زیادی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک این مناطق به دنبال دارد.

واژه‌های کلیدی: آتش، خاک آبگیر، هدایت آبی اشباع، چند متغیره، مراتع نیمه استپی

مقدمه

مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک که به‌طور مستقیم تحت تأثیر آتش قرار می‌گیرند شامل درصد رس (۲۲)، ساختمان خاک، جرم ویژه ظاهری و تخلخل خاک (مقدار و اندازه) است (۶ و ۳۳). هنگام آتش‌سوزی، پوشش گیاهی و لایه لاشبرگ به‌طور مستقیم از بین می‌روند و با سوختن ماده آلی و گرم شدن خاک سطحی، ماده آلی خاک کاهش می‌یابد. کاهش ماده آلی بر اثر آتش‌سوزی، کاهش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش تهویه و افزایش جرم ویژه ظاهری خاک را به دنبال خواهد داشت (۳۳). افزون بر آن، شواهدی وجود دارد که آتش‌سوزی پوشش گیاهی مراتع موجب وارد شدن خاکستر به خاک و افزایش خاصیت آب‌گریزی شده و در نتیجه آن نفوذ آب به خاک کاهش می‌یابد (۲۵).

اگرچه در ایران سالانه چندین هزار هکتار از مراتع در معرض آتش‌سوزی‌های طبیعی یا عمدی قرار می‌گیرند، اما اطلاعات کمی در ارتباط با اثر آتش بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مراتع در دسترس است و اکثر مطالعات انجام شده در جهان در مناطق مدیترانه‌ای، جنگل‌های

مدیریت و بهره‌برداری بهینه مراتع مستلزم شناخت دقیق اجزاء و واکنش آن‌ها در مقابله با دخالت‌ها و تغییرات گوناگون به‌ویژه وقوع آتش‌سوزی‌های سالانه است. آتش به عنوان یک عامل بوم‌شناختی می‌تواند بر اجزاء تشکیل دهنده هر اکوسیستم اثرات مثبت یا منفی داشته باشد. تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و تغییر در ساختار و ترکیب پوشش گیاهی یکی از بارزترین اثرات آتش‌سوزی بر اکوسیستم‌های طبیعی از جمله مراتع نیمه استپی می‌باشد (۱۰). تأثیر مستقیم آتش‌سوزی بر خاک مراتع ناشی از سوختن ماده آلی و بالا رفتن دمای لایه سطحی خاک است (۶).

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(*- نویسنده مسئول: (Email: shoja2002@yahoo.com)

۴- استادیار گروه مرتع و آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

مطالعه کردند. این محققین گزارش کردند در نتیجه کاهش ماده آلی و تغییر بافت خاک پس از آتش و نیز حضور دفع آب خاک، پایداری خاکدانه‌ها کاهش و جرم ویژه ظاهری خاک افزایش یافت.

با توجه به آنچه یاد رفت، آتش بر تمامی ویژگی‌های خاک تاثیر بسزایی دارد و در اکوسیستم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان قدرت تخریب زیادی دارد ولی گاهی از آن به عنوان یک ابزار مدیریتی نیز استفاده می‌شود. در کاربرد آتش به عنوان یک روش اصلاحی در مراتع جهت کاهش جمعیت گیاهان چندساله خشبی و افزایش گیاهان یک‌ساله علفی (۱۷) باید اثرات منفی آن بر ویژگی‌های خاک در نظر گرفته شود. سوزاندن مراتع اگرچه در کوتاه مدت، رشد گونه‌های گیاهی خوشخوراک را به دنبال دارد اما در دراز مدت ممکن است به دلیل کاهش نفوذ آب به خاک، تخریب ساختمان، کاهش ماده آلی، از بین رفتن گونه‌های گیاهی چند ساله، ایجاد رواناب و فرسایش، تولید مراتع را کاهش دهد (۳۳). لذا مطالعه تاثیر آتش‌سوزی مراتع بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و پارامترهای نفوذ آب به خاک، از اهمیت و ضرورت خاصی برخوردار است.

مواد و روش‌ها

مراتع نیمه استپی کرسنک با متوسط ارتفاع ۲۶۰۰ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی ۵۶۰ میلی‌متر درسال و مختصات جغرافیایی ۱۹° ۳۰' ۳۲" تا ۳۳° ۳۳' ۳۳" عرض شمالی و ۴' ۲۶' ۵۰" تا ۳۵' ۲۷' ۵۰" طول شرقی در بخش غربی شهرستان شهرکرد واقع شده است. این منطقه شامل ۳ تپه عمده گیاهی شامل چمن گندمی رونده، جارو علفی و گون گزی است. منطقه کرسنک، دارای مراتعی با تاریخچه‌ی متفاوت آتش‌سوزی است که در تابستان سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ دچار آتش‌سوزی شده بودند. مناطق سوخته شده در منطقه مورد مطالعه مساحتی حدود ۷۵ هکتار را شامل می‌شود. افزون بر آن، در مجاور مناطق سوخته شده، مناطق فاقد آتش‌سوزی نیز وجود داشت که به عنوان شاهد در نظر گرفته شد که از نظر توپوگرافی، پوشش گیاهی و دیگر عوامل موثر بر ویژگی‌های خاک شرایط یکسانی با مناطق سوخته داشتند. در این پژوهش ۶ تیمار شامل ۳ تیمار تحت تاثیر آتش‌سوزی که به ترتیب ۳، ۲ و ۱ سال پیش از مطالعه حاضر دچار آتش‌سوزی شده بودند و ۳ تیمار شاهد (بدون آتش‌سوزی) مجاور آن‌ها انتخاب گردید. برای هر کدام از تیمارهای ذکر شده، ۹ تکرار واقعی لحاظ و آزمایشات مربوطه در هر تکرار انجام گردید. بنابراین، تعداد نقاط جهت اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک ۵۴ نقطه و تعداد نمونه‌های خاک برای مطالعات آزمایشگاهی با توجه به دو عمق سطحی (صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) و زیر سطحی (۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر)، ۱۰۸ نمونه بود که جامعه آماری این تحقیق را تشکیل دادند. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل و پس از هوا خشک شدن

مناطق سردسیر و اراضی کشاورزی صورت گرفته است. در بسیاری از مطالعات مشخص شد که در نتیجه کاهش ماده آلی بر اثر آتش، ویژگی‌های فیزیکی خاک از قبیل پایداری خاکدانه‌ها، توزیع اندازه ذرات و جرم ویژه ظاهری خاک دستخوش تغییر می‌شوند. این تغییرات عمدتاً نتیجه شدت سوختگی است که شامل حداکثر درجه حرارت و مدت زمان آتش‌سوزی می‌باشد (۶). مولوی و همکاران (۳) اثر آتش‌سوزی جنگل بمو و پسماند زراعی بر تغییرات کانی‌های رسی و برخی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی لایه‌های سطحی خاک را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد آتش‌سوزی در جنگل بمو سبب افزایش pH و کاهش درصد رس شد در حالیکه آتش تأثیری بر این خصوصیات در خاک زراعی نداشت. سرتینی (۶) در تحقیقی تاثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های خاک‌های جنگلی را مورد بررسی قرار داد. او نشان داد که بر اثر آتش‌سوزی، دفع آب خاک به دلیل پیوستگی آن در چند سانتی‌متری زیر سطح خاک افزایش می‌یابد و در نتیجه ایجاد لایه دفع آب در خاک رواناب و فرسایش افزایش یافت. پایداری ساختمان خاک نیز بر اثر سوختن ماده آلی پس از آتش‌سوزی کاهش یافت. جرم ویژه ظاهری خاک به دلیل فروپاشی خاکدانه‌ها و مسدود شدن منافذ خاک توسط خاکستر و رس‌های قابل پراکنش افزایش یافت که در نتیجه آن تخلخل و قابلیت نفوذ آب به خاک کاهش یافت. در مطالعه‌ای دیگر هوبرت و همکاران (۱۸) تاثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی و دفع آب خاک در حوزه شیب‌دار جنگل‌های بلوط، جنوب کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا را مورد ارزیابی قرار دادند. این پژوهشگران دریافتند که آتش‌سوزی باعث افزایش دفع آب خاک و کاهش نفوذپذیری و به دنبال آن افزایش جریان‌های سطحی و فرسایش می‌شود. آتش‌سوزی باعث از بین رفتن لایه لاشبرگ و تخریب ساختمان سطح خاک شد و لایه نازکی از خاکستر و ذغال در سطح خاک را بر جا گذاشت. پس از آتش‌سوزی ضخامت لایه لاشبرگ و درصد رس به صورت معنی‌دار کاهش یافت در حالی که پس از آتش‌سوزی جرم ویژه ظاهری خاک افزایش یافت.

