

کلیدواژه‌ها: آتش‌سوزی، دریاچه زریبار، رواناب، شبیه‌ساز باران، مواد مغذی محلول.

مقدمه

آتش‌سوزی صرف‌نظر از منشأ پیدایش (طبیعی یا مصنوعی) به صورت مستقیم بر ویژگی‌های فیزیکی (تخریب ساختار و تخلخل خاک، افزایش رواناب و فرسایش)، شیمیایی (کاهش مواد آلی، بخار شدن کاتیون‌ها، تغییر در ذخیره عناصر غذایی و چرخه آنها) و زیستی خاک (کاهش گونه‌های میکرو و ماکروفون‌ها و تغییر جمعیت میکروبی) و همچنین از طریق تأثیر بر پوشش گیاهی، توده شاخ و برگ و جانوران خاکزی به صورت غیرمستقیم بر کیفیت رویشگاه اثرات کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت دارد [۲]. بررسی اثرات آتش‌سوزی بر کیفیت خاک، ویژگی‌های هیدرولوژی و فرسایش خاک‌های جنگلی امروزه مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است [۱۱، ۲۵]. آتش‌سوزی‌های شدید در جنگل با ایجاد ترکیبات آلی با خاصیت آب‌گریزی در خاک [۱۵] منجر به کاهش نفوذپذیری آب شده و بازده چرخه هیدرولوژیکی را کاهش می‌دهد. آتش‌سوزی باعث کاهش ظرفیت نگهداشت آب خاک، کاهش نفوذ و در نتیجه افزایش رواناب می‌شود [۳۵]. پس از وقوع آتش‌سوزی که پوشش گیاهی در کمترین حد و خاکستر فرسایش‌پذیر در بیش‌ترین حد است، رواناب و حمل مواد مغذی محلول افزایش می‌یابد. روند افزایش رواناب و غلظت مواد مغذی بسته به شرایط و زمان برگشت منطقه به حالت اولیه پیش از آتش‌سوزی، تا چند ماه یا چند سال ادامه دارد. به طوری که نتایج پژوهش ابراهیمی محمدی و همکاران [۱۳] در حوزه آبخیز دریاچه زریبار حاکی از کاهش ۴۶ و ۶ درصدی ذخیره رطوبتی خاک به ترتیب در شیب کمتر از ۳۰ درصد و ۳۰ تا ۶۰ درصد در سال اول آتش‌سوزی بود. کنگ و همکاران [۲۱] در پژوهشی با هدف بررسی اثرات بلندمدت آتش‌سوزی بر ترکیب عناصر غذایی موجود در یک جنگل بکر