



دوره‌ی ۳۳، شماره‌ی ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۲۷، تابستان ۱۳۹۹، صفحه‌های ۶۵-۵۲
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.126995.1243

پژوهش‌های آبخیزداری

بررسی تغییر زمانی روان‌آب، فرسایش و عنصرهای غذایی خاک متأثر از آتش‌سوزی در جنگل‌های آبخیز دریاچه‌ی زریبار

ایرج عالی

دانشجوی کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

شیرکو ابراهیمی‌محمدی

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

مسعود داوری

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه کردستان

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: shirkoebrahimi@uok.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۰ تیر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۶ آذر ۱۳۹۸

چکیده

آتش‌سوزی باعث تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مانند تخلخل، وزن مخصوص، نفوذ آب، روان‌آب و فرسایش، پی‌اچ و چرخه‌ی عنصرهای غذایی می‌شود. در این پژوهش به کمک چهارچوب‌های ۰/۰۹ مترمربعی و شبیه‌ساز باران مدل Eijkelkamp تغییر زمانی روان‌آب، فرسایش، مواد معلق و مقدار نیتروژن کل، فسفر کل و پتاسیم استخراج‌شده‌ی خاک سطحی بررسی، و وضعیت بازگشت شرایط عرصه‌های سوخته به حالت طبیعی در آبخیز دریاچه‌ی زریبار از ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ تحلیل شد. نتایج در تراز اطمینان ۰/۰۵ بیانگر افزایش دو برابری روان‌آب در کوتاه‌مدت و روند کاهش آن در بلندمدت بود. غلظت مواد معلق خروجی از چهارچوب‌ها با افزایش سه‌برابری در کوتاه‌مدت مواجه شد. آتش‌سوزی باعث ۷۰، ۲۸۶ و ۴۸٪ افزایش معنی‌دار به ترتیب در نیتروژن کل، فسفر کل و پتاسیم استخراج‌شده‌ی خاک در سال اول شد. اما در بلندمدت تنها پتاسیم استخراج‌شده‌ی به حالت طبیعی بازگشت. بنابراین مشخص شد که چهار سال پس از آتش‌سوزی در جنگل‌های بلوط در آبخیز دریاچه‌ی زریبار، متغیرهای بررسی‌شده به‌جز غلظت مواد معلق و پتاسیم استخراج‌شده‌ی خاک به حالت طبیعی قبل از آتش‌سوزی برنگشته است.

واژگان کلیدی: پتاسیم قابل استخراج، جنگل بلوط، فسفر، مریوان، نیتروژن

و همکاران (۲۰۱۶) به کمک شبیه‌ساز باران و کار گذاشتن چهارچوب‌های ۰/۶۲۵ مترمربعی در بخش‌های آتش‌گرفته و طبیعی کف پوش جنگلی در دو رده‌ی عمده‌ی شیب (کم‌تر از ۳۰٪ و ۳۰ تا ۶۰٪) شرق آبخیز دریاچه‌ی زیربار در استان کردستان بیانگر ۴۶ و ۶٪ کاهش در ذخیره‌ی رطوبت خاک و ۲۴ و ۲۹٪ کاهش در ماده‌ی آلی و کربن آلی کل خاک به ترتیب در شیب کم‌تر از ۳۰٪ و ۳۰ تا ۶۰٪ شد. در مجموع نشان داده شد که آتش‌سوزی منجر به تغییر دادن مؤلفه‌های آب‌شناسی، و در نتیجه اندازه‌ی فرسایش و مواد معلق آبخیز خواهد شد، و این تغییر تا احیاشدن مجدد پوشش گیاهی منطقه ادامه خواهد داشت. کنگ و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثرهای دراز مدت آتش‌سوزی بر ترکیب عنصرهای غذایی موجود در جنگلی بکر در چین، به این نتیجه رسیدند که یک سال پس از آتش‌سوزی، فراوانی نسبی عنصرهای نیتروژن و فسفر افزایش پیدا کرد. اگرچه، در بلندمدت بیش‌تر عنصرهای غذایی خاک به ترازهای پیش از آتش‌سوزی بازگشته و نسبت N/P خاک بسیار زیادتر شده است. در بسیاری از پژوهش‌ها نسبت نیتروژن به فسفر (N/P)، یکی از شاخص‌های تشخیص نیتروژن اشباع، در بوم‌سامانه‌های جنگلی مختلف دنیا بررسی شده است (نگوین ۲۰۱۱). اخیراً نسبت N/P برای شناسایی کردن آستانه‌ی محدودیت عنصرهای غذایی به کار گرفته شده است (گوزول و کورسلن ۲۰۰۲) نسبت نیتروژن به فسفر معمولاً شاخصی حساس از محدودیت فسفر به رشد پوشش گیاهی است (تسییر و راینال ۲۰۰۳). چافر و ماک (۲۰۱۳) نشان دادند که تفاوت دمای تبخیر و منابع ورودی نیتروژن و فسفر باعث کاهش یافتن نسبت نیتروژن به فسفر در کوتاه‌مدت و افزایش یافتن آن در طولانی‌مدت پس از آتش‌سوزی می‌شود. بارندگی شدید بی‌فاصله بعد از آتش‌سوزی ممکن است منجر به اتلاف عنصرهای غذایی خاک‌ستر بر اثر فرسایش شود (هامان و همکاران ۲۰۰۸). آتش‌سوزی در بوم‌سامانه‌های جنگل به‌خصوص در منطقه‌ی مدیترانه به دلیل تابستان‌های گرم و خشک و بارندگی‌های مکرر و شدید در پاییز بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی‌های تابستانی، باعث اختلال‌های جدی و مکرر در بوم‌سامانه‌های جنگلی می‌شود (بادیا و همکاران ۲۰۱۵). آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی ایران با هدف تبدیل کردن زمین جنگلی و مرتعی به کشاورزی انجام شده و بودن ایران در کمربند خشک کره‌ی زمین و ناحیه‌ی پرفشار زیراستوایی، شرایط جوی لازم برای وقوع آن را تسهیل می‌کند. بنابر داده‌های فائو (سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد) ایران سالانه ۰/۰۶٪ از عرصه‌های جنگلی و مرتعی خود (۶۵۰۰ هکتار) را در اثر آتش‌سوزی از دست می‌دهد (اردکانی و