کایود و همکاران (۲۱) تاثیر سوزاندن کاه و کلش مزارع بر کیفیت خاک را در دو سایت مورد ارزیابی قرار دادند. در نتیجه آتش‌سوزی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در سایت ۱ در عمق‌های ۵-۱۰ و ۰-۵ سانتی‌متری به ترتیب ۳۰/۸ و ۴۳/۵ درصد و در سایت ۲ به ترتیب ۴۶/۲ و ۴۴/۷ درصد کاهش یافت. همچنین مقاومت خاک پس از آتش‌سوزی افزایش یافت و جرم ویژه ظاهری خاک نیز پس از آتش‌سوزی ۴-۰/۸ درصد افزایش یافت. در نتیجه آتش‌سوزی، حجم منافذ خاک کاهش یافت و همزمان نرخ نفوذ آب به خاک و پارامترهای ضریب جذب آب و هدایت آبی خاک پس از آتش‌سوزی در مقایسه با قبل از آتش‌سوزی به صورت معنی‌دار کاهش یافتند. گرانجید و همکاران (۱۶) تغییرات تدریجی ویژگی‌های خاک را در خاک‌های مدیترانه‌ای در طول ۳ سال پس از آتش‌سوزی آزمایشی

بدون استفاده از کالگون و CC درصد رس خاک می‌باشد.

دفع آب خاک توسط آزمایش زمان نفوذ قطره آب مقطر^۶ اندازه‌گیری شد. بدین منظور، لایه‌ای یک سانتی‌متری از روی خاک برداشته شد و قطره‌های آب مقطر روی سطح خاک فاقد پوشش چکانده شدند و زمان نفوذ آن‌ها به خاک اندازه‌گیری شد. در این روش خاک در صورتی می‌تواند آبگریز باشد که زمان نفوذ قطره آب به خاک بیشتر از ۵ ثانیه شود، در غیر این صورت خاک فاقد خاصیت آبگریزی است (۱۲).

در این تحقیق پس از تعیین ویژگی‌های یاد شده، آماده‌سازی داده‌ها و تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از روش‌های آماری تک متغیره و چند متغیره به ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای 2010 Excel، SPSS 17 و PC-ORD 4.0 انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها در روش تک متغیره با استفاده از آزمون t مستقل در سطح آماری ۵ درصد انجام گرفت و برای بررسی تاثیر آتش بر ویژگی‌های فیزیکی خاک از آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی^۷ استفاده شد. آنالیز تجزیه مولفه‌های اصلی یکی از انواع روش‌های تحلیل داده‌های چند متغیره است که هدف اصلی آن کاهش متغیرهای مورد مطالعه است. با استفاده از تجزیه مولفه‌های اصلی می‌توان تعداد زیادی متغیر توضیحی همبسته (متغیر مستقل) را با تعداد محدودی متغیر توضیحی جدید که مولفه‌های اصلی نامیده می‌شوند و ناهمبسته‌اند، جایگزین نمود. به این ترتیب نه تنها بُعد مساله تقلیل می‌یابد بلکه مساله هم راستایش چندگانه^۸ پیش نمی‌آید (۲).

نتایج

میانگین توزیع اندازه ذرات، رس قابل پراکنش در آب، ضرایب پایداری خاکدانه‌ها (MWD و GMD) و جرم ویژه ظاهری خاک در مناطق سوخته شده و شاهد در جدول ۱ ارائه گردیده است. دامنه تغییرات درصد رس، سیلت و شن، در لایه سطحی مناطق سوخته شده به ترتیب ۱۶ تا ۲۸ درصد، ۲۸ تا ۵۰ درصد و ۳۲ تا ۵۴ درصد و در لایه زیر سطحی به ترتیب ۲۰ تا ۴۰ درصد، ۲۲ تا ۴۲ درصد و ۲۴ تا ۴۴ درصد بود. همچنین دامنه تغییرات درصد رس، سیلت و شن در لایه سطحی مناطق شاهد به ترتیب ۲۲ تا ۳۶ درصد، ۲۲ تا ۴۴ درصد و ۳۲ تا ۵۲ درصد و در لایه زیر سطحی به ترتیب ۳۶ تا ۵۰ درصد، ۲۰ تا ۴۴ درصد و ۲۸ تا ۴۲ درصد بود. نتایج نشان داد درصد رس در لایه سطحی تمامی مناطق سوخته شده و همچنین در نمونه‌های زیر سطحی تیمار ۱ سال پس از آتش در مقایسه با شاهد به صورت معنی

برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها، از نمونه‌های عبور داده شده از الک ۴ میلی‌متری و برای اندازه‌گیری دیگر ویژگی‌های فیزیکی خاک از نمونه‌های عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متری استفاده شد.

نفوذ آب به خاک به روش نفوذسنج مکشی^۱ در سه پتانسیل مکشی مختلف (۳، ۶ و ۱ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد، سپس با استفاده از روابط زیر پارامترهای هدایت‌آبی اشباع^۲، عکس طول درشت مویبگی^۳ و ضریب جذب^۴ خاک تعیین گردید.

$$\alpha_{x,y} = \frac{\ln(q_x/q_y)}{(\Psi_x - \Psi_y)} \quad (1)$$

$$K_{fs} = \frac{G_d \alpha_{x,y} q_x}{r(1 + G_d \alpha_{x,y} \pi r)(q_x/q_y)^p} \quad (2)$$

$$I = St^{1/2} + k_s t \quad (3)$$

در روابط بالا α پارامتر عکس طول درشت مویبگی (cm^{-1}) است که به ساختمان خاک وابسته است، q شدت نفوذ شبه پایدار (cm min^{-1})، Ψ ماتریک (cm)، K_{fs} هدایت آبی اشباع (mm min^{-1})، $G_d = 0.25$ ، $p = \Psi_x / (\Psi_x - \Psi_y)$ ، I نفوذ تجمعی (cm)، t زمان (min) و S ضریب جذبی خاک ($\text{cm min}^{-1/2}$) است (۲۶ و ۲۸).

۱- میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها (MWD و GMD) به روش الک تر و با استفاده از روابط زیر اندازه‌گیری شد (۵).

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (4)$$

$$GMD = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n W_i \log x_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right] \quad (5)$$

که در آن‌ها x_i متوسط قطر یا اندازه خاکدانه‌ها در هر کلاس (mm)، w_i نسبت وزن خاکدانه‌ها روی هر الک به کل خاک (gr) و W_i وزن خاکدانه‌ها در هر کلاس مربوطه (gr) است. توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری (۱۴)، جرم ویژه ظاهری خاک نیز به روش استوانه (۴) و رس قابل پراکنش در آب^۵ به روش هیدرومتری و با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۲۳).

$$WDC = \frac{DC}{CC} \times 100 \quad (6)$$

که در آن WDC درصد رس قابل پراکنش در آب، DC درصد رس

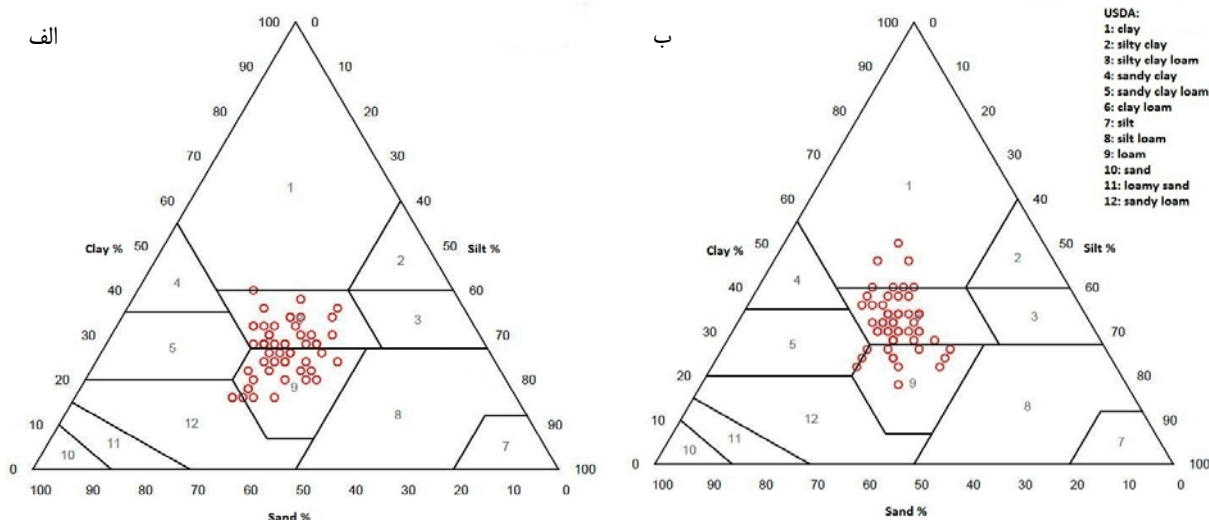
- 1- Tension infiltrometer
- 2 - Saturated Hydraulic Conductivity
- 3 - Inverse of Macroscopic Capillary Length
- 4 - Sorptivity
- 5 - Water Dispersible Clay

