



DOI: 10.22092/irm.2020.352228



تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۱۰/۲۵  
تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۳/۰۲

# اثر آتش سوزی بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مراتع سولان استان همدان

قاسم اسدیان<sup>۱\*</sup>، مهناز ختار<sup>۲</sup>، رضا سیاه‌منصور<sup>۳</sup> و مهدی احمدیان<sup>۴</sup>

چکیده

آتش سوزی بر تمام اجزای یک بوم‌سازگان مؤثر است و از کیفیت آنها می‌کاهد. در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر آتش سوزی بر ویژگی‌های خاک، نمونه‌های خاک سوخته و شاهد از عمق سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) طی سه سال ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ از منطقه سولان همدان برداشت شد و کربن آلی، فسفر و پتاسیم، شوری، pH، آهک، شن، رس و سیلت آنها، اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد آتش سوزی سبب افزایش درصد شن (۱۲/۷۵ درصد) و کاهش درصد سیلت و رس (به ترتیب ۱۲/۰۹ و ۰/۶۶ درصد) شد. فسفر قابل دسترس خاک در تیمار سوخته افزایش (۹۰/۳۲ درصد) یافت. آهک و pH خاک در هر دو تیمار شاهد و سوخته بسیار نزدیک بود. ماده آلی (۳۰ درصد)، پتاسیم قابل دسترس (۸/۴۵ درصد) و شوری خاک (بیش از ۱۶ درصد) در اثر آتش سوزی نسبت به شاهد کاهش یافتند. با گذشت سه سال از آتش سوزی، میزان شن، افزایش و میزان آهک و شوری خاک کاهش یافت، اما تغییرات ویژگی‌های دیگر روند مشخصی نداشت. با توجه به نتایج این پژوهش لازم است با مدیریت مناسب اکوسیستم‌های طبیعی، از آتش سوزی‌های عمدی و غیر عمدی جلوگیری شود و در صورت بروز چنین حوادثی با افزایش مواد آلی و تقویت جانداران خاک، این مناطق را احیا و توان تولید آنها را تقویت کرد. واژه‌های کلیدی: آهک، بافت خاک، عناصر غذایی قابل دسترس خاک، ماده آلی.

## Effect of fire on soil chemical and physical properties in the Solan rangelands, Hamadan Province, Iran

Gh. Assadian<sup>1\*</sup>, M. Khataar<sup>2</sup>, R. Siah Mansoor<sup>3</sup> and M. Ahmadian<sup>4</sup>

### Abstract

Fire affects all components of the ecosystem and reduces its quality. In this study, to investigate the effect of fire on soil properties, burned and control soil samples were taken from the surface depth (0-30 cm) during three years 2018-2020 from the Solan region of Hamadan; then, organic carbon, phosphorus, and potassium, salinity, pH, lime, sand, clay, and silt were measured. The results showed that the fire increased the percentage of sand (12.75%) and decreased silt and clay percentage (12.09 and 0.66%, respectively). Available soil phosphorus increased (90.32%) in the burned treatment. Lime and soil pH levels were very close in both control and burned treatments. The amount of organic matter (30%), available potassium (8.45%), and soil salinity (more than 16%) decreased in burn treatment. During the three years after the fire occurrence, the percentage of sand increased, and the lime percentage and soil salinity decreased; however, the other characteristics did not show a definite trend of changes. According to the results, it is necessary to prevent intentional and unintentional fires with proper management of natural ecosystems. In case of such incidents, these areas should be rehabilitated and their production capacity strengthened by increasing organic matter and soil organisms.

**Keywords:** Available soil nutrients, lime, organic matter, soil texture

\*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

پست الکترونیک: E mail: Assadian42@yahoo.com

۲- دکتری فیزیک و حفاظت خاک، واحد تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

۴- پژوهشگر، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

1\*-Corresponding author, Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran. E mail: Assadian42@yahoo.com

2- PhD in Soil Physics, Soil and water research department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.

3- Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorram abad, Iran.

4- Researcher, Forests and Rangelands Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.



## مقدمه

آتش سوزی یک پدیده رایج در اکوسیستم‌های زمینی است که به صورت عمدی، یا غیر عمدی ایجاد و سبب تغییرات بسیاری در اجزای مختلف آن می‌شود. به طوری که گاهی در شرایط کنترل نشده، حتی چرخه هیدرولوژی، کربن و عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مشکلات زیادی را به بار می‌آورد. از مهم‌ترین این مشکلات، می‌توان به تخریب ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک اشاره کرد که اغلب باعث بروز تغییرات دائمی و غیر قابل برگشت می‌شود (Verma et al., 2019). با ایجاد این تغییرات در خاک، بخش‌های دیگر اکوسیستم مانند پوشش گیاهی، هوا، آب و موجودات زنده، که از عوامل مؤثر در برقراری تعادل و پایداری طبیعی اکوسیستم هستند، نیز دچار تغییر و تخریب می‌شوند. از جمله ویژگی‌های خاک که به شدت تحت تأثیر آتش سوزی قرار می‌گیرند، ساختار و تخلخل خاک، پایداری در برابر فرسایش، آب‌گریزی و نفوذپذیری آب در خاک، مواد آلی، تبخیر کاتیون‌ها، ذخایر عناصر غذایی و چرخه آنها، تنوع گونه‌های موجودات ریز و درشت و جمعیت آنها در خاک است (مصلحی و همکاران، ۱۳۹۲؛ اشرفی سعیدلو و رسولی صدقیانی، ۱۳۹۳). مقدار این تغییرات بستگی به شدت آتش سوزی و عواملی مانند درجه حرارت و رطوبت هوا، سرعت باد، توپوگرافی، رطوبت خاک و پوشش گیاهی دارد. هر چه مدت زمان و دمای ایجاد شده ناشی از آتش سوزی بیشتر باشد، آثار مخرب آن شدیدتر و غیر قابل برگشت‌تر است (Campbell et al., 1994).