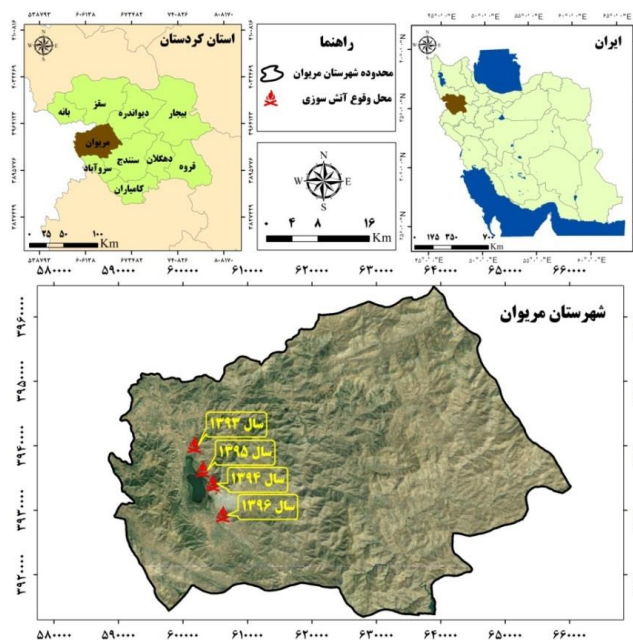
مقدمه

وجود جنگل‌ها و مرتع‌ها برای حفظ آب، خاک، اقتصاد و محیط‌زیست، یکی از شاخص‌های مهم در توسعه‌ی پایدار است، اما امروزه به علت فعالیت‌های مخرب انسان، آتش‌سوزی فراگیرترین عامل تخریب‌کننده‌ی بوم‌سامانه‌های طبیعی است. خاک، آب و موجودات زنده از عامل‌های مؤثر در تعادل و پایداری بوم‌سامانه‌های طبیعی است که هر سه بر اثر آتش‌سوزی‌های شدید تخریب می‌شود. آتش‌سوزی صرف‌نظر از منشأ پیدایش (طبیعی یا مصنوعی)، می‌تواند مستقیمانه بر ویژگی‌های فیزیکی (تخریب ساختار و تخلخل خاک، افزایش روان‌آب و فرسایش)، شیمیایی (کاهش مواد آلی، بخار شدن کاتیون‌ها، تغییر در ذخیره‌ی عنصرهای غذایی و چرخه‌ی آن‌ها) و زیستی خاک (کاهش در گونه‌های میکرو و ماکروفون‌ها و تغییر جمعیت میکروبی) و از راه تأثیر بر پوشش گیاهی، توده‌ی شاخ‌وبرگ، و جانوران خاک‌زی نامستقیم بر کیفیت رویشگاه اثرهای کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت داشته باشد (آلکانیز و همکاران ۲۰۱۸). بسیاری از پژوهشگران اثرهای آتش‌سوزی را بر کیفیت خاک، ویژگی‌های آب‌شناسی و فرسایش خاک‌های جنگلی امروزه بررسی کرده‌اند (سرتینی و همکاران ۲۰۰۵؛ ماتاییکس-سولرا و همکاران ۲۰۱۱). آتش‌سوزی‌های شدید در جنگل با ایجاد کردن ترکیب‌های آلی با خاصیت آب‌گریزی در خاک (فرنلیوس و همکاران ۲۰۱۷)، منجر به کاهش نفوذپذیری آب می‌شود و بازده چرخه‌ی آب‌شناسی را کاهش می‌دهد. کاهش پوشش گیاهی و نبود ظرفیت ذخیره‌ی سطحی خاک منجر به فرسایش خاک می‌شود. آتش‌سوزی باعث کاهش ظرفیت نگهداشت آب خاک، کاهش نفوذ و در نتیجه افزایش روان‌آب و فرسایش خاک می‌شود (استوف و همکاران ۲۰۱۵). نتیجه‌ی پژوهش‌های مختلف نشان داده‌است که پس از آتش‌سوزی، نفوذپذیری خاک، شدت روان‌آب و غلظت مواد معلق و در نتیجه فرسایش خاک بسته به ویژگی‌های آبخیز تغییر می‌کند. پس از وقوع آتش‌سوزی که پوشش گیاهی در کم‌ترین حد و خاک‌ستر فرسایش‌پذیر در بیش‌ترین حد است، بی‌فاصله پس از شروع اولین بارش موثر، خاک به شدت فرسایش می‌یابد. افزایش شدید فرسایش خاک بسته به شرایط و زمان برگشت منطقه به حالت اولیه پیش از آتش‌سوزی، پس از چند ماه یا چند سال کاهش می‌یابد. در ابتدا فرسایش خاک به دلیل کمینه بودن لایه‌ی حفاظتی خاک و فراوانی حجم ذره‌های دانه‌ریز که به راحتی حمل می‌شود، بی‌هیچ محدودیتی ادامه دارد. درحالی‌که با گذشت زمان با تخلیه‌شدن ذره‌های ریزدانه و باقی‌ماندن ذره‌های درشت‌دانه‌ی خاک، فرآیند فرسایش دچار محدودیت موجودیت مواد معلق می‌شود. نتایج ابراهیمی

همکاران (۲۰۱۰). دلیل افزایش تعداد و شدت آتش‌سوزی‌ها در ایران تغییر دادن کاربری زمین، رها کردن شغل دام‌پروری سنتی به‌علت یافتن شغل‌های بی‌دردسر و پردرآمد جای‌گزین، و گرم‌شدن آب‌وهوا است که باعث خشک‌شدن بیش از حد گیاهان مرتعی یا کف جنگل می‌شود. بنابراین با توجه به بارش فراوان و در نتیجه پوشش گیاهی زیاد در آبخیز دریاچه‌ی زریبار، شرایط مساعدی برای آتش‌سوزی در ماه‌های گرم سال ایجاد می‌شود. اگرچه آتش‌سوزی‌های پی‌درپی در جنگل‌های شهرستان مریوان روی می‌دهد، تاکنون پژوهشی بر اثرهای میان‌مدت و بلندمدت آتش‌سوزی بر خصوصیت‌های خاک، روان آب و مواد معلق این جنگل‌ها انجام نشده است. بنابراین به‌دلیل فراوانی آتش‌سوزی در مرتع‌ها و جنگل‌های آبخیز دریاچه‌ی زریبار و اثرهای آن بر بوم‌سامانه‌ی آبی و خاکی دریاچه، این پژوهش با هدف بررسی اثر آتش‌سوزی‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ بر عنصرهای غذایی خاک، روان آب و فرسایش در مرتع‌ها و جنگل‌های این حوزه، و سیر احیای طبیعی آن‌ها انجام شد. بدیهی است که بررسی اثرهای کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت آتش‌سوزی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک، روان آب و فرسایش منطقه، اطلاعات مفیدی از واکنش عرصه‌های طبیعی در برابر آتش‌سوزی و سیر تحول و احیای طبیعی آن‌ها به مدیران می‌دهد که براساس آن می‌توان روش‌های مدیریتی مناسب‌تری را برای این عرصه‌ها در نظر گرفت.

مواد و روش‌ها
منطقه‌ی پژوهش

آبخیز دریاچه‌ی زریبار به مساحت ۹۶۳۱/۷ هکتار در نزدیکی



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی پژوهش و محل‌های نمونه‌برداری.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های انتخابی.

ایستگاه	سال آتش‌سوزی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شیب (%)	جهت جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	۱۳۹۳	۶۰۱۹۳۲	۳۹۴۰۰۴۹	۴۴/۹	غربی	۱۴۱۹
۲	۱۳۹۴	۶۰۴۷۹۹	۳۹۳۴۱۰۲	۴۳	غربی	۱۵۴۰
۳	۱۳۹۵	۶۰۳۲۲۷	۳۹۳۶۲۳۳	۴۱	غربی	۱۳۳۷
۴	۱۳۹۶	۶۰۶۳۵۹	۳۹۲۹۲۸۷	۴۴/۵	غربی	۱۳۸۷