- 6 - Water Drop Penetration Time
- 7 - Principle Component Analysis
- 8 - Multicollinearity

مناطق سوخته شده در مقایسه با شاهد، درشت‌تر شده که دلیل آن را می‌توان به کاهش معنی‌دار درصد رس بر اثر آتش نسبت داد. رس قابل پراکنش (WDC) در آب در لایه سطحی مناطق سوخته شده ۳۰/۷ تا ۷۵ و در لایه زیر سطحی ۱۶/۶ تا ۵۰ درصد و در لایه سطحی مناطق شاهد ۲۲/۲ تا ۵۴/۵ درصد و در لایه زیر سطحی ۱۷/۴ تا ۵۰ درصد بود. مطابق جدول ۱ رس قابل پراکنش در لایه سطحی تیمارهای ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش و همچنین در لایه زیر سطحی تیمار ۱ سال پس از آتش در مقایسه با شاهد به صورت معنی‌دار افزایش یافت ($P < 0.05$).

دار کاهش یافت ($P < 0.05$). این در حالی است که درصد سیلت و شن در لایه سطحی و زیر سطحی تیمارهای ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش در مقایسه با شاهد افزایش نشان داند ولی اختلافات از نظر آماری معنی‌دار نبود.

شکل ۱ چگونگی پراکنش خاک‌های مورد مطالعه در مناطق سوخته شده و شاهد را در مثلث آمریکایی بافت خاک (USDA) را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات فراوانی نسبی ذرات در خاک‌های مناطق شاهد در کلاس‌های بافتی رسی تا لوم قرار داشتند و خاک‌های مناطق سوخته شده در کلاس‌های بافتی لوم سیلتی تا لوم شنی قرار داشتند. بنابراین می‌توان گفت پس از آتش‌سوزی، بافت خاک در



شکل ۱- توزیع کلاس بافتی خاک در مناطق سوخته شده ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش (الف) و شاهد (ب)

جدول ۱- میانگین توزیع اندازه ذرات، رس قابل پراکنش در آب، ضرایب پایداری خاکدانه‌ها (MWD و GMD) در عمق ۰-۱۰ و ۱۵-۲۵ سانتی‌متری و جرم ویژه ظاهری در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش و شاهد

ویژگی	عمق		۱ سال پس از آتش		۲ سال پس از آتش		۳ سال پس از آتش		P
	آتش	شاهد	آتش	شاهد	آتش	شاهد	آتش	شاهد	
رس (درصد)	۲۳/۶	۲۹/۹	۰/۰۱	۲۲/۲	۲۸/۰	۰/۰۱۵	۲۸/۳	۰/۰۰۳	
	۲۹/۷	۳۷/۸	۰/۰۰۸	۳۱/۵	۳۳/۶	۰/۰۳۷۴	۳۴/۸	۰/۰۰۶	
سیلت (درصد)	۳۴/۸	۳۰/۵	۰/۱۰۷	۳۸/۸	۳۵/۰	۰/۲۶۵	۲۹/۳	۰/۰۷۲	
	۳۲/۵	۲۸/۰	۰/۰۵۱	۳۵/۵	۳۲/۸	۰/۲۹۶	۳۱/۷	۰/۱۸۳	
شن (درصد)	۴۱/۶	۳۹/۶	۰/۳۹۲	۳۹/۰	۳۷/۰	۰/۴۴۱	۴۲/۴	۰/۲۱۳	
	۳۷/۸	۳۴/۲	۰/۰۵۶	۳۳/۰	۳۳/۶	۰/۱۸۵۸	۳۷/۲	۰/۳۳۱	
رس قابل پراکنش (درصد)	۴۳/۰	۳۳/۱	۰/۰۲۲	۴۸/۴	۳۷/۳	۰/۰۳۴	۴۴/۱	۰/۰۳۶	
	۳۸/۸	۲۹/۰	۰/۰۱۰	۲۶/۷	۳۳/۰	۰/۱۱۱	۳۳/۶	۰/۵۸۸	
MWD (mm)	۰/۷۳	۰/۸۹	۰/۰۰۰	۰/۷۶	۰/۸۶	۰/۰۰۶	۰/۸۲	۰/۸۲۰	
	۰/۶۴	۰/۷۴	۰/۰۳۹	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۵۴۲	۰/۶۸	۰/۸۶۳	
GMD (mm)	۰/۵۵	۰/۶۸	۰/۰۰۰	۰/۵۹	۰/۶۷	۰/۰۰۵	۰/۵۹	۰/۲۷۳	
	۰/۵۲	۰/۵۸	۰/۰۵۶	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۶۶۳	۰/۵۴	۰/۵۴۵	
جرم ویژه ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	۱/۳۹	۱/۱۷	۰/۰۰۲	۱/۲۴	۱/۱۵	۰/۰۲۶	۱/۳۵	۰/۰۰۱	

منظور از ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش، به ترتیب آتش‌سوزی در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷ است.

مقایسه میانگین درصد وزنی خاکدانه‌ها در مناطق سوخته و شاهد نشان می‌دهد درصد وزنی خاکدانه‌های درشت در لایه سطحی و زیر سطحی تیمار ۱ سال پس از آتش نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار داشت ($P < 0.05$). این در حالی است که درصد وزنی خاکدانه‌های ریز در لایه سطحی و زیر سطحی تیمار ۱ سال پس از آتش نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشت ($P < 0.05$). اگرچه این روند در تیمارهای ۲ و ۳ سال از آتش نیز مشاهده شد، اما اختلاف آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P > 0.05$).

نسبت خاکدانه‌های درشت به ریز را می‌توان به عنوان شاخص نشان‌دهنده تاثیر آتش‌سوزی بر توسعه ساختمان خاک و خاکدانه‌سازی و در نتیجه کیفیت خاک در نظر گرفت. برای محاسبه این شاخص مقادیر درصد وزنی خاکدانه‌های درشت (۲-۰/۲۵ میلی‌متر) بر درصد وزنی خاکدانه‌های ریز (کوچکتر از ۰/۲۵ میلی‌متر) تقسیم و این شاخص طی سال‌های مختلف آتش‌سوزی با مناطق شاهد مقایسه شد و اختلافاتی که در این شاخص در سال‌های مختلف وجود داشت، آشکار گردید. دامنه تغییرات نسبت خاکدانه‌های درشت به ریز در لایه سطحی مناطق سوخته شده ۰/۷۶ تا ۲/۴۴ و در لایه زیر سطحی ۰/۵۲ تا ۱/۵۲ متغیر بود. همچنین دامنه تغییرات نسبت خاکدانه‌های درشت به ریز در لایه سطحی مناطق شاهد ۰/۸۰ تا ۳/۳۷ و در لایه زیر سطحی ۰/۶۶ تا ۱/۹۳ بود. نتایج نشان دهنده کاهش معنی‌دار این شاخص در لایه سطحی و زیر سطحی تیمار ۱ سال پس از آتش نسبت به شاهد است ($P < 0.05$) و نسبت خاکدانه‌های درشت به ریز در مقایسه با شاهد به ترتیب ۳۷ و ۳۶ درصد کاهش یافت.

در مراتع نیمه استپی مناطق نیمه خشک، نفوذ آب به خاک دارای تغییرات مکانی قابل توجهی است که یکی از دلایل آن را می‌توان تخریب خاک و پوشش گیاهی بر اثر آتش دانست. جدول ۳ میانگین پارامترهای هدایت‌آبی اشباع (K_{fs})، عکس طول درشت موینگی (α) و ضریب جذبی خاک (S) تیمارهای ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش و شاهد را نشان می‌دهد.