در فرایند آتش سوزی، مواد آلی خاک به سرعت از بین می‌روند و نرخ معدنی شدن و نسبت کربن به نیتروژن موجود در خاک تغییر می‌کند. در این شرایط مقداری از نیتروژن خاک، متصاعد و در نهایت سبب کاهش عناصر غذایی و فقیر شدن خاک می‌شود (Francos et al., 2019؛ Neary et al., 1999). نیتروژن باقی مانده در خاک نیز با گذشت زمان از طریق نیتریفیکاسیون تبدیل به نیترات می‌شود که به دلیل حلالیت بالا به سرعت شسته شده و از خاک خارج می‌شود.

مقدار فسفر، پتاسیم و عناصر غذایی دیگر مانند کلسیم و منیزیم نیز متأثر از آتش سوزی هستند، به طوری که در ابتدا و با معدنی شدن ترکیبات آلی ممکن است غلظت قابل دسترس آنها در خاک افزایش یابد، اما این روند، با گذشت زمان و به دلیل عواملی مانند آب شویی، یا فعل و انفعالات شیمیایی تغییر می‌کند (اشرفی سعیدلو و رسولی صدقیانی، ۱۳۹۳). همچنین، pH خاک نیز تحت این شرایط به سمت خشی میل می‌کند و قابلیت دسترسی عناصر غذایی را بیش از پیش تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hamman et al., 2019؛ Hu et al., 2008). از دیگر ویژگی‌های خاک که حساسیت زیادی به آتش سوزی دارد، ماده آلی است (Certini, 2005)، ماده آلی از مهم‌ترین عوامل سیمانی‌کننده خاک است که با هم‌آوری ذرات اولیه خاک، موجب تشکیل خاکدانه‌ها می‌شود که نقش بسزایی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند ساختمان و چگالی ظاهری دارد (Bronick & Lal, 2005)؛ محمودآبادی، ۱۳۹۰؛ میرزاشاهی و بازرگان، ۱۳۹۴). در فرایند خاکدانه‌سازی، خاکدانه‌هایی با سایزهای مختلف تشکیل می‌شوند، بنابراین، منافذ ایجاد شده نیز اندازه‌های متفاوتی دارند که ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک را به طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهند. این ویژگی‌ها، شاخص مناسبی برای تشخیص حساسیت خاک در برابر تشکیل سله، تولید رواناب و مقاومت ساختمان خاک هستند (Green et al., 2007). در شرایط آتش سوزی، از یک سو، به دلیل افزایش مقاومت مکانیکی خاک و ریشه‌دوانی، جذب آب و عناصر غذایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و کاهش می‌یابد، از سوی دیگر، به دلیل افت ماده آلی که باعث تخریب منافذ، به ویژه منافذ درشت خاک می‌شود، هدایت هیدرولیکی کم و از انتقال مواد به سمت ریشه کاسته می‌شود. همچنین، در این شرایط به دلیل از بین رفتن منابع غذایی آلی و کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی، نگهداشت و قابلیت دسترسی عناصر غذایی خاک برای گیاه نیز به شدت کاهش می‌یابد. این عوامل موجب توقف رشد گیاه و کاهش تنوع گونه‌های زیستی شده و در نهایت در پی افت نفوذپذیری خاک و افزایش رواناب آب، خاک و گیاهان منطقه از بین رفته و تخریب مراتع را به همراه دارد. علاوه بر این، به دلیل برهم خوردن تعادل چرخه کربن در خاک،

نرخ گازهای گلخانه‌ای به طور تصاعدی رشد می‌کند و آلودگی هوا به طور معنی داری افزایش می‌یابد (Heidary؛ Barthes et al., 2008؛ Mataix-Solera et al., 2014؛ et al., 2012؛ DeBano؛ Neary et al., 2012؛ 2000؛ ریاحی و همکاران، ۱۳۹۷؛ اکبرزاده و همکاران، ۱۳۹۶).

با توجه به مطالب یادشده، اهمیت بررسی دقیق آثار آتش سوزی بر اکوسیستم و تغییرات ناشی از آن ضروری به نظر می‌رسد تا راهکارهای مدیریت مناسبی برای مقابله با آن اتخاذ شود. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی تأثیرات آتش سوزی بر مقدار مواد آلی، آهک، pH، شوری، بافت و فراهمی عناصر غذایی در خاک منطقه سولان استان همدان است.