روش پژوهش

برای اندازه‌گیری روان‌آب، فرسایش خاک و تولید مواد معلق، دستگاه شبیه‌ساز باران (Eijkelkamp) برای ایجاد بارشی متناسب با شرایط بارش غالب منطقه، ۲ میلی‌متر در دقیقه (ابراهیمی محمدی و همکاران ۲۰۱۶) در یک ساعت، با چهارچوب $0/3 \times 0/3$ متر در دو تکرار به کار گرفته شد. چهارچوب‌های کوچک درک خوبی از ارتباط روان‌آب و مواد معلق حمل‌شده به پژوهشگر می‌دهد (بارتمن و همکاران ۲۰۱۳). اندازه‌ی روان‌آب و مواد معلق خروجی از چهارچوب شبیه‌ساز باران، هر ۱۰ دقیقه یک بار به مدت یک ساعت با بطری‌های پلاستیکی یک لیتری جمع‌آوری کرده شد. حجم روان‌آب با روش وزنی و غلظت مواد معلق از روش برجاگذاری و تخلیه‌ی آب تعیین شد (وانگ و همکاران ۲۰۰۱). نمونه‌برداری از خاک در تیر ۱۳۹۶ انجام شد. در چهار طرف هر چهارچوب شبیه‌ساز باران، چهار نمونه‌ی خاک سطحی (۵-۰ سانتی‌متر) برداشته شد و با مخلوط کردن آن‌ها نمونه‌ی ترکیبی تهیه شد. بنابراین، در مجموع در هر ایستگاه (دو محل نمونه‌برداری با دو تکرار) ۱۶ نمونه‌ی خاک برای ساختن ۸ نمونه‌ی ترکیبی برداشته شد. نمونه‌های خاک در هوا خشک کرده و با عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری برای اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی آماده شد. اندازه‌گیری پتاسیم استخراج‌شده‌ی از خاک با دستگاه نورسنج شعله‌ی (ریان و

همکاران ۲۰۰۱)، فسفر کل خاک به روش اولسن (۱۹۸۲) و نیتروژن کل خاک با دستگاه کج‌ل‌دال (مولوانی و برمن ۱۹۸۲) سنجیده شد. تحلیل آماری داده‌ها با آزمون سنج‌ی یک عاملی با طرح کاملاً تصادفی (تجزیه‌ی پراش یک‌طرفه) و مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ی دانکن در تراز اطمینان ۹۵٪ با نرم‌افزار IBM SPSS Statistics ۲۴ و رسم نمودارها با Excel انجام شد.

نتایج

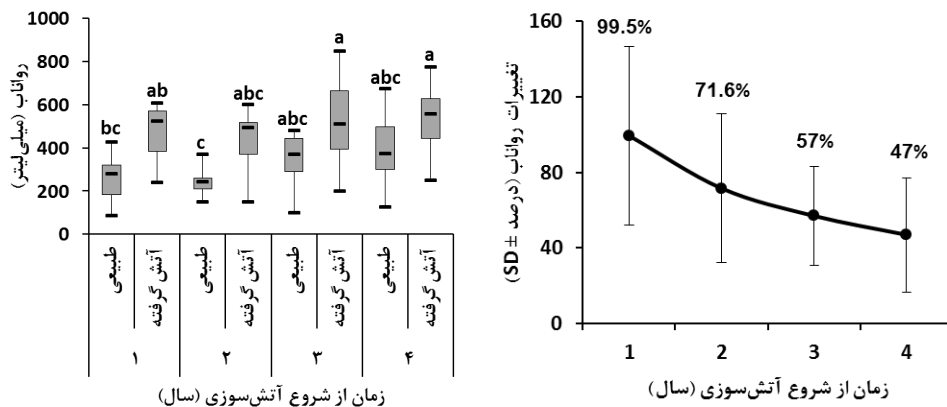
بررسی نتیجه‌ی آزمون تجزیه‌ی پراش نشان داد که بین اندازه‌های روان‌آب با $sig=0/020$ غلظت مواد معلق با $sig=0/000$ فرسایش ویژه با $sig=0/000$ درصد نیتروژن کل با $sig=0/005$ فسفر کل با $sig=0/001$ و پتاسیم استخراج‌شده‌ی خاک با $sig=0/004$ در عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت (سال اول)، میان‌مدت (سال‌های دوم و سوم) و بلندمدت (سال چهارم پس از آتش‌سوزی) اختلاف معنی‌دار بود، اما تفاوت بین اندازه‌های نسبت نیتروژن به فسفر با $sig=0/053$ در عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت (سال اول)، میان‌مدت (سال‌های دوم و سوم) و بلندمدت (سال چهارم پس از آتش‌سوزی) معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج آزمون تجزیه‌ی پراش متغیرها در عرصه‌های طبیعی و سوخته.

متغیرها	ضریب تغییر	منبع تغییر	مجموع مربع‌ها	درجه‌ی آزادی (df)	میانگین مربع‌ها	F محاسبه‌شده	تراز معنی‌داری (sig)
روان آب	۰/۴۵	بین گروهی	۵۱۶۳۷۶/۱۴۳	۷	۷۳۷۶۸/۰۲۰	۲/۷۵۱	۰/۰۲۰
		درون گروهی	۲۶۸۱۲/۰۲۸	۴۰	۲۶۸۱۲/۰۲۸		
		کل	۱۵۸۸۸۵۷/۲۷۷	۴۷			
غلظت مواد معلق	۰/۷۴	بین گروهی	۳۸۵/۷۵۳	۷	۵۵/۱۰۸	۱۳/۴۱۵	۰/۰۰۰
		درون گروهی	۱۶۴/۳۱۹	۴۰	۴/۱۰۸		
		کل	۵۵۰/۰۷۲	۴۷			
فرسایش ویژه	۰/۴۹	بین گروهی	۳۵۵۵۱/۰۲۶	۷	۵۰۷۸/۷۱۸	۱۳/۴۱۵	۰/۰۰۰
		درون گروهی	۱۵۱۴۳/۵۹۳	۴۰	۳۷۸/۵۹۰		
		کل	۵۰۶۹۴/۶۱۹	۴۷			
نیتروژن کل خاک (درصد)	۰/۳۵	بین گروهی	۰/۰۹۷	۷	۰/۰۱۴	۴/۴۱۷	۰/۰۰۵
		درون گروهی	۰/۰۵۷	۱۸	۰/۰۰۳		
		کل	۰/۱۵۴	۲۵			
فسفر کل خاک (ppm)	۰/۵۰	بین گروهی	۱۲۴۲/۸۳۶	۷	۱۷۷/۵۴۸	۶/۱۳۴	۰/۰۰۱
		درون گروهی	۵۲۱/۰۰۴	۱۸	۲۸/۹۴۵		
		کل	۱۷۶۳/۸۴۰	۲۵			
پتاسیم استخراج‌شده خاک (ppm)	۰/۲۳	بین گروهی	۹۷۰۴/۶۲۶	۷	۱۳۸۶/۹۴۷	۴/۷۲۵	۰/۰۰۴
		درون گروهی	۵۲۸۱۲/۳۴۴	۱۸	۲۹۳۴/۰۱۹		
		کل	۱۴۹۸۵۲/۹۷۰	۲۵			
نسبت نیتروژن به فسفر (N/P)	۰/۵۸	بین گروهی	۰/۰۰۱	۷	۰/۰۰۰	۲/۵۳۲	۰/۰۵۳
		درون گروهی	۰/۰۰۱	۱۸	۰/۰۰۰		
		کل	۰/۰۰۲	۲۵			

روند افزایش مقدار روان آب از کوتاه‌مدت به بلندمدت نزولی بود، اما در بلندمدت نیز به حالت اولیه و طبیعی پیش از آتش‌سوزی برگشت و هنوز افزایش (۳۵٪) نشان داد. نمودار تغییر مقدار روان آب به‌همراه نتیجه‌ی گروه‌بندی دانکن و درصد تغییر روان آب عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت (سال اول)، میان‌مدت (سال‌های دوم و سوم) و بلندمدت (سال چهارم پس از آتش‌سوزی) در شکل ۲ نشان داده شده است.