دامنه تغییرات میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در لایه سطحی مناطق سوخته شده ۰/۵۸ تا ۰/۹۴ و در لایه زیر سطحی ۰/۴۹ تا ۰/۸۳ میلی‌متر و در لایه سطحی مناطق شاهد ۰/۶۸ تا ۰/۹۸ و در لایه زیر سطحی ۰/۵ تا ۰/۸۶ میلی‌متر بود. دامنه تغییرات میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) در لایه سطحی مناطق سوخته شده ۰/۴۶ تا ۰/۷۱ و در لایه زیر سطحی ۰/۴۱ تا ۰/۶۴ و در لایه سطحی مناطق شاهد ۰/۴۹ تا ۰/۸۱ و در لایه زیر سطحی ۰/۴۸ تا ۰/۶۶ میلی‌متر بود. MWD در لایه سطحی و زیر سطحی تیمار ۱ سال پس از آتش نسبت به شاهد به ترتیب ۱۸ و ۲۴ درصد کاهش یافت و در لایه سطحی تیمار ۲ سال پس از آتش نسبت به شاهد ۱۲ درصد کمتر بود. GMD نیز در لایه سطحی تیمارهای ۱ و ۲ سال پس از آتش نسبت به شاهد به ترتیب ۱۹ و ۱۱ درصد کاهش را نشان داد. نتایج حاصل نشان داد که MWD و GMD در لایه سطحی تیمارهای ۱ و ۲ سال پس از آتش، نسبت به مناطق شاهد کاهش معنی‌دار داشت ($P < 0.05$). همچنین MWD در لایه زیر سطحی تنها در تیمار ۱ سال پس از آتش در مقایسه با مناطق شاهد به صورت معنی‌دار کاهش یافت و تاثیر آتش بر GMD در لایه زیر سطحی در تمام سال‌های مورد مطالعه معنی‌دار نبود. جرم ویژه ظاهری خاک نیز در مناطق سوخته شده از ۱/۱۲ تا ۱/۴۸ و در مناطق شاهد ۱/۰۶ تا ۱/۳۶ ($g\ cm^{-3}$) متغیر بود. نتایج نشان داد که جرم ویژه ظاهری خاک در تیمارهای ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد ($P < 0.05$).

درصد وزنی خاکدانه‌ها در بخش‌های درشت (۲-۰/۲۵ میلی‌متر) و ریز (کوچکتر از ۰/۲۵ میلی‌متر) و نسبت خاکدانه‌های درشت به ریز در مناطق سوخته شده و شاهد در جدول ۲ ارائه گردیده است. درصد وزنی خاکدانه‌های درشت در لایه سطحی و زیر سطحی تیمار ۱ سال پس از آتش به ترتیب ۱۸ و ۱۹ درصد کمتر از شاهد بود، اما درصد وزنی خاکدانه‌های ریز در لایه سطحی و زیر سطحی تیمار ۱ سال پس از آتش به ترتیب ۳۲ و ۲۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت.

جدول ۲- میانگین درصد وزنی خاکدانه‌ها در بخش‌های درشت و ریز و نسبت خاکدانه‌های درشت به ریز ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش و شاهد

ویژگی	عمق (سانتی‌متر)	۱ سال پس از آتش			۲ سال پس از آتش			۳ سال پس از آتش		
		آتش	شاهد	آماره P	آتش	شاهد	آماره P	آتش	شاهد	آماره P
خاکدانه‌های درشت (درصد)	۱۵-۲۵	۴۶/۹	۵۷/۹	۰/۰۱۷	۵۱/۵	۵۲/۰	۰/۸۴۲	۵۱/۷	۴۹/۳	۰/۴۳۰
خاکدانه‌های ریز (درصد)	۱۵-۲۵	۴۷/۲	۳۵/۷	۰/۰۰۱	۴۳/۱	۳۹/۱	۰/۱۵۹	۴۳/۹	۳۹/۳	۰/۳۳۰
نسبت	۱۵-۲۵	۱/۱۶	۱/۸۲	۰/۰۰۰	۱/۳۸	۱/۵۷	۰/۲۹۴	۱/۳۸	۱/۷۱	۰/۳۳۵
خاکدانه‌های درشت به ریز	۱۵-۲۵	۰/۹۳	۱/۴۴	۰/۰۱۱	۱/۰۹	۱/۱۰	۰/۹۱۵	۱/۱۱	۰/۹۸	۰/۳۳۷

منظور از ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش، به ترتیب آتش‌سوزی در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷ است.

سال پس از آتش نسبت به مناطق شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد ($P < 0.05$) و در مقایسه با شاهد، ۳۰ درصد کاهش را نشان داد. دامنه تغییرات پارامتر ضریب جذب (S) در مناطق سوخته شده بین ۰/۲۹ تا ۱/۷۶ و در مناطق شاهد بین ۰/۳۳ تا ۲/۴۱ ($\text{cm min}^{-1/2}$) متغیر بود. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که پارامتر S تنها در تیمار ۳ سال پس از آتش به صورت معنی‌دار کمتر از شاهد بود ($P < 0.05$)، به طوری که در مقایسه با شاهد، ۴۱ درصد کاهش را نشان داد. اگر چه این روند کاهشی پارامتر S در تیمارهای ۱ و ۲ سال پس از آتش نیز مشاهده شد، ولی تفاوت آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P > 0.05$).

پارامتر هدایت آبی اشباع (K_{fs}) در مناطق سوخته شده ۰/۶ تا ۹/۵۵ و در مناطق شاهد ۱/۱۸ تا ۱۳/۷۶ (mm min^{-1}) متغیر بود. نتایج نشان داد که هدایت آبی اشباع (K_{fs}) در مناطق سوخته شده و شاهد در تمامی سال‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌دار داشت ($P < 0.05$) و آتش سبب کاهش آن در این تیمارها نسبت به شاهد شد، به طوری که پارامتر K_{fs} در ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش در مقایسه با مناطق شاهد، به ترتیب ۳۹، ۴۹ و ۲۹ درصد کاهش یافت. پارامتر عکس طول درشت موینگی (α) در مناطق سوخته شده ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۱۴ و در مناطق شاهد ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۲۲ (cm^{-1}) متغیر بود. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، پارامتر α تنها در تیمار ۲

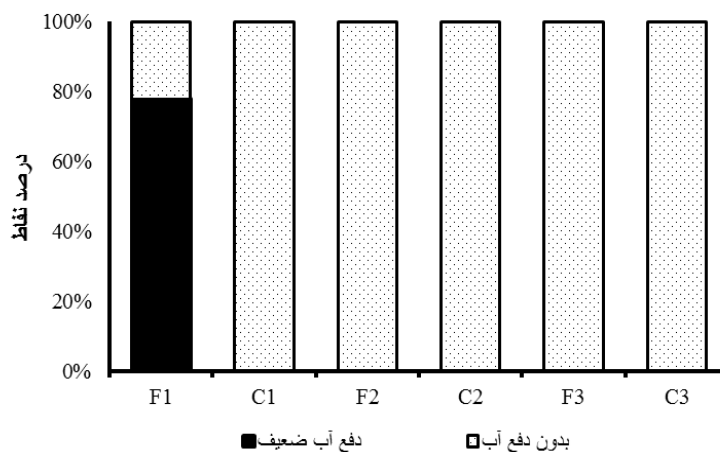
جدول ۳- میانگین پارامترهای نفوذ آب به خاک ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش و شاهد

ویژگی	۱ سال پس از آتش			۲ سال پس از آتش			۳ سال پس از آتش		
	آتش	شاهد	آماره P	آتش	شاهد	آماره P	آتش	شاهد	آماره P
هدایت آبی اشباع (mm min^{-1})	۱/۲۵	۲/۰۶	۰/۰۱۱	۴/۳۹	۸/۶۶	۰/۰۰۳	۱/۵۰	۲/۱۲	۰/۰۴۲
عکس طول درشت موینگی (cm^{-1})	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۶۴	۰/۰۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۱۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۲۲۶
ضریب جذب ($\text{cm min}^{-1/2}$)	۰/۵۸	۰/۶۵	۰/۲۴۱	۱/۳۲	۱/۶۲	۰/۱۵۱	۰/۳۹	۰/۵۶	۰/۰۰۳

منظور از ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش، به ترتیب آتش‌سوزی در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷ است.