## ● اقدامات و یافته‌ها

به منظور بررسی آثار آتش سوزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک، اراضی سوخته و شاهد در منطقه سولان که بخشی از حوزه آبخیز قره‌چای است، ارزیابی شدند. مساحت این منطقه حدود ۳۵۰ هکتار است که در ۱۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان همدان، با ارتفاع ۱۹۹۰ تا ۲۰۵۱ متر از سطح دریا قرار دارد، مختصات جغرافیایی آن، ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۴۳ دقیقه و ۱۷ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۴ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۴۲ دقیقه و ۱۶ ثانیه عرض شمالی است. آتش سوزی در تیرماه سال ۱۳۹۷، طی ۱۲ ساعت، در زمینی به وسعت حدود ۲۰ هکتار اتفاق افتاد. منطقه شاهد با ویژگی‌های اکولوژیکی یکسان در کنار منطقه سوخته قرار گرفته است (شکل ۱). هر یک از مناطق سوخته و شاهد به تفکیک، با چهار ترانسکت به طول ۲۰۰ متر و عرض ۵۰ متر، با استفاده از پیکه چوبی مشخص شدند. در هر ترانسکت، ۱۰ پلات قرار گرفت و از عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک آن، نمونه برداری شد. در نهایت نمونه‌ها، برای هر یک از تیمارهای آتش سوزی و شاهد، به طور جداگانه ترکیب شدند (۱- خاک ترکیبی منطقه شاهد و ۲- خاک ترکیبی منطقه سوخته). نمونه برداری طی سه سال متوالی و به فاصله ۲ ماه (سال

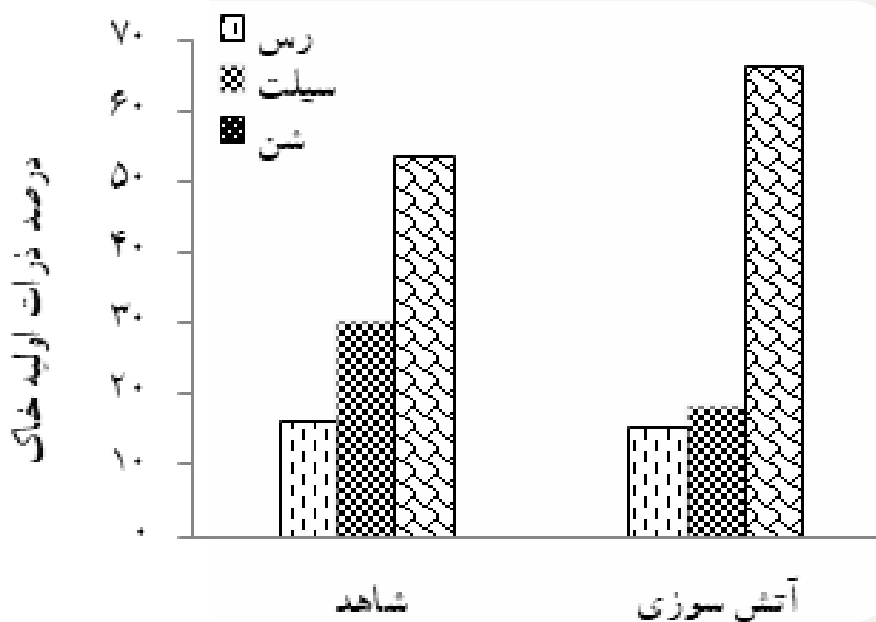


شکل ۱- وضعیت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، قبل (الف) و بعد (ب) از آتش‌سوزی

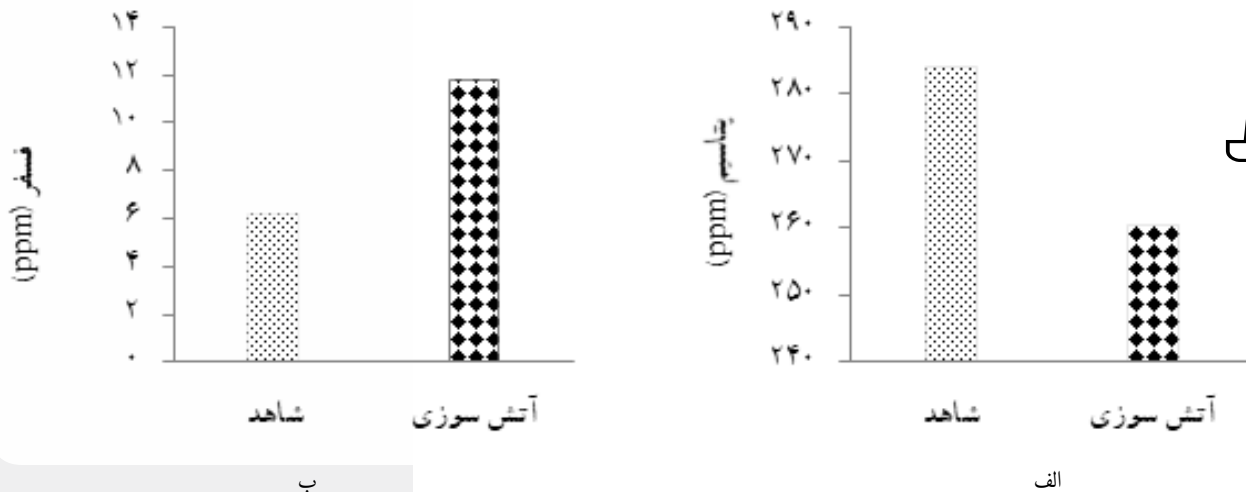
به‌دست آمده، با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1.3 تجزیه و تحلیل و اثر تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد، آتش‌سوزی بر بافت خاک مؤثر است و موجب سبک شدن آن می‌شود، به طوری که در مناطق سوخته مقدار شن ۱۲/۷۵ درصد بیشتر و مقدار سیلت و رس به ترتیب ۱۲/۰۹ و ۰/۶۶ درصد کمتر از منطقه شاهد بود (شکل ۲). دلیل این تغییرات می‌تواند شست و شوی ذرات ریز خاک از طریق فرسایش آبی و بادی در اثر از بین رفتن پوشش گیاهی و بقایای آنها در سطح خاک