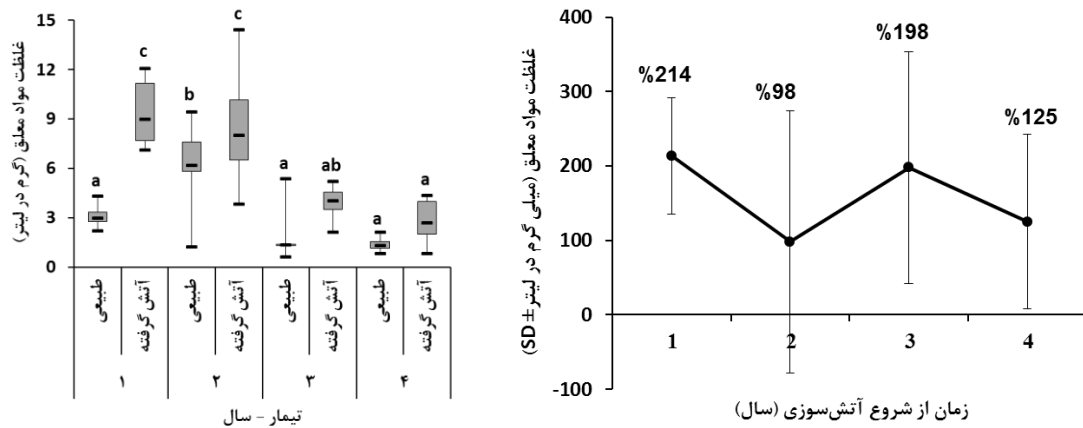
تغییر زمانی روان آب پس از آتش‌سوزی
اندازه‌ی روان آب در طول سال اول آتش‌سوزی (اثرهای فوری) افزایش معنی‌دار (۹۹/۵٪) پیدا کرد، به‌طوری‌که مقدار میانگین روان آب در عرصه‌ی طبیعی ۲۵۹/۴ و عرصه‌ی سوخته حدود ۴۷۰ میلی لیتر بود. اندازه‌ی روان آب در میان‌مدت (سال‌های دوم و سوم پس از آتش‌سوزی) به‌ترتیب ۷۱/۶ و ۵۷٪ افزایش معنی‌دار و در بلندمدت (سال چهارم) افزایش معنی‌دار (۴۷٪) نشان داد. به عبارتی



شکل ۲- تغییر روان آب عرصه‌های سوخته نسبت به طبیعی (درصد \pm SD) (راست) و تغییر مقدار روان آب تیمارها با گروه‌بندی دانکن (چپ).

روند افزایش غلظت مواد معلق از کوتاه‌مدت تا بلندمدت نزولی بود و در میان‌مدت (سال سوم) و بلندمدت (سال چهارم) به حالت اولیه و طبیعی پیش از آتش‌سوزی برگشت. نمودار تغییر غلظت مواد معلق به‌همراه گروه‌بندی دانکن و درصد تغییر غلظت مواد معلق تولیدشده‌ی عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت (سال اول)، میان‌مدت (سال‌های دوم و سوم) و بلندمدت (سال چهارم پس از آتش‌سوزی) در شکل ۳ نشان داده شده است.

تغییر زمانی غلظت مواد معلق پس از آتش‌سوزی غلظت مواد معلق روان‌آب در سال اول آتش‌سوزی (اثرهای فوری) افزایش معنی‌دار (۲۱۴٪) پیدا کرد، به‌طوری‌که میانگین غلظت مواد معلق در عرصه‌ی طبیعی ۳/۱۱ گرم در لیتر و در عرصه‌ی سوخته حدود ۹/۳۸ گرم در لیتر بود. در میان‌مدت (سال‌های دوم و سوم پس از آتش‌سوزی) به ترتیب افزایش‌های معنی‌دار (۹۸ و ۱۹۸٪) و در بلندمدت (سال چهارم) افزایش نامعنی‌دار (۱۲۵٪) را نشان داد. به عبارتی،

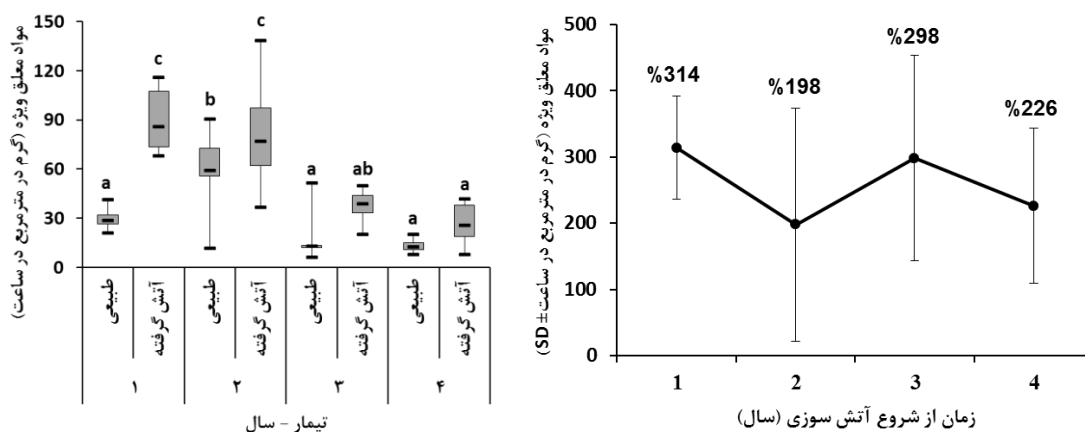


شکل ۳- تغییر غلظت مواد معلق تولیدشده‌ی عرصه‌های سوخته نسبت به طبیعی (درصد \pm SD) (راست) و تغییر غلظت مواد معلق تولیدشده‌ی تیمارها با نتایج گروه‌بندی دانکن (چپ).

تغییر زمانی فرسایش ویژه پس از آتش سوزی

نمودار فرسایش ویژه به همراه گروه‌بندی دانکن و درصد تغییر مواد معلق ویژه عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت (سال اول)، میان‌مدت (سال‌های دوم و سوم) و بلندمدت (سال چهارم پس از آتش‌سوزی) در شکل ۴ نشان داده شده است. در این پژوهش مشخص شد که در سال اول آتش‌سوزی مقدار فرسایش ویژه افزایش معنی‌دار پیدا کرده است (۳۱۴٪)، به عبارت دیگر اثرهای فوری آتش‌سوزی، در

افزایش ۳ برابری فرسایش ویژه در عرصه‌های سوخته نسبت به طبیعی نشان داده شده است. در میان‌مدت (سال‌های دوم و سوم پس از آتش‌سوزی) به ترتیب ۱۹۸ و ۲۹۸٪ افزایش و در بلندمدت (سال چهارم) ۲۲۶٪ افزایش نشان داد. پس از بیش‌ترین افزایش فرسایش ویژه در سال اول، در سال‌های دوم، سوم و چهارم نوسان‌های آن دیده شد، اما در بلندمدت یعنی پس از چهار سال از وقوع آتش‌سوزی هنوز شرایط به حالت طبیعی باز نگشته است.