خاصیت آب‌گریزی را نشان دادند و زمان نفوذ قطره آب مقطر به خاک در این تیمار ۵ ثانیه بود. این در حالی است که زمان نفوذ قطره آب مقطر به خاک در سایر تیمارها کمتر از ۵ ثانیه بود و این نشان دهنده عدم وجود دفع آب خاک در این مناطق بود.

درصد دفع آب خاک در مناطق سوخته شده و شاهد در شکل ۲ ارائه گردیده است. آزمایش زمان نفوذ قطره آب مقطر (WDPT) در مناطق تحت تاثیر آتش و شاهد حاکی از وجود دفع آب ضعیفی در ۱ سال پس از آتش بود به طوری که ۷۸ درصد از نقاط در این تیمار



شکل ۲- دفع آب خاک ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش و شاهد. (C1: شاهد ۱ سال پس از آتش، C2: شاهد ۲ سال پس از آتش، C3: شاهد ۳ سال پس از آتش، F1: ۱ سال پس از آتش، F2: ۲ سال پس از آتش، F3: ۳ سال پس از آتش)

جدول ۴- بردار ویژه ویژگی‌های فیزیکی خاک، ارزش‌های ویژه و درصد تغییرات محورهای PCA در لایه سطحی خاک

متغیر	محور اول	محور دوم	محور سوم	محور چهارم	محور پنجم
BD	۰/۲۷۲	-۰/۲۴۷	۰/۲۰۱	۰/۰۴۵	۰/۰۲۴
MWD	-۰/۴۰۵	-۰/۱۶۳	۰/۱۱۱	-۰/۱۵۰	-۰/۲۳۵
GMD	-۰/۴۲۹	-۰/۰۳۷	۰/۰۹۷	-۰/۳۲۱	-۰/۲۰۹
AR	-۰/۴۰۵	-۰/۱۳۱	۰/۱۰۶	-۰/۳۲۰	-۰/۰۹۵
Clay	-۰/۱۹۶	۰/۲۸۰	-۰/۵۴۶	۰/۰۵۱	۰/۰۴۶
Silt	۰/۱۲۳	۰/۲۰۱	۰/۴۴۸	-۰/۳۵۲	۰/۴۸۷
Sand	۰/۰۶۳	-۰/۴۲۵	۰/۰۸۲	۰/۲۶۹	-۰/۴۷۵
WDC	۰/۲۸۰	-۰/۱۸۰	۰/۳۵۸	-۰/۱۹۶	-۰/۱۷۹
Macro	-۰/۳۴۴	-۰/۳۴۶	۰/۱۳۲	۰/۲۴۵	۰/۳۸۰
Micro	۰/۳۴۴	۰/۲۴۶	-۰/۱۳۲	-۰/۲۴۵	-۰/۳۸۰
K_{fs}	-۰/۱۳۸	۰/۴۳۴	۰/۳۲۴	۰/۲۵۰	-۰/۲۰۵
α	-۰/۱۰۳	۰/۲۳۷	۰/۳۲۷	۰/۵۷۸	-۰/۰۶۵
S	-۰/۱۰۵	۰/۴۴۳	۰/۲۱۴	-۰/۱۲۸	-۰/۲۴۰
ارزش ویژه	۴/۰۱	۳/۰۷	۱/۶۴	۱/۳۵	۱/۱۹
تغییرات (%)	۳۰/۹	۲۳/۷	۱۲/۷	۱۰/۴	۹/۲
تغییرات تجمعی (%)	۳۰/۹	۵۴/۶	۶۷/۳	۷۷/۷	۸۶/۹

(BD: جرم ویژه ظاهری، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، GMD: میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها، AR: نسبت خاکدانه‌سازی، WDC: رس قابل پراکنش در آب، Macro: درصد وزنی خاکدانه‌های ماکرو، Micro: درصد وزنی خاکدانه‌های میکرو، K_{fs} : هدایت آبی اشباع، α : عکس طول درشت مویبندی و S: ضریب جذب). علامت مثبت و منفی ضرایب همبستگی به ترتیب ارتباط مثبت و منفی متغیر مورد نظر را با محورهای استخراجی نشان می‌دهد.

حرکت کنیم، ارزش عددی متغیرهای MWD، GMD، AR، Clay و Macro افزایش یافته و در نتیجه نقاطی که در طرف چپ محور اول هستند از این نظر با نقاطی که در طرف راست محور اول هستند، متفاوتند. همین تحلیل را در ارتباط با محور دوم و متغیرهای S و K_{fs} می‌توان داشت. متغیر GMD با بیشترین طول، بیشترین همبستگی را در جهت منفی با محور اول PCA دارا می‌باشد و نقاط قرار گرفته در سمت چپ محور اول (نقاط شاهد)، بیشتر تحت تاثیر این متغیر قرار گرفته و GMD سبب تفکیک مناطق تحت تاثیر آتش از شاهد شده است. به طوری که با حرکت از سمت مثبت به سمت منفی محور اول MWD افزایش یافته و به دلیل تاثیر منفی آتش‌سوزی، این پارامتر در مناطق سوخته شده نسبت به شاهد کمتر بود. افزون بر آن، متغیرهای WDC، BD، Silt و Micro نیز در جدایی مناطق سوخته از شاهد نقش داشته و به دلیل تاثیر آتش، در مناطق سوخته شده نسبت به شاهد بیشتر بودند. با توجه به اینکه نقاط سوخته شده در سمت چپ و نقاط شاهد در سمت راست محور اول واقع شده‌اند، می‌توان گفت که این محور نمایانگر شیب تغییرات آتش‌سوزی است که هم تغییرات در سال‌های مختلف و هم در بین مناطق حریق و شاهد را نمایش می‌دهد و از این نظر می‌توان اختلاف در ویژگی‌های ناشی از آتش‌سوزی را مشاهده نمود. نتایج بدست آمده از روش‌های آماری چند متغیره (تجزیه به مولفه‌های اصلی، PCA) همانند روش‌های آماری تک متغیره (آزمون t مستقل) به خوبی تاثیر آتش بر لایه سطحی

بردار ویژه ویژگی‌های فیزیکی خاک، ارزش‌های ویژه^۱ و درصد تغییرات محورهای PCA در جدول ۴ ارائه گردیده است. با توجه به مقادیر ارزش ویژه، ۵ محور استخراج شد که به ترتیب ۳۰/۹، ۲۳/۷، ۱۲/۷، ۱۰/۴ و ۹/۲ درصد و در مجموع ۸۶/۹ درصد از کل تغییرات را به خود اختصاص دادند. همانگونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود متغیر BD همبستگی مثبت و متغیرهای MWD، GMD، AR و همبستگی منفی با محور اول، متغیرهای S و K_{fs} همبستگی مثبت با محور دوم، Clay همبستگی منفی و متغیرهای Silt و WDC همبستگی منفی با محور سوم، α دارای همبستگی مثبت با محور چهارم و Macro همبستگی مثبت و متغیرهای Micro و Sand همبستگی منفی با محور پنجم دارا می‌باشند.