(Rhoades, 1996) (Conductivity Meter) و pH متر (Thomas) (Jenway 3505)، (P)، (۱۹۹۶) اندازه‌گیری شدند. همچنین، فسفر (P)، مطابق روش السن (Olsen et al., 1954) و پتاسیم (K)، با استفاده از استات آمونیوم (Chapman & Pratt, 1982) اندازه‌گیری شدند. میزان ذرات اولیه خاک (شن، سیلت و رس) نیز به روش هیدرومتر اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده از نمونه‌گیری در سه سال متوالی، میانگین‌گیری شد و نمودار آنها به صورت تابعی از تیمار آتش‌سوزی و شاهد با برنامه Excel 2010 ترسیم شد. اطلاعات

یک سال (سال ۱۳۹۸) و دو سال (سال ۱۳۹۹) پس از آتش‌سوزی، انجام شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، در مجاورت هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شدند. سپس کربن آلی (OC) خاک به روش اکسیداسیون تر (Walk-ley & Black, 1934)، کربنات کلسیم (CaCO<sub>3</sub>) معادل به روش خنثی‌سازی با HCl (Allison & Moodi, 1965) و رسانایی الکتریکی (EC) و pH در عصاره اشباع خاک، به ترتیب با دستگاه رسانایی سنج الکتریکی (Electrical) (Jenway 4510)



شکل ۲- تغییرات درصد شن، سیلت و رس خاک تحت تأثیر آتش‌سوزی



شکل ۳- تغییرات غلظت پتاسیم (الف) و فسفر (ب) (میلی گرم در کیلوگرم، ppm) تحت تأثیر آتش سوزی

را افزایش داده باشد (شکل ۳ ب). مصلحی و همکاران (۱۳۹۲) و اشرفی سعیدلو و رسولی صدقیانی (۱۳۹۳) نیز بیان کردند شدت تغییرات مقدار فسفر، تحت تیمار آتش سوزی، به دلیل داشتن آستانه حرارتی بیشتر نسبت به اکثر عناصر غذایی دیگر، کمتر است. Cade- Menun و همکاران (2000) و Sharpley (2000) نیز گزارش کردند، احتراق، غلظت فسفر را افزایش می دهد، زیرا در خاک های اسیدی اورتوفسفات از طریق جذب شیمیایی به اکسیدهای آلومینیوم، آهن و منگنز متصل می شود و در خاک های قلیایی به صورت فسفات کلسیم رسوب می کند، بنابراین آتش سوزی با هدایت pH به سمت خنثی، موجب افزایش مقدار اورتوفسفات در خاک می شود.

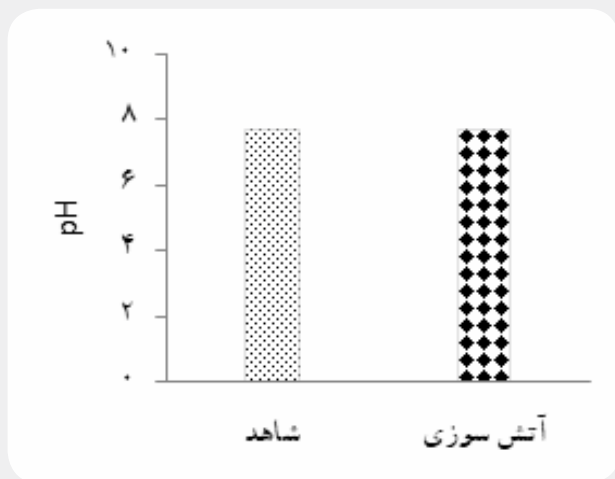
بررسی شکل ۴ (الف و ب) نشان می دهد مقادیر آهک و pH خاک در مناطق سوخته نسبت به شاهد، تقریباً ثابت و اختلاف آنها با تیمار شاهد به ترتیب ۱/۳۴ و ۰/۵۲ درصد است که بیانگر عدم تأثیر پذیری این دو مشخصه از آتش سوزی است.

با وقوع آتش سوزی و حذف پوشش و بقایای گیاهی، ترکیبات آلی خاک، بیشتر از ۳۰ درصد کاهش یافتند (شکل ۴ ج). این اثر موجب شسته شدن املاح و انتقال آنها از طریق فرسایش می شود (Neary et al., 2005). بنابراین به مرور زمان شوری خاک نیز کاهش یافته و این روند می تواند تا ۱۶ درصد نسبت