شکل ۴- تغییر مواد معلق ویژه در عرصه‌های سوخته نسبت به طبیعی (درصد \pm SD) (راست) و تغییر مواد معلق ویژه تیمارها با گروه‌بندی دانکن (چپ).

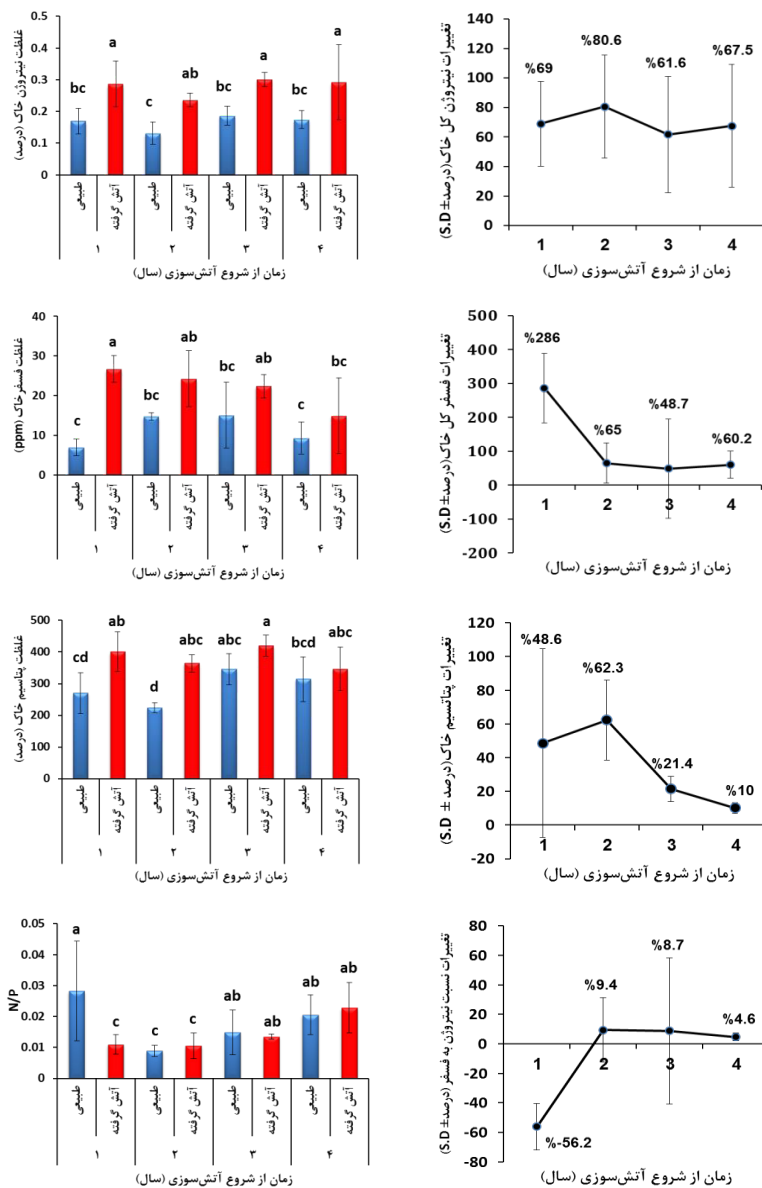
خاک بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی است، به‌طوری‌که فسفر در سال اول آتش‌سوزی ۲۸۶٪، در سال دوم پس از آن ۶۵٪، در سال سوم پس از آن ۴۸/۶٪ و در سال چهارم پس از آن حدود ۶۰٪ افزایش نشان داد (شکل ۵). این تغییر در سال اول یعنی بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی (سال ۱۳۹۶) بیش‌تر است، و با گذشت زمان در کوتاه‌مدت کم‌تر شد، اما در بلندمدت مجدداً افزایش یافت. دلیل آن را می‌توان آزادشدن کاتیون‌های اصلی از مواد آلی، تشکیل شدن خاکستر و ترکیب شدن آن با خاک (کنارد و قولز ۲۰۰۱)، دمای زیاد تبخیر و کانی‌سازی فسفر آلی در دمای زیاد برای فسفر دسترس (گینتو و همکاران ۲۰۰۱) دانست.

مقدار پتاسیم استخراج‌شده خاک در عرصه‌هایی که آتش‌سوزی در آن رخ داده است بیش‌تر از عرصه‌های طبیعی است. به‌طوری‌که پتاسیم استخراج‌شده خاک در سال اول ۴۸/۶٪، سال دوم ۶۲/۳٪، سال سوم ۲۱/۴٪ و سال چهارم حدود ۱۰٪ افزایش نشان داده است (شکل ۵). به عبارت دیگر در ۱۳۹۵ یعنی دو سال پس از آتش‌سوزی (اثرهای میان‌مدت) بیش‌ترین افزایش پتاسیم استخراج‌شده و

تغییر زمانی مقدار عنصرهای غذایی خاک پس از آتش‌سوزی نمودار تغییر مقدار عنصرهای غذایی خاک به‌همراه نتیجه‌ی گروه‌بندی دانکن و درصد تغییر آن‌ها در عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت (سال اول)، میان‌مدت (سال‌های دوم و سوم) و بلندمدت (سال چهارم پس از آتش‌سوزی) در شکل ۵ نشان داده شده است. به‌طوری‌که نیتروژن کل خاک در سال وقوع آتش‌سوزی ۶۹٪، سال دوم پس از آن ۸۰/۶٪، سال سوم پس از آن ۶۱/۶٪ و سال چهارم پس از آن ۶۷/۵٪ افزایش پیدا کرد. بنابراین مشخص شد که تاثیر آتش‌سوزی بر درصد نیتروژن کل خاک حتی در بلندمدت (بیش از ۴ سال) نیز به حالت طبیعی برگشتنی نیست. دلیل آن افزایش تراکم عنصرهای غذایی حامل ترکیب‌های نیتروژن در خاک بر اثر آتش‌سوزی و در نهایت افزایش یافتن اندازه‌ی نیتروژن کل خاک است. این افزایش در سال‌های مختلف تغییر کرده است، و دلیل آن را می‌توان تجزیه‌شدن لاش‌برگ‌ها (شوچ و بینکلی ۱۹۸۶) و خاکستر به شکل‌های مختلف و ادغام شدن آن با خاک دانست (سرتینی ۲۰۰۵). نتایج این پژوهش نشان‌دهنده‌ی افزایش بسیار زیاد مقدار فسفر کل

آتش‌سوزی (اثرهای فوری) کاهش معنی داری داشت اما در سال‌های بعدی (اثرهای میان‌مدت و بلندمدت) روند تغییر عوض شد و افزایش نسبتاً ناچیزی نشان داد (جدول ۳). دلیل کاهش شدید این نسبت در سال اول (اثرهای فوری) افزایش بسیار بیش‌تر اندازه‌ی فسفر (۳۸۶٪) نسبت به افزایش نیتروژن (۶۲٪) است (چافر و مک ۲۰۱۰). این روند پس از گذشت زمان در کوتاه‌مدت و بلندمدت با افزایش بیش‌تر نیتروژن نسبت به افزایش اندازه‌ی فسفر در خاک‌های سوخته نسبت به طبیعی افزایش نامعنی دار ۹/۴ تا ۴/۶٪ نشان می‌دهد (شکل ۵).

در ۱۳۹۳ یعنی چهار سال پس از آتش‌سوزی (اثرهای بلندمدت)، کم‌ترین افزایش پتاسیم استخراج‌شدنی خاک دیده شد. در سال چهارم پس از آتش‌سوزی، اختلاف مقدار پتاسیم استخراج‌شدنی بین دو منطقه‌ی سوخته و طبیعی هنوز باقی است، اما روند کاهشی آن نشان‌دهنده‌ی بازگشت و تثبیت‌شدن شرایط به حالت اولیه است. دلیل این کاهش آب‌شویی پتاسیم استخراج‌شدنی و مصرف‌شدن آن در گیاه دانسته شده است (آلکانیز و همکاران ۲۰۱۸). بررسی نسبت نیتروژن به فسفر خاک (N/P) در دو عرصه‌ی طبیعی و آتش‌گرفته نشان داد که اندازه‌ی این نسبت در سال اول



شکل ۵- تغییر عنصرهای غذایی خاک منطقه‌های سوخته نسبت به طبیعی (درصد \pm SD) (راست) و تغییر مقدار عنصرهای غذایی خاک عرصه‌های طبیعی و سوخته و گروه‌بندی دانکن (چپ).

بحث و نتیجه گیری

اندازه‌ی روان آب بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی در جنگل‌های بلوط آبخیز دریاچه‌ی زریبار ۹۹/۵ درصد افزایش یافت، اما در سال‌های دوم، سوم و چهارم پس از آتش‌سوزی به ترتیب ۷۱/۶، ۵۷ و ۴۷٪ افزایش در آن رخ داد. به عبارت دیگر با آن که روند افزایش روان آب از کوتاه‌مدت به بلند مدت نزولی بود، پس از گذشت چهار سال از آتش‌سوزی هنوز شرایط به حالت طبیعی پیش از آتش‌سوزی برگشته است، و هنوز روان آب ۳۵٪ افزایش نشان می‌دهد (شکل ۲). دلیل افزایش روان آب پس از وقوع آتش‌سوزی، حذف شدن پوشش گیاهی، افزایش تأثیر قطره‌های باران بر خاک لخت، آب‌گریز شدن خاک و افزایش ضریب روان آب است (شکسبای ۲۰۱۱؛ مونتویا و همکاران ۲۰۱۳؛ ابراهیمی محمدی و همکاران ۲۰۱۶). اما با گذشت زمان در چند سال با ایجاد پوشش گیاهی و شست و شوی خاکستر سطح خاک، مقدار روان آب تولیدشده کاهش یافته است. نتایج پژوهش هیوسو گنزالس و همکاران (۲۰۱۸) در منطقه‌ی مدیترانه نیز نشان داد که روان آب در دو سال اول پس از آتش‌سوزی افزایش شدید و در سال‌های پس از آن کاهش داشته است. میر و همکاران (۲۰۰۷) نیز نشان دادند که در مدیترانه اثرهای آتش‌سوزی در افزایش روان آب تا سه سال پس از آن معنی‌دار بود. ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۶) در آبخیز دریاچه‌ی زریبار به این نتیجه رسیدند که در چهار چوب‌های سوخته بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی روان آب به‌طور متوسط ۳/۲ برابر آن در چهار چوب‌های طبیعی است. ویرا و همکاران (۲۰۱۵) با مرور ۲۰ پژوهش انجام‌شده در باره‌ی تغییر زمانی روان آب پس از آتش‌سوزی، روند یک‌نواخت و نزولی افزایش روان آب را تا سه سال پس از آن تایید کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که به‌طور کلی آتش‌سوزی باعث افزایش معنی‌دار حجم مواد معلق منتقل‌شده با روان آب در بلندمدت در عرصه‌های سوخته نسبت به عرصه‌های طبیعی شده است. اگرچه نوسان‌های سالانه‌ی هم بود، فرسایش ویژه در عرصه‌ی سوخته نسبت به عرصه‌ی طبیعی در تراز اطمینان ۹۵٪ در طول چهار سال پس از آتش‌سوزی افزایش معنی‌دار نشان داد. دلیل آن را می‌توان به افزایش ضریب روان آب به دلیل نبود پوشش گیاهی، کاهش نفوذ آب به دلیل آب‌گریزی خاک نسبت داد (لارسن و همکاران ۲۰۰۹). نتیجه‌ی پژوهش‌های پاساس و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داد که فرسایش اولیه‌ی خاک در دو سال اول پس از آتش‌سوزی بسیار زیاد است و پس از آن به سرعت بهبود می‌یابد، که کاملاً منطبق با نتایج این پژوهش است. ویرا و همکاران (۲۰۱۵) نوسان‌های افزایش اندازه‌ی فرسایش را در چهار دوره‌ی بی‌فاصله پس

از آتش‌سوزی، ۰/۵ تا ۱/۵ سال پس از آن، ۱/۵ تا ۳ سال و بیش از ۳ سال از وقوع آتش‌سوزی تایید کردند. نتایج پژوهش نوسک و همکاران (۲۰۱۶) در شمال شرق استرالیا نیز نشان داد که متوسط تولید مواد معلق در سال‌های اول و دوم پس از آتش‌سوزی، ۱۰ و ۷ تن در هکتار بود که در سال پنجم پس از آتش‌سوزی به ۰/۱ تن در هکتار کاهش یافت. لوکاس-بورجا و همکاران (۲۰۱۹) به این نتیجه رسیدند که مقدار فرسایش خاک به شکل غلظت مواد معلق در عرصه‌های سوخته افزایش معنی‌داری نسبت به عرصه‌های طبیعی دارد. یو و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که با وجود تفاوت‌های منطقه‌ی بین آبخیزها، ۱۰ سال پس از آتش‌سوزی غلظت مواد معلق هنوز هم ۶۴٪ بیش از عرصه‌های طبیعی بود.

نتایج این پژوهش در نوسان‌های افزایشی اندازه‌ی نیتروژن کل خاک در چهار سال پس از آتش‌سوزی و بازنگشتن شرایط به حالت طبیعی حتی در بلندمدت، با نتایج فونتن-رامیرز و همکاران (۲۰۱۵) در بیابان موجاوا در آمریکا هم‌سو است. آنان نیز افزایش دو برابری نیتروژن خاک هفت ماه پس از آتش‌سوزی و برگشتن شرایط به حالت طبیعی حتی پس از گذشت ۷ سال از آتش‌سوزی را نشان دادند. نتایج پژوهش لو و همکاران (۲۰۱۶) در جنگل‌های چین نیز نشان داد که نیتروژن کل خاک بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی حدود دو برابر افزایش داشته و پس از چهار سال نیز به شرایط طبیعی برگشته است. با نتایج پژوهش محمودی و بوستانی (۲۰۱۷) نیز هم‌سو است، به طوری که آنان نیز افزایش ۲ برابری نیتروژن کل خاک را پس از آتش‌سوزی اثبات کردند. این پژوهش با نتیجه‌ی کنگ و همکاران (۲۰۱۸) کاملاً مطابقت دارد چراکه آنان نیز ۱۸۷٪ افزایش در نیتروژن کل خاک عرصه‌های سوخته بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی و ۴۵٪ افزایش در نیتروژن کل حتی پس از گذشت ۱۱ سال از آتش‌سوزی را گزارش کردند.