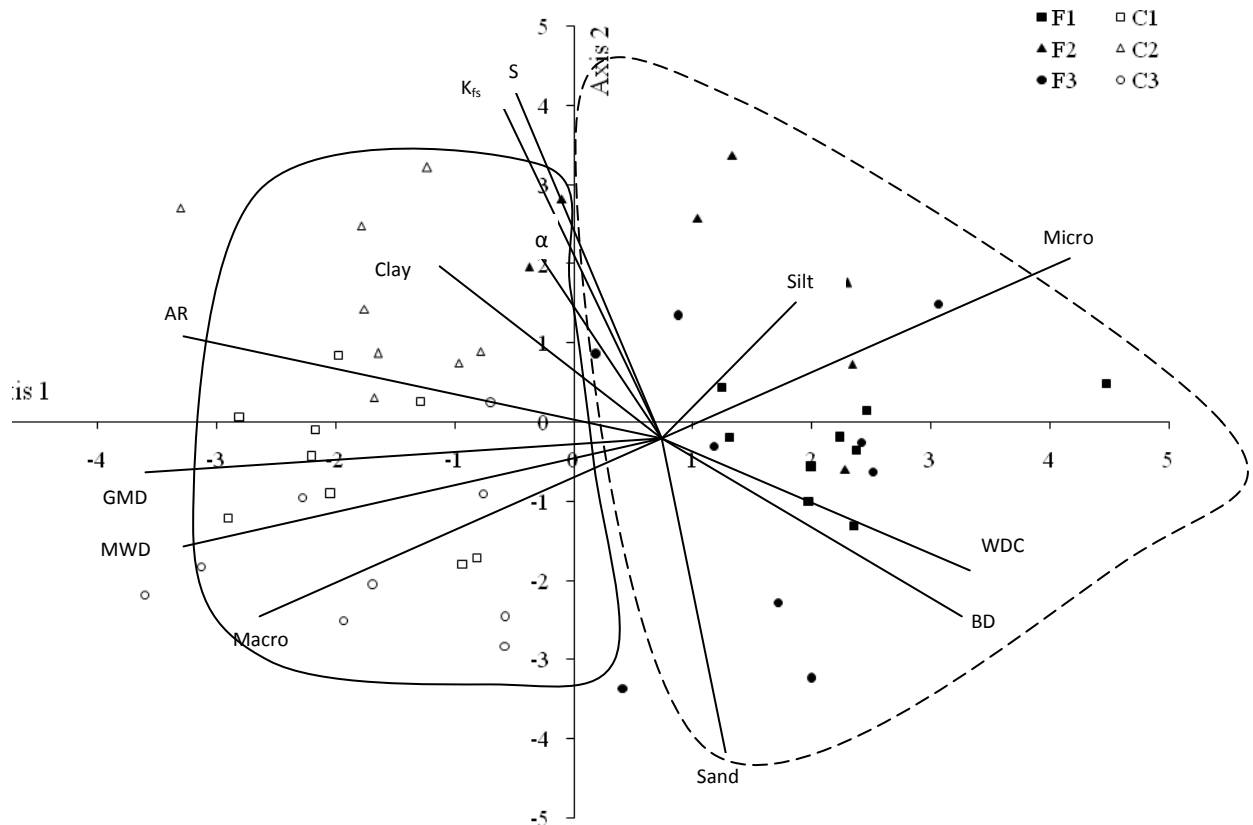
نتایج بررسی ویژگی‌های فیزیکی لایه سطحی خاک (صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) با استفاده از آزمون تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) در شکل ۳ ارائه گردیده است. همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود نقاط شاهد در سمت چپ محور اول و نقاط تحت تاثیر آتش‌سوزی در سمت راست محور اول واقع شده‌اند. با توجه به شکل می‌توان گفت محور اول بیشتر از محور دوم در تفکیک مناطق سوخته از شاهد نقش دارد و این محور نشان دهنده تاثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد. هرچه از طرف راست محور اول به سمت چپ آن

فرایندهای فرسایش و جداسازی انتخابی ذرات ریز خاک کاهش یافت. علت افزایش رس قابل پراکنش در آب (WDC) پس از آتش-سوزی را می‌توان ناشی از کاهش ماده آلی خاک (۱) و افزایش درصد وزنی خاکدانه‌های میکرو دانست. دیگر دلیل افزایش درصد رس قابل پراکنش در آب را می‌توان به فشرده شده خاک و افزایش جرم ویژه ظاهری پس از آتش‌سوزی نسبت داد (جدول ۱). در این زمینه اسپونینگ و همکاران (۳۰) نیز افزایش رس قابل پراکنش در آب را بر اثر افزایش جرم ویژه ظاهری خاک گزارش کردند. رس قابل پراکنش در آب بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل انبساط و انقباض در خاک‌هایی با رس بالا، هدایت آبی خاک، آلودگی آب و سله سطحی خاک تاثیر گذار است (۱۱) و افزایش آن بر اثر آتش‌سوزی می‌تواند مشکلات بسیار زیاد محیطی را سبب شود و سبب سله بستن خاک، متلاشی شدن ساختمان خاک و فرسایش ناشی از پراکنش رس‌ها شود (۱۱).

خاک ۱، ۲ و ۳ سال پس از آتش نسبت به شاهد را نمایان کرد و PCA سبب تفکیک مناطق تحت تاثیر آتش‌سوزی از مناطق شاهد در لایه سطحی تیمارهای یاد شده، گردید.

بحث

نتایج جدول ۱ نشان دهنده کاهش معنی‌دار درصد رس بر اثر آتش‌سوزی است که دلیل آن را در مطالعه حاضر می‌توان ناشی از جداسازی انتخابی ذرات رس توسط قطرات باران و وقوع فرسایش پس از سوختن پوشش گیاهی و لخت شدن خاک دانست. در این راستا کترینگز و بیگام (۲۲) علت درشت شدن بافت خاک پس از آتش‌سوزی را بوجود آمدن ذرات درشت هم اندازه شن از اجزاء رس و سیلت بر اثر حرارت ناشی از آتش در دمای بیشتر از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد دانستند. گرانجید و همکاران (۱۶) نیز گزارش کردند، آتش موجب درشت شدن بافت خاک پس از آتش‌سوزی شد به طوری که در نتیجه آتش‌سوزی درصد شن افزایش و درصد رس و سیلت به علت



شکل ۳- دیاگرام تحلیل PCA ویژگی‌های فیزیکی لایه سطحی خاک (صفر تا ۱۰ سانتی‌متر). (C1: شاهد ۱ سال پس از آتش، C2: شاهد ۲ سال پس از آتش، C3: شاهد ۳ سال پس از آتش، F1: ۱ سال پس از آتش، F2: ۲ سال پس از آتش، F3: ۳ سال پس از آتش)

تخریب خاکدانه‌های ماکرو، درصد وزنی خاکدانه‌های میکرو بر اثر آتش‌سوزی افزایش یافت. در مناطق شاهد به دلیل مواد آلی بیشتر و رشد گیاهان، و اثر ریشه‌های گیاهان و هیف‌های قارچی در به دام انداختن ذرات خاک و آزادسازی ترشحات چسبنده، درصد خاکدانه‌های ماکرو بیشتر از مناطق سوخته بود. اولیوا و همکاران (۲۷) بیان کردند که خاکدانه‌های ماکرو یک منبع مهم از کربن و نیتروژن آلی به شمار می‌آیند و نقش مهمی در حفظ و پویایی کربن آلی خاک ایفا می‌کنند و تقریباً ۸۰ درصد از کل کربن و نیتروژن خاک را شامل می‌شوند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که سوزاندن کاه و کلش، خاکدانه‌های ماکرو را تخریب و کربن آلی آن‌ها را به علت درجه حرارت آتش‌سوزی ۵۰ درصد کاهش و خاکدانه‌های میکرو و کربن آن‌ها را به همان اندازه افزایش داد.

با سوختن پوشش گیاهی مراتع منافذ درشت سطح خاک توسط لایه نازکی از خاکستر تولید شده بر اثر آتش‌سوزی مسدود می‌شوند و این اتفاق موجب کاهش سرعت جریان آب در خاک رخ می‌شود که در نتیجه آن ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به ویژه هدایت آبی اشباع پس از آتش‌سوزی کاهش می‌یابد (۳۲). همچنین به دلیل وابستگی شدید هدایت آبی اشباع به فراوانی نسبی ذرات و ساختمان خاک، این پارامتر دارای تغییرپذیری بالایی است و هرگونه تغییر فراوانی نسبی ذرات و کاهش ضرایب پایداری خاکدانه‌ها (MWD و GMD)، کاهش هدایت آبی اشباع را به دنبال دارد. افزون بر آن کاهش هدایت آبی اشباع بر اثر آتش‌سوزی را می‌توان به افزایش جرم ویژه ظاهری خاک پس از سوختن پوشش گیاهی نسبت داد. در نتیجه افزایش جرم ویژه ظاهری پس از آتش‌سوزی، تخلخل خاک و به ویژه خلل و فرج درشت کاهش یافته و این کاهش میزان تخلخل خاک، کاهش هدایت آبی اشباع را تحت تاثیر آتش‌سوزی به همراه دارد. دلیل کاهش ضریب جذب بر اثر آتش‌سوزی را احتمالاً می‌توان به کاهش درصد رس در مناطق سوخته شده در مقایسه با شاهد نسبت داد، زیرا به دلیل تاثیری که نیروی موینگی بر ضریب جذب خاک دارد، هرچه درصد رس خاک بیشتر باشد نیروی موینگی افزایش می‌یابد و به تبعیت از آن ضریب جذب خاک نیز افزایش می‌یابد (۸). کاهش پارامترهای هدایت آبی اشباع (K_{fs}) و ضریب جذب (S) بر اثر آتش‌سوزی، افزایش رواناب و فرسایش را به دنبال دارد و توانایی خاک‌ها برای تولید محصول را در دراز مدت به‌طور معنی‌دار کاهش می‌دهد (۳۲). والزانو و همکاران (۳۲) در مطالعات خود کاهش معنی‌دار پارامترهای ضریب جذب، نرخ نهایی نفوذ آب به خاک و هدایت آبی در پلات‌های سوخته شده نسبت به شاهد را گزارش کردند. نتایج حاصل از پژوهش رویچاد (۲۹) نشان داد که سوختگی شدید سبب ایجاد شرایط آب‌گریز در خاک شده و منجر به کاهش هدایت آبی خاک به میزان ۱۰ تا ۴۰ درصد در مقایسه با شرایط نفوذ معمولی آب به

از آنجا که تمامی سایت‌های مورد آزمایش در منطقه مطالعاتی از نظر مواد مادری، اقلیم، بافت خاک و دیگر شرایط محیطی تقریباً مشابه بودند، بنابراین کاهش معنی‌دار ضرایب پایداری خاکدانه‌ها (MWD و GMD) در مناطق سوخته شده نسبت به شاهد را می‌توان، به علت کاهش ماده آلی خاک (۱) و افزایش درصد رس‌های قابل پراکنش (WDC) پس از آتش‌دانست (جدول ۱). در این راستا، نقش ماده آلی در بهبود پایداری خاکدانه‌ها توسط چانی و سویت (۷) گزارش شده است. همچنین کوک و همکاران (۸) دریافتند که کربن آلی خاک می‌تواند رس‌های قابل پراکنش را کاهش داده و در نتیجه سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها شود. تخریب ساختمان خاک تحت تاثیر عوامل مختلف از جمله آتش‌سوزی، باعث نامطلوب شدن ویژگی‌های فیزیکی همچون کاهش تهویه و کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود که نتیجه این عمل افزایش رواناب سطحی و به دنبال آن تشدید فرسایش خاک می‌باشد. جیوانینی و همکاران (۱۵)، وست و همکاران (۳۴) و هوبرت و همکاران (۱۸) نیز در تحقیقات خود کاهش پایداری خاکدانه‌ها بر اثر آتش‌سوزی را گزارش و بیان کردند که به دلیل کاهش مواد آلی پس از آتش‌سوزی، همبستگی میان ذرات خاک از بین می‌رود، فضاهای خالی خاک کاهش و در نتیجه دانه‌بندی مطلوب خاک بر اثر آتش‌سوزی از بین می‌رود و به مرور زمان خاک فشرده می‌شود.

افزایش جرم ویژه ظاهری را می‌توان به دلیل سوختن لایه لاشبرگ و ماده آلی در نتیجه آتش‌سوزی دانست به این صورت که با کاهش ماده آلی خاک، حجم منافذ خاک به‌ویژه منافذ درشت کاهش می‌یابد و سبب فشرده شدن خاک و افزایش جرم ویژه ظاهری پس از آتش‌سوزی می‌شود (۱۳ و ۳۱). افزون بر آن، دلیل دیگر افزایش جرم ویژه ظاهری در مناطق سوخته شده را می‌توان به کاهش پایداری خاکدانه‌ها و درصد رس در این مناطق پس از آتش‌سوزی نسبت داد. جیوانینی و همکاران (۱۵) افزایش جرم ویژه ظاهری خاک در نقاط سوخته شده نسبت به شاهد را به دلیل کاهش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش مواد آلی در نقاط سوخته شده و انسداد منافذ درشت خاک توسط خاکستر ناشی از سوختن پوشش گیاهی نسبت داد. افزون بر آن، سرتینی (۶) نیز افزایش جرم ویژه ظاهری خاک را به دلیل فروپاشی خاکدانه‌ها و مسدود شدن منافذ خاک توسط خاکستر و رس‌های قابل پراکنش گزارش کرد.

با توجه به نتایج جدول ۲ می‌توان گفت افزایش درصد وزنی خاکدانه‌های میکرو در لایه سطحی و زیر سطحی تیمار ۱ سال پس از آتش نسبت به شاهد، بیانگر از بین رفتن ماده آلی و پوشش گیاهی سطح خاک، خشک شدن منطقه ریشه، افزایش سرعت تجزیه مواد آلی خاک، کاهش منبع ناپایدار کربن آلی خاک، و از بین رفتن خاکدانه‌های ماکرو و تخریب ساختمان خاک است که در نهایت با

خاک شد.

آتش‌سوزی‌های سالانه اثرات منفی زیادی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک این مناطق به دنبال دارد. نتایج این مطالعه نشان داد سوزاندن پوشش گیاهی مراتع سبب کاهش پارامترهای نفوذ آب به خاک به ویژه هدایت آبی اشباع شد که به‌طور قابل توجهی می‌تواند سبب افزایش خطر رواناب، حمل رسوب و فرسایش خاک شود. بنابراین، اگر پوشش گیاهی مراتع در کوتاه‌ترین زمان ممکن به‌طور موفقیت‌آمیزی پس از آتش‌سوزی در منطقه مستقر شوند، سطح بیشتری از خواص از دست رفته خاک از جمله نفوذ آب به خاک را می‌توان بازیافت و حتی آن‌ها را افزایش داد. افزون بر آن نتایج نشان داد با گذشت زمان از وقوع آتش‌سوزی بیشتر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در مناطق سوخته به شرایط مناطق شاهد نزدیک شدند. پیشنهاد آتش‌سوزی از طرف مدیران مراتع نیمه استپی که پوشش گیاهی آن‌ها از بوته‌ای‌های بی ارزش تشکیل شده است باعث ترغیب دامداران و بهره‌برداران به این کار شده و اگرچه این احتمال وجود دارد که در سال اول بعد از آتش‌سوزی ترکیب گیاهی مناسبی برای دام خود مهیا سازند ولی با فشار چرای زیاد امکان تخریب مرتع را بیش از پیش افزایش می‌دهند. بر این اساس می‌توان بیان کرد که آتش به عنوان ابزار مدیریتی بایستی تنها در چهارچوب مدیریت کلی مرتع قرار گیرد و استفاده تنها از آن بدون در نظر گرفتن آثار مخرب آن بر خاک با شکست مواجهه می‌شود. مطالعات بیشتر در زمینه اثر آتش‌سوزی طی سال‌های مختلف بر ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک، تولید رواناب و فرسایش اطلاعات ارزشمندی در چگونگی استفاده از آتش برای مدیریت صحیح اکوسیستم‌های مرتعی فراهم می‌آورد.

همانگونه که شکل ۲ نشان می‌دهد در سال اول پس از وقوع آتش‌سوزی، شرایط آب‌گریز در خاک ایجاد شده و با گذشت ۲ و ۳ سال پس از آتش اثری از دفع آب خاک مشاهده نشد، زیرا مواد آب‌گریز در آب محلول می‌باشند و پس از مدتی که در معرض رطوبت قرار می‌گیرند در هم می‌شکنند و از بین می‌روند (۲۹ و ۳۵). بر اثر سوختن پوشش گیاهی و گرم شدن لایه سطحی خاک، برخی از مواد آلی با خاصیت آب‌گریزی مانند هیدروکربن‌های آلیفاتیک تخیخ می‌شوند و در امتداد شیب حرارتی خاک به طرف پایین حرکت می‌کنند و روی ذرات خاک متراکم شوند و لایه‌های دفع آب خاک را بوجود آورند. خاصیت آب‌گریزی در خاک سبب کاهش ظرفیت نفوذ آب، کاهش قابلیت خیس خوردگی خاک و قابلیت دسترسی آب برای گیاهان می‌گردد (۲۰). کاهش قابلیت خیس خوردگی خاک، می‌تواند پراکندگی ذرات خاک را در اثر ضربه قطرات باران افزایش دهد، رواناب سطحی را بیشتر، فرسایش خاک در مناطق شیب‌دار را افزایش و سرانجام فرسایش شیاری را به وجود آورد. با توجه به پیامدهای هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی دفع آب خاک می‌توان گفت که، آشکارترین اثر هیدرولوژیکی شرایط آب‌گریز خاک، کاهش نفوذ آب است که این امر می‌تواند باعث تشدید نرخ فرسایش خاک توسط جریان‌های سطحی آب شود (۱۹). نتایج حاصل از پژوهش دبانو (۹) نشان داد که طول عمر مواد آب‌گریز کمتر از یک سال است اما دفع آب ناشی از این مواد ممکن است تا چند سال ادامه داشته باشد و سبب افزایش رواناب، حمل رسوب و فرسایش شود.

نتیجه‌گیری

نظر به این که خاک‌های مراتع نیمه استپی کرسنک، کم عمق، با ظرفیت نگهداری آب کم و خطر بالای فرسایش می‌باشند، وقوع

سپاسگزاری

نگارندگان از دانشگاه شهرکرد که اعتبار مالی لازم برای انجام این پژوهش را فراهم نمود تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- ۱- حیدری ج. و قربانی دشتکی ش. ۱۳۹۱. تاثیر آتش‌سوزی پوشش گیاهی بر کیفیت خاک مراتع نیمه استپی کرسنک، چهارمحال و بختیاری. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۰:۱۴۲-۱۲۵.
- ۲- طهماسبی پ. ۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل‌های چند متغیره در علوم محیطی و منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه شهرکرد. ۱۷۹ص.
- ۳- مولوی ر.، باقرنژاد م. و ادهمی ا. ۱۳۸۸. اثر آتش‌سوزی جنگل و سوزاندن پسماند زراعی بر تغییرات کانی‌های رسی و برخی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی لایه‌های سطحی خاک. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) ۴۹: ۱۱۰-۹۹.
- 4- Blake G.R., and Hartge K.H. 1986. Bulk density. p. 363-375. In A. Klute. (ed) Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI.
- 5- Cambardella C.A., and Elliott E.T. 1993. Carbon and nitrogen distributions in aggregates from cultivated and grassland soils. Science Society of America journal, 57:1071-1076.
- 6- Certini G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. Oecologia, 143:1-10.
- 7- Channey K., and Swift R.S. 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. Soil Science, 35:223-230.
- 8- Cook G.D., So H.B., and Dalal R.C. 1992. Structural degradation of two Vertisols under continuous cultivation.

- Soil and Tillage Research, 24:47–64.
- 9- DeBano L.F. 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments. *Journal of Hydrology*, 232:195–206.
 - 10- DeBano L.F., Neary D.G., and Ffolliott P.F. 1998. *Fire effects on ecosystems*. Wiley, New York.
 - 11- Dexter A.R., and Czyz E.A. 2000. Effect of soil management on the dispersibility of clay in the southeastern United States. *Biology and fertility of soils*, 38:386-392.
 - 12- Doerr S.H., Shakesby R.A., and Walsh R.P.D. 2000. Spatial variability of soil hydrophobicity in fire -prone eucalyptus and pine forests, Portugal. *Soil Science*, 163:313-324.
 - 13- Ekinci H. 2006. Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Canakkale, Turkey. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8:102–106.
 - 14- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle Size Analysis. p. 383-411. In A. Klute. (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI.
 - 15- Giovannini G., Lucchesi S., and Giachetti M. 1988. Effects of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, 146:255–261.
 - 16- Granged A.J.P., Zavala L.M., Antonio J., and Bárcenas-Moreno G. 2011. Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: A 3-year study. *Geoderma*, 164:85–94.
 - 17- Haubensak K., Antonio C.D., and Wixon D. 2009. Effect of fire and environmental variables and composition in grazed salt desert shrub lands of the Great Basin (USA). *Journal of Arid Environments*, 73:643-650.
 - 18- Hubbert K.R., Preisler H.K., Wohlgemuth P.M., Graham R.G., and 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.
 - 19- Imeson A.C., Verstraten J.M., Van Mulligen E.J., and Sevink J. 1992. The effects of fire and water repellency on infiltration and runoff under Mediterranean type forest. *Catena*, 19:345–361.
 - 20- Jong L.W., Jacobsen O.H., and Moldrup P. 1999. Soil water repellency: effects of water content, temperature and particle size. *Soil Science Society of America Journal*, 63:437-442.
 - 21- Kayode S.A., Gabriel A., Oluwatosin O., Adeyolanu D., and Adebayo O. 2008. Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: Soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 103:4–10.
 - 22- Ketterings Q.M., and Bigham J.M. 2000. Soil color as an indicator of slash-and-burn fire severity and soil fertility in Sumatra, Indonesia. *Soil Science Society of America Journal*, 64:1826–1833.
 - 23- Li X.G., Li Y.K., Li F.M., Ping Q.M., Zhang L., and Yin P. 2009. Changes in soil organic carbon, nutrients and aggregation after conversion of native desert soil into irrigated arable land. *Soil and Tillage Research*, 104:263–269.
 - 24- Lorena M., Zavala F.A., and Gonzalez A.J. 2009. Fire-induced soil water repellency under different vegetation types along the Atlantic dune coast-line in SW Spain. *Catena*, 79:153–162.
 - 25- Martinez F.J., and Pereira D.E. 1994. Changes of the physical and chemical properties in soil affected by forest fire in Sierra Larga, Murcia, Spain. p. 67–77. In M. Sala and J.L. Rubio (ed.) *Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires*: Geofoma Ediciones, Logroño.
 - 26- McKenzie N., Coughlan K., and Cresswell H. 2008. Soil physical measurement and interpretation for land evaluation. p.108-119. CSIRO, Sydney, Australia.
 - 27- Oliva F.G., Robert L.S., and Kelly E. 1999. Effects of slash-and-burn management on soil aggregate organic C and N in a tropical deciduous forest. *Geoderma*, 88:1–12.
 - 28- Philip J.R. 1957. The theory of infiltration. The infiltration equation and its solution. *Soil science*, 3:345–357.
 - 29- Robichaud P.R. 1999. Fire effects on infiltration rates after prescribed fire in Northern Rocky Mountain forests, USA. *Journal of Hydrology*, 232:220–229.
 - 30- Schonning P., Munkholm L.J., Elmholt S., and Olsen J.E. 2007. Organic matter and soil tilth in arable farming: management makes a difference within 5-6 years. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122:157-172.
 - 31- Stoof C.R., Wesseling J.G., and Ritsema C.J. 2010. Effects of fire and ash on soil water retention. *Geoderma*, 159:276-285.
 - 32- Valzano F.P., Greene R.S.B., and Murphy B.W. 1997. Direct effects of stubble burning on soil hydraulic and physical properties in a direct drill tillage system. *Soil and Tillage Research*, 42:209-219.
 - 33- Wells C.G., Campbell R.E., DeBano L.F., Lewis C.E., Fredriksen R.L., Franklin E.C., Froelich R.C., and Dunn P.H. 1979. Effects of fire on soil, a state-of-knowledge review. USDA Forest Service, Washington Office, General Technical Report WO-7.
 - 34- Wuest S.B., Caesar-TonThat T.C., Wright S.F., and Williams J.D. 2005. Organic matter addition, N, and residue burning effects on infiltration, biological, and physical properties of an intensively tilled silt-loam soil. *Soil and Tillage Research*, 84:154–167.
 - 35- Zavala L.M., Granged A.J.P., Jordan A., and Gema B.M. 2010. Effect of burning temperature on water repellency and aggregate stability in forest soils under laboratory conditions. *Geoderma*, 158:366–374.

Effect of Rangeland Fire on Soil Physical Properties and Water Infiltration Parameters using Principle Component Analysis

J. Heidary¹- Sh. Ghorbani Dashtaki^{2*}- F. Raiesi³- P. Tahmasebi⁴

Received: 04-08-2013

Accepted: 03-08-2014

Abstract

Annual fires might change many soil physical properties in semi steppe rangeland. The objective of this study was to investigate the impact of fire on soil physical properties and soil water infiltration parameters in semi-steppe rangeland of Karsanak region in Chaharmahal and Bakhtiari province. Therefore, several sites were chosen which were affected by fire at three, two and one years prior to this study (i.e. 2008, 2009 and 2010, respectively). Soil water infiltration was measured using tension infiltrometer in 54 points of the study sites. Since the soil samples were taken from to depth (0-10 cm and 15-25 cm) of each site, the numbers of soil samples for laboratory analysis were 108. Independent t-test and principle component analysis (PCA) was used to assess the difference between the measured properties at the burned and control sites. The results showed that aggregates stability coefficients (MWD and GMD) in the surface layer significantly reduced in 1 and 2 years after fire compared with control areas. Water dispersible clay (WDC) and bulk density significantly increased in surface layer of all burned areas compared with control areas. Saturation hydraulic conductivity significantly decreased in burned areas in 1, 2 and 3 years after. The results showed that annual fires occurs have many negative effects on soil physical properties cause to shallow, low water retention capacity and high risk of erosion in semi steppe rangeland.

Keywords: Fire, Hydrophobic soil, Soil physical properties, Multivariate, Semi steppe rangeland

1, 2, 3- Former MSc Student, Associate Professor and Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Respectively

(*-Corresponding Author Email: shoja2002@yahoo.com)

4- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resource and Earth Science, Shahrekord University