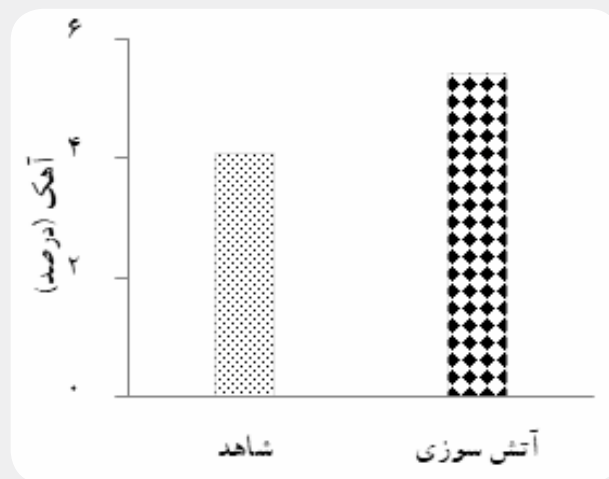
و شست و شوی ذرات رس و مواد آلی، میزان سایت های تبادل کاتیونی به شدت کاهش می یابد (Yildiz et al., 2005; Neary et al., 2010)، بنابراین می توان بیان کرد، طی این روند، پتاسیم تبدالی موجود در سطوح این کلئیدها نیز به همراه آنها، آب شویی و از سطح و پروفیل خاک خارج شوند، بنابراین، غلظت این عنصر در تیمار آتش سوزی نسبت به شاهد کاهش یافته است (شکل ۳ الف). همچنین، به دلیل کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک تحت این شرایط، ذخایر تبدالی عناصر غذایی در خاک کم شده و احتمال قرار گرفتن این عناصر در محلول خاک و به دنبال آن، شست و شوی آنها بیشتر می شود. از سوی دیگر، به دلیل حرارت بالای آتش، مقداری از این عنصر تصعید شده که عامل دیگر کاهش قابلیت دسترسی آن در خاک است (Badia & Marti, 2003؛ مصلحی و همکاران، ۱۳۹۲؛ اشرفی سعیدلو و رسولی صدقیانی، ۱۳۹۳). فسفر خاک در شرایط طبیعی، بسیار کم تحرک است و بیشتر به دلیل تثبیت آن توسط ذرات خاک، یا ترکیب با بعضی املاح موجود در خاک، به صورت غیر قابل حل و غیر قابل تبادل در می آید و از دسترس گیاه خارج می شود. بنابراین، در تیمار آتش سوزی، نه تنها شست و شو و فرسایش روی این عنصر مؤثر نیست، بلکه به دلیل ایجاد حرارت و واکنش های شیمیایی ناشی از آن احتمال دارد، ترکیبات فسفره جدیدی ایجاد شده و موجودی فسفر خاک

باشد. از سوی دیگر، آتش سوزی، ساختمان خاک را تخریب و خاکدانه ها را متلاشی می کند که در نهایت از پایداری آنها در برابر عوامل فرسایش می کاهد (Lucas-Borja et al., 2019). بنابراین، شست و شوی سطحی ذرات ریزتر با رواناب، یا آب شویی عمقی در پروفیل خاک، موجب سبک شدن بافت خاک می شود (شکل ۲). این نتایج با تحقیقات Verma و Jayakumar (2012) مطابقت دارد. این در حالی است که Mohamed Aref و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی تأثیر آتش سوزی یک ساله (با شدت متوسط) بر ویژگی های خاک گزارش کردند، آتش بر بافت خاک تأثیر مشخصی ندارد. بافت خاک برخلاف ساختمان در برابر عوامل محیطی مانند آتش سوزی بسیار مقاوم است و یکی از ویژگی های پایای خاک به شمار می رود. با این وجود در آتش سوزی های بلندمدت با شدت حرارت بالا، این ویژگی نیز تحت تأثیر قرار می گیرد و ذرات خاک به ویژه رس، ساختار خود را از دست می دهد و متلاشی می شود و در معرض شست و شو قرار می گیرد، بنابراین درصد نسبی آن نسبت به شن کاهش یافته و بافت خاک، سبک تر می شود (Neary et al., 2005).

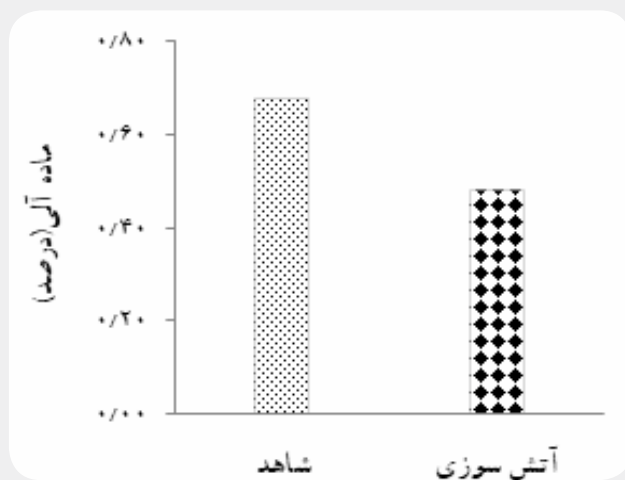
شکل ۳ نشان می دهد، آتش سوزی غلظت پتاسیم قابل دسترس را ۸/۴۵ درصد کاهش و برعکس میزان فسفر قابل دسترس را ۹۰/۳۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است. در اثر آتش سوزی، به دلیل تخریب



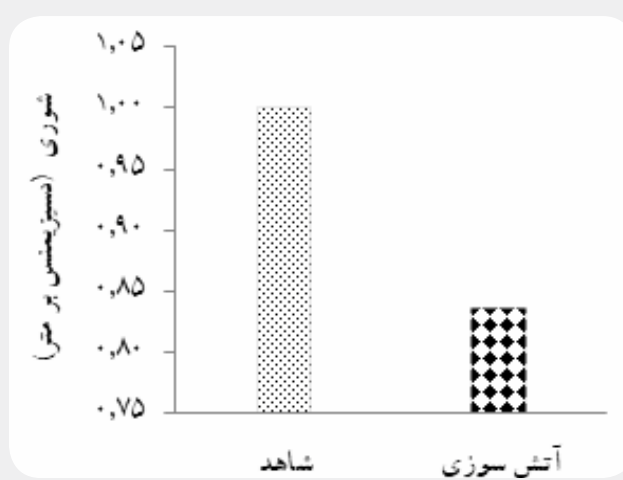
ب



الف



د



ج

شکل ۴- تغییرات درصد آهک (الف)، pH (ب)، ماده آلی (ج) و شوری EC (د) تحت تأثیر آتش‌سوزی