افزایش شدید فسفر کل مشاهده‌شده در این پژوهش بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی و بازنگشتن شرایط به حالت طبیعی حتی در درازمدت (۴ سال پس از آتش‌سوزی) مطابق با نتایج پژوهش ژو و همکاران (۲۰۱۴) است. آنان نیز ثابت کردند که فسفر کل خاک بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی و تا یک سال پس از آن، بیش از مقدار فسفر کل در عرصه‌های طبیعی است، اما با گذشت زمان، روند نزولی می‌گیرد و حتی کم‌تر از مقدار فسفر کل عرصه‌های طبیعی می‌شود. نتایج پژوهش داوودی و همکاران (۲۰۱۶) در مرتع‌های زاگرس مرکزی نیز نشان‌دهنده‌ی افزایش مقدار فسفر و بازنگشتن آن به شرایط طبیعی حتی پس از گذشت ۵ سال از آتش‌سوزی است. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش کنگ و همکاران (۲۰۱۸) در

خاک در جنگل‌های شمال چین نشان دادند که فسفر کل و نیتروژن کل خاک بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی به ترتیب ۳۲۹ و ۱۸۷٪ افزایش، و پس از گذشت ۱۱ سال از آتش‌سوزی به ترتیب ۶۹ و ۴۵٪ نسبت به عرصه‌های طبیعی افزایش داشته است. بنابراین نسبت نیتروژن به فسفر (N/P) خاک را در کوتاه‌مدت بسیار زیاد گزارش و روند آن را در بلندمدت نزولی دانستند.

این نتیجه نشان می‌دهد که آتش‌سوزی می‌تواند اثرهای طولانی‌مدت بر تعادل نیتروژن و فسفر خاک داشته باشد. باتلر و همکاران (۲۰۱۷) نیز در پژوهش خود دریافتند که آتش‌سوزی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت فسفر معدنی خاک و کاهش قابل توجه نسبت N/P می‌شود، و نتیجه گرفتند که این اثرها بسته به انواع پوشش گیاهی، ویژگی‌های آتش‌سوزی و بازخورد گیاه و خاک متفاوت است.

در مجموع نتایج این پژوهش نشان‌دهنده‌ی اثر آتش‌سوزی به شکل افزایش اندازه‌ی روان‌آب، حجم مواد معلق منتقل‌شده با روان‌آب، فسفر کل، نیتروژن کل و پتاسیم استخراج‌شده‌ی خاک حتی پس از گذشت ۴ سال از آن بود، و تنها اندازه‌ی پتاسیم خاک پس از چهار سال تقریباً به حالت طبیعی بازگشت. بنابراین با توجه به اثرهای مخرب بلندمدت آتش‌سوزی پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده اثر مواد معلق منتقل‌شده با روان‌آب و عنصرهای غذایی خاک بر وضعیت زیست‌محیطی دریاچه‌ی زیربار بررسی شود تا آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از آتش‌سوزی در این اکوسیستم بهتر درک شود.

جنگل‌های تایگا کاملاً مطابقت دارد. آنان نیز ۳۲۹٪ افزایش در فسفر کل خاک عرصه‌های سوخته بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی و ۶۹٪ افزایش در فسفر کل حتی پس از گذشت ۱۱ سال از آتش‌سوزی را نشان دادند.

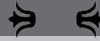
نتایج این پژوهش در افزایش مقدار پتاسیم استخراج‌شده‌ی خاک در عرصه‌های سوخته نسبت به طبیعی و سیر بازگشت شرایط به حالت اولیه مطابق با نتایج پژوهش ژو و همکاران (۲۰۱۴) است. آنان نیز ثابت کردند که پتاسیم استخراج‌شده‌ی خاک بی‌فاصله پس از وقوع آتش‌سوزی و تا یک سال پس از آن، بیش از عرصه‌های طبیعی است، اما به تدریج روند نزولی می‌گیرد و پس از هفت سال از آتش‌سوزی حتی کم‌تر از مقدار پتاسیم استخراج‌شده‌ی خاک عرصه‌های طبیعی می‌شود. فرانکوس و همکاران (۲۰۱۸) نیز در اروپای غربی نشان دادند که در درازمدت نیز پتاسیم استخراج‌شده‌ی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از عرصه‌های طبیعی است. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش کنگ و همکاران (۲۰۱۸) در جنگل‌های تایگا نیز مطابقت دارد. آنان نیز افزایش فسفر کل خاک عرصه‌های سوخته بی‌فاصله پس از آتش‌سوزی و روند نزولی افزایش آن تا ۱۱ سال پس از وقوع آتش‌سوزی را گزارش کردند.

نتایج بررسی اثر آتش‌سوزی بر نسبت نیتروژن به فسفر خاک (N/P) که کاهش معنی‌دار آن را در سال اول و افزایش ناچیز تا چهار سال پس از آتش‌سوزی نشان داد با نتایج پژوهش کنگ و همکاران (۲۰۱۸) هم‌سو است، که با بررسی اثرهای بلندمدت آتش‌سوزی بر ترکیب عنصرهای غذایی

- Alcañiz M, Outeiro L, Francos M, Úbeda X. 2018. Effects of prescribed fires on soil properties: A review. *Science of the Total Environment*. 613–614: 944–957
- Ardakani A, Valadan-zooj MJ, Mansourian A. 2010. Spatial analysis of fire potential in Iran different region by using RS and GIS. *Journal of Environmental Studies*. 35(52): 25–34.
- Baartman JEM, Masselink R, Keesstra SD, Temme AJAM. 2013. Linking landscape morphological complexity and sediment connectivity. *Earth Surface Processes and Landforms*. 38(12): 1457–1471.
- Badía D, Sánchez C, Aznar JM, Martí C. 2015. Post-fire hillslope log debris dams for runoff and erosion mitigation in the semiarid Ebro Basin. *Geoderma*. 237–238: 298–307.
- Bremner JM, Mulvaney CS. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Butler OM, Lewis T, Chen CR. 2017. Fire alters soil labile stoichiometry and litter nutrients in Australian eucalypt forests. *Journal of the International Association of Wildland Fire*. 26(9): 783–788.
- Certini G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 143(1): 1–10.
- Davoudi M, Hajabbasi MA, Mosaddeghi MR, Irvani M. 2016. Residual effects of burnings on some soil chemical properties in a pasture in the central Zagros. *Iranian Journal of Soil Research*. 30(2): 227–236. (In Persian).
- Department of Natural Resources and Watershed Management of Kurdistan Province. 2017. Data and information on fires in Kurdistan province from 2014 to 2017. 12 p. (In Persian).
- Ebrahimi Mohammadi sh, Azari M, Manooch-ehri E. 2016. Effects of fire on soil properties, erosion and hydrologic regime of Zrebar lake watershed. *Journal of Water and Soil*. 30(2): 618–631. (In Persian).
- Fernelius KJ, Madsen MD, Hopkins BG, Bansal Sh, Anderson VJ, Eggett DL, Roundy BA. 2017. Post-fire interactions between soil water repellency, soil fertility and plant growth in soil collected from a burned piñon-juniper woodland. *Journal of Arid Environments*. 114: 98–109.
- Francos MX, Úbeda Pereira P, Alcañiz M. 2018. Long-term impact of wildfire on soils exposed to different fire severities. A case study in Cadi-retes Massif (NE Iberian Peninsula). *Science of the Total Environment*. 615: 664–671.
- Fuentes-Ramirez A, Schafer JL, Mudrak EL, Schat M, Parag HA, Holzapfel C, Moloney KA. 2015. Spatio-temporal impacts of fire on soil nutrient availability in *Larrea tridentata* shrublands of the Mojave Desert, USA. *Geoderma*. 259–260: 126–133.
- Griffiths RP, Madritch MD, Swanson AK. 2009. The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest Ecology and Management*. 257: 1–7.
- Guinto DF, Xu ZH, House APN, Saffigna PG. 2001. Soil chemical properties and Forest floor nutrients under repeated prescribed-burning in eucalypt forest of South-East Queensland, Australia. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 31(2): 170–187.
- Güsewell, S, Koerselman, W. 2002. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 5(1): 37–61.
- Hamman ST, Burke IC, Knapp EE. 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.
- Hueso- González P, Martínez-Murillo JF, Ruiz-Sinoga JD. 2018. Prescribed fire impacts on soil properties, overland flow and sediment transport in a Mediterranean forest: A 5 year study. *Science of the Total Environment*. 636: 1480–1489.
- Kennard DK, Gholz HL. 2001. Effects of high-intensity fires on soil properties and plant growth in a Bolivian dry forest. *Plant and Soil*, 234: 119–129.
- Kong JJ, Yang J, Bai E. 2018. Long-term effects of wildfire on available soil nutrient composition and stoichiometry in a Chinese boreal forest. *Science of the Total Environment*. 642: 1353–1361.
- Kong JJ, Yang J, Chu H, Xiang X. 2015. Effects of wildfire and topography on soil nitrogen availability in a boreal larch forest of northeastern China. *International Journal of Wildland Fire*. 24(3): 433–442
- Larsen IJ, MacDonald LH, Brown E, Rough D, Welsh MJ, Pietraszek JH, Libohova Z, Benavides-Solorio JD, Schaffrath K. 2009. Causes of post-fire runoff and erosion: water repellency, cover, or soil sealing?. *Soil Science Society of America Journal*. 73(4): 1393–1407.
- Liu W, Qi L, Fang Y, Yang J. 2016. Wildfire effects on ecosystem nitrogen cycling in a Chinese boreal larch forest, revealed by ^{15}N natural abundance. *Biogeo Sciences Discuss*, <https://doi.org/10.5194/bg-2016-91>.
- Lucas-Borja ME, Plaza-Álvarez PA, Gonzales-Romero J, Sagra J, Alfaro-Sánchez R, Zema DA, Moya D, de las Hera 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.
- Mahmoodi A, Boostani HR, 2017. Investigation of the fire effect on some nutrient availability and chemical properties of a rangeland soil (case study: Morvarid rangeland, Darab region). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 6(16): 35–48. (In Persian).
- Mataix-Solera J, Cerdà A, Arcenegui V, Jordán A, Zavala LM. 2011. Fire effects on soil aggregation: a review. *Earth-Science Reviews*. 109(1–2): 44–60.
- Mayor AG, Bautista S, Llovet J, Bellot J. 2007. Post-fire hydrological and erosional responses of a Mediterranean landscape: seven years of catchment-scale dynamics. *Catena*. 71(1): 68–75.
- Nguyen ChT. 2011. Effects of a prescribed fire on soil nutrient pools in the pine rockland forest ecosystem. PhD thesis, University of Florida. 288 p.
- Noske PJ, Lane PNJ, Nyman, Sheridan GJ. 2016. Effect of aridity in controlling the magnitude of runoff and erosion after wildfire, *Water Resources Research*. 52(6): 4338–4357.
- Olsen SR. 1982. *Methods of soil analysis part 2*. Second edition. Agronomy. 1143 p.
- Pausas JG, Llovet J, Rodrigo A, Vallejo R. 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? – A review. *International Journal of Wildland Fire*. 17(6): 713–723.
- Ranalli AJ. 2004. A summary of the scientific literature on the effects of fire on the concentration of nutrients in surface waters. Open-File Report, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. 27 p.
- Ryan J, Estefan G, Rashid A. 2001. *Soil and plant analysis laboratory manual*. 2nd ed. Jointly published by the International Centre Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria and National Agric. Res. Centre (NARC), Islamabad. 172 p.
- Schafer JL, Mack MC. 2010. Short-term effects

- of fire on soil and plant nutrient in palmetto flatwoods. *Plant and Soil*, 334: 433–447. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0394-2>
- Schafer JL, Mack MC. 2013. Effects of time-since-fire on soil nutrient dynamics in Florida scrubby flatwoods. *Florida Scientist*. 76(3): 417–435.
- Schoch P, Binkley D. 1986. Prescribed burning increased nitrogen availability in a mature loblolly pine stand. *Forest Ecology and Management*. 14(1): 13–22.
- Shakesby RA. 2011. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews*. 105(3–4): 71–100.
- Stoof CR, Ferreira AJD, Mol W, Van den Berg J, De Kort A, Drooger S, Slingerland EC, Mansholt AU, Ferreira CSS, Ritsema CJ. 2015. Soil surface changes increase runoff and erosion risk after a low–moderate severity fire. *Geoderma*, 239–240:58–67.
- Vieira DCS, Fernández C, Vega J, Keizer JJ. 2015. Does soil burn severity affect the postfire runoff and interrill erosion response? A review based on meta-analysis of field rainfall simulation data. *Journal of Hydrology*, 523: 452–464.
- Walling DE, Collins AL, Sichingabula HA, Leeks GJL. 2001. Integrated assessment of catchment suspended sediment budget: a Zambian example. *Land Degradation and Development*. 12(5): 387–415.
- Xue L, Li Q, Chen H. 2014. Effects of a wildfire on selected physical, chemical and biochemical soil properties in a pinus massoniana forest in south China. *Forests*. 5(12): 2947–2966.
- Yu M, Bishop TFA, Van Ogtrop FF. 2019. Assessment of the decadal impact of wildfire on water quality in forested catchments. *Water*. 11(3): 533. <https://doi.org/10.3390/w11030533>.



Watershed Management Research

VOL. 33, No. 2, Ser. No: 127, Summer 2020, pp. 52 -65
DOI: 10.22092/wmej.2019.126995.1243

Temporal variations of runoff, erosion and soil nutrients affected by fires in oak forests of Lake Zaribar

Iraj Alli

M.Sc. Student of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan.

Shirko Ebrahimi Mohammadi

(Corresponding Author)* Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan.

Masoud Davari

Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan.

*Corresponding Author Email: shirkoebrahimi@uok.ac.ir
Received: 11 July 2019 Accepted: 17 December 2019

Abstract

Fires cause physical, chemical and biological changes in the soil such as porosity, specific gravity, infiltration rate, runoff, erosion, pH and nutrient cycling. The Eijkelkamp rainfall simulator and 0.09 m² plots were used to investigate the temporal variations of runoff, erosion, suspended load concentration and the amount of total nitrogen, total phosphorus, and extractable soil potassium, and finally, how the burned areas in the Zarivar Lake Watershed returned to the previous conditions from 2014 to 2017 were analyzed. Results at the 95% confidence level showed a two-fold increase in the runoff in the short term, and a decreasing trend in the long term. The suspended load removed from the plots increased threefold in the short term. The fire also significantly increased total nitrogen, total phosphorus, and extractable potassium in the first year by 70, 286 and 48%, respectively. But in the long term, only the extractable potassium returned to the normal condition. Therefore, it was found that, after four years of fire in the oak forests of the Zaribar Lake Watershed, except for the suspended load concentration and extractable potassium, the other variables did not return to the normal conditions.

Keywords: Extractable potassium, Marivan, nitrogen, oak forest, phosphorus