رواناب و فرسایش سطحی ایجاد می‌شود. در این شرایط، ذرات ریزتر همراه رواناب انتقال یافته و ذرات درشت‌تر به دلیل سنگینی در سطح خاک باقی می‌مانند که این تغییرات با گذشت زمان مشهودتر می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد، در تیمار آتش‌سوزی و شاهد، با گذشت زمان درصد آهک به مقدار قابل توجهی کم می‌شود که می‌تواند به دلیل تغییرات واکنش‌های فعال در خاک و ساختار شیمیایی ترکیبات کلسیمی باشد که در نهایت، از حالت کم‌محلول (آهک) به شکل‌های محلول در آمده و از خاک شست‌وشو می‌شود. بررسی روند تغییرات شوری نشان می‌دهد، در هر دو تیمار شاهد و آتش‌سوزی، گذشت زمان بر مقدار این ویژگی مهم خاک، مؤثر بوده و موجب کاهش آن می‌شود. حرارت زیاد ناشی از آتش‌سوزی، به سرعت مواد آلی

می‌گیرند، اما در آتش‌سوزی‌های شدید و طولانی، نفوذ گرما به سمت پایین، می‌تواند مواد آلی هوموسی را نیز از بین ببرد و با سوزاندن ریشه‌ها در امتداد آن در خاک نفوذ کند (Miesel et al., 2012).

در بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک که در این پژوهش بررسی شدند، تغییرات سه متغیر شوری و درصد شن و آهک خاک با گذشت زمان روند مشخصی داشت که در جدول ۱ ارائه شده است. در سه سال متوالی پس از آتش‌سوزی، در هر دو تیمار شاهد و آتش‌سوزی، روند کلی تغییرات درصد شن، افزایشی است. همان‌طور که بیان شد طی فرایند آتش‌سوزی، ساختمان خاک از بین رفته و بخش وسیعی از منافذ خاک تخریب می‌شوند. بنابراین، نفوذ آب در خاک کاهش یافته و

به تیمار شاهد نیز مشاهده شود (شکل ۴ د). مواد آلی نقش پر اهمیتی بر ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها دارند. بنابراین آتش‌سوزی، با کاهش میزان این مواد، موجب متلاشی و ریز شدن خاکدانه‌ها می‌شود. تحت این شرایط، ذرات خردشده، شسته می‌شوند و در منافذ ریز و درشت خاک جای می‌گیرند و در نهایت منافذ را مسدود می‌کنند. از سوی دیگر، به دلیل از بین رفتن پوشش سطحی، قطرات باران، مستقیم بر سطح خاک ضربه زده و موجب کوبیده شدن و تخریب منافذ می‌شوند. بنابراین، نه تنها نفوذ آب در خاک به شدت کم می‌شود، بلکه خاک فشرده شده و وزن مخصوص ظاهری آن افزایش می‌یابد. شایان ذکر است، مواد آلی که کاملاً با خاک آمیخته شده و به صورت هوموس درآمده‌اند، کمتر تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار



جدول ۱- تغییرات شن، آهک و شوری خاک با گذشت زمان در دو تیمار شاهد و آتش‌سوزی

سال سوم		سال دوم		سال اول		تیمارها
آتش‌سوزی	شاهد	آتش‌سوزی	شاهد	آتش‌سوزی	شاهد	
۶۸	۵۷	۷۶	۵۵/۷۵	۵۵	۴۸	شن %
۰/۲۵	۰/۲۵	۱	۱	۱۵	۱۱	آهک %
۰/۸	۰/۸۶	۰/۸	۱/۰۷	۰/۹۱	۱/۰۷	شوری dSm <sup>-1</sup>

و دود ناشی از این آتش‌سوزی‌ها، گاهی تمام منطقه را فرا می‌گیرد و به دلیل نزدیک بودن جنگل و مرتع به این زمین‌ها، آتش به راحتی به آنها نیز سرایت می‌کند. در اولین اقدام لازم است، ساکنین این مناطق و کشاورزان از اهمیت موضوع و آثار سوء و جبران‌ناپذیر آتش‌سوزی آگاه شوند. در مرحله بعد باید با همکاری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و ادارات تابعه، همچنین نیروی انتظامی و مراجع قضایی اقدامات اجرایی انجام شود تا آتش زدن تنه درختان و بوته‌ها در بستر اکوسیستم‌های طبیعی و بقایای گیاهی در زمین‌های کشاورزی، خاتمه یابد.

آتش‌سوزی یکی از علل جدی نابودی ارگانسیم‌های خاک و در نتیجه کاهش مواد مغذی و حاصلخیزی آن است. بنابراین، در صورت بروز آتش‌سوزی باید مواد آلی و معدنی و موجودات خاک مناطق سوخته احیا شوند تا اکوسیستم بتواند تولید خود را به دست آورد. استفاده از کودهای حاوی عناصر غذایی، به ویژه مواد پرمصرف نیتروژن و پتاسیم می‌تواند مؤثر باشد. کودهای دامی و مرغی با داشتن درصد بالایی از عناصر غذایی و مواد آلی، علاوه بر افزایش حاصلخیزی خاک موجب تقویت ساختمان‌سازی و ایجاد خاکدانه‌های جدید می‌شوند و کیفیت فیزیکی و هیدرولیکی خاک را افزایش می‌دهند که موجب کاهش رواناب و فرسایش سطحی خاک می‌شوند. همچنین، اضافه کردن کودهای زیستی مانند ازتوباکتر و مایکوریزا که با شرایط مناطق مورد بررسی سازگارند، می‌توانند در بهبود شرایط مؤثر باشند. بذرکاری، نهال‌کاری و کاشت بوته‌های مقاوم و متناسب با شرایط

آتش‌سوزی می‌تواند این ویژگی را تحت تأثیر قرار دهد. آتش با تخریب ساختمان و منافذ خاک و افزایش رواناب، موجب شسته شدن ذرات کوچک رس و سیلت و باقی ماندن ذرات درشت شن در سطح خاک می‌شود. بنابراین، سبک شدن بافت خاک پس از آتش‌سوزی پدیده‌ای طبیعی است.

**افزایش دسترسی گیاهان به برخی عناصر غذایی مانند فسفر (کلسیم، منیزیم و گوگرد که در پژوهش‌های مشابه آمده است) که پس از آتش‌سوزی اتفاق می‌افتد، موقتی است، زیرا این عناصر به سرعت شسته، یا تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شوند.**

با توجه به نتایج این پژوهش، مدیریت و نظارت کامل بر منابع ارزشمند اکوسیستم‌های طبیعی امری ضروری به نظر می‌رسد تا بتوان از آتش‌سوزی‌های عمدی و غیرعمدی جلوگیری کرد و گامی مؤثر در حفظ منابع آب، خاک و گونه‌های گیاهی و جانوری برداشت. هر چند بخشی از آتش‌سوزی‌ها به صورت طبیعی و غیرطبیعی (عمد و غیرعمد) در عرصه جنگل‌ها، دشت‌ها و مراتع رخ می‌دهد، اما بخشی از آنها به دلیل گسترش آتش‌سوزی‌های عمدی است که در زمین‌های کشاورزی با هدف حذف بقایای محصولات کشت قبلی و آماده کردن زمین‌ها انجام می‌شود. شعله‌های آتش

خاک را سوزانده و تخریب می‌کند. در ادامه به دلیل تبدیل مواد آلی به ترکیبات معدنی که بیشتر به صورت ترکیبات نمکی هستند، شوری خاک افزایش می‌یابد. اما با گذشت زمان این املاح به سادگی شسته شده و سبب کاهش شوری خاک می‌شوند (جدول ۱).

### ● نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادها

تغییرات ویژگی‌های خاک تحت تأثیر حرارت آتش، موجب افت شدید ماده آلی، تغییر در واکنش‌های شیمیایی خاک و غلظت عناصر غذایی می‌شود که می‌تواند تخریب ساختمان خاک را در پی داشته باشد. بنابراین، افزایش دسترسی گیاهان به برخی عناصر غذایی مانند فسفر (کلسیم، منیزیم و گوگرد که در پژوهش‌های مشابه آمده است) که پس از آتش‌سوزی اتفاق می‌افتد، موقتی است، زیرا این عناصر به سرعت شسته، یا تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شوند. همچنین، آتش‌سوزی با تخریب منافذ خاک موجب افزایش رواناب و سپس افزایش فرسایش خاک و آلودگی آب می‌شود. این فرایند، کاهش شوری خاک را به دنبال دارد. اما درصد ترکیبات کم‌محلول مانند آهک، کمتر دچار آب‌شویی می‌شود و گاهی به دلیل از بین رفتن ذرات ریز و املاح خاک، درصد نسبی آن در خاک افزوده می‌شود. تحت این شرایط، pH خاک به سمت خنثی میل می‌کند و چنانچه pH اولیه خاک در محدوده خنثی باشد، اغلب تغییرات این مشخصه در اثر آتش‌سوزی ناچیز است. همچنین، با وجود این که بافت خاک از ویژگی‌های به نسبت پایدار است و در شرایط طبیعی، سال‌ها بدون تغییر باقی می‌ماند، اما

- R.G., Hix, D.M., Kolka, R., Palik, B. and Mladenoff, D., 2012. Fire effects on soils in Lake states forests: a compilation of published research to facilitate long-term investigations. *Forests*, 3: 1034–1070.
- Mohamed Aref, I., Atta, H.A. and Al Ghamed, A.R.M., 2011. Effect of forest fires on tree diversity and some soil properties. *Journal of Agriculture Biology*, 13: 659-664.
- Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F. and Ffolliott, P.F., 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122: 51-71.
- Neary, D.G., Ryan, K.C. and DeBano, L.F., 2005. *Wildland Fire in Ecosystems: Effects of Fire on Soils and Water*, US Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report RMRS-42, Ogden, Utah, 250p.
- Neary, D.G., Koestner, K.A., Youberg, A. and Koestner, P.E., 2012. Post-fire rill and gully formation. *Schultz Fire 2010*, Arizona, USA. *Geoderma*, 191: 97-104.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular*, 939: 19.
- Rhoades, J.D., 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solid. *Methods of Soil Analysis. Chemical Methods*. Madison, Wisconsin, USA. pp: 417-436.
- Sharpley, A., 2000. Phosphorous availability. Sumner ME (eds). *Handbook of Soil Science*. CRC Boca Raton, 18–38.
- Thomas, G. W., 1996. Soil pH and soil acidity. In *Methods of Soil Analysis*. Klut, A. (ed). Part 3. Chemical methods. Madison, Wisconsin, USA. pp: 475-490.
- Verma, S., Singh, D., Singh, A.K. and Jayakumar, S., 2019. Post-fire soil nutrient dynamics in a tropical dry deciduous forest of Western Ghats, India. *Forest Ecosystems*, 6(1): 6.
- Walkley, A. and Black, L.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*, 37: 29-38.
- Yildiz, D., Esen, D., Sarginic, M. and Topark, B., 2010. Effects of forest fire on soil nutrients in Turkish pine (*Pinus brutia* Ten) Ecosystems. *Journal of Environment Biology*, 31: 11-13.
- of clear-cutting and burning. *Canadian Journal of Forest Research*, 30: 1726–1741.
- Campbell, G.S., Jungbauer, J.D. Jr., Bidlake, W.R. and Hungerford, R.D., 1994. Predicting the effect of temperature on soil thermal conductivity. *Soil Science*, 158: 307–313.
- Certini, G., 2005. Effects of fire on properties of forest soils. *Oecologia*, 143: 1-10.
- Chapman, H.D. and Pratt, P.F., 1982. *Determination of Minerals by Titration Method Methods of Analysis for Soils, Plants and Water 2*(Edn.), California and University, Agriculture Division, USA, pp. 169-170.
- DeBano, L.F., 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: A review. *Journal of Hydrology*, 231: 195–206.
- Francos, M., Stefanuto, E., Úbeda, X. and Pereira, P., 2019. Long-term impact of prescribed fire on soil chemical properties in a wildland-urban interface. *Northeastern Iberian Peninsula. Science of The Total Environment*, 689: 305-311.
- Green, V.S., Stott, D.E., Cruz, J.C. and Curi, N., 2007. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian cerrado oxisols. *Soil and Tillage Research*, 92:141-121.
- Hamman, S.T., Burke, I.C. and Knapp, E.E., 2008. Soil nutrients and microbial activity after early and late season prescribed burns in a Sierra Nevada mixed conifer forest. *Forest Ecology and Management*, 256: 367–374.
- Heidary, J., Ghorbani Dashtaki, Sh., Raiesi, F. and 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.
- Hu, M., Liu, y., Wang, T., Hao, Y., Li, Z. and Wan, S., 2020. Fire Alters Soil Properties and Vegetation in a Coniferous–Broadleaf Mixed Forest in Central China. *Forests*, 11(2): 1-15.
- Lucas-Borja, M., Plaza-Álvarez, P., Gonzalez-Romero, J., Sagra, J., Alfaro-Sanchez, R., Zema, D.A., Moya, D. and de Las Heras, J., 2019. Short-term effects of prescribed burning in Mediterranean pine plantations on surface runoff, soil erosion and water quality of runoff. *Science of The Total Environment*, 674: 615-622.
- Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A. and Zavalá, L.M., 2011. Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews*, 109(1-2): 44-60
- Miesel, J.R., Goebel, P.C., Corace, منطقه‌ای، راهکاری دیگر، برای احیای آن دسته از اراضی است که دچار آتش‌سوزی شده‌اند.
- منابع**
- اکبرزاده، ع.، قربانی دشتکی، ش.، نادری خوراسگانی، م.، محمدی، ج. و تقی‌زاده مهرجردی، ر.، ۱۳۹۶. تأثیر آتش‌سوزی بر آب‌گریزی و مقدار و عوامل فرسایش خاک در جنگل‌های سواحل جنوب غربی دریای خزر. *مجله جنگل ایران، انجمن جنگل‌بانی ایران*، ۱۵۷: ۱-۱۴۵.
- اشرفی سعیدلو، س. و رسولی صدقیانی، م.ح.، ۱۳۹۳. تأثیر آتش‌سوزی بر میزان کربن آلی خاک و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در جنگل‌های بلوط سردشت. *تحقیقات کاربردی خاک*، ۲(۲): ۲۸-۳۹.
- محمودآبادی، م.، ۱۳۹۰. تأثیر مواد آلی مختلف بر تغییرات زمانی پایداری خاکدانه در کلاس‌های اندازه‌های متفاوت. *پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)*، ۷۸: ۷۰-۹۳.
- ریاحی، ز.، بازگیر، م.، ولی‌زاده کاخکی، ف. و رستمی‌نیا، م.، ۱۳۹۷. بررسی پیامد آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع منطقه بدره (استان ایلام). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۵: ۲۵-۴۶.
- مصلحی، م.، حبشی، ه. و احمدی، ا.، ۱۳۹۲. تأثیر آتش‌سوزی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک اکوسیستم‌های جنگلی. *فصلنامه انسان و محیط‌زیست*، ۲۷: ۳۲-۴۱.
- میرزاشاهی، ک. و بازرگان، ک.، ۱۳۹۴. مدیریت ماده آلی خاک. *مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران*، ۱۹ صفحه.
- Allison, L.E. and Moodi, C.D., 1965. Carbonate. In: *Methods of Soil Analysis*, Black, C.A. (Ed.). Part 2, American Society Agronomy, Madison, WI., USA. pp. 1379-1396.
- Badía, D. and Martí, C., 2003. Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. *Arid Land Research and Management*, 17: 23–41.
- Barthes, B.G., Kouoa, Kouoa, E., Larre-Larrouy, M.C., Razafimbelo, T.M., de Luca, E.F., Azontonde, A., Neves, C.S., de Freitas, P.L. and Feller, C.L., 2008. Texture and sesquioxide effects on water stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma*, 143: 14-25.
- Bronick, C.J. and Lal, R., 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio. *USA, Soil Tillage Research*, 81: 239-252.
- Cade-Menun, B.J., Berch, S.M., Preston, C.M. and Lavkulich, L.M., 2000. Phosphorus forms and related soil chemistry of Podzolic soils on Northern Vancouver Island. II. The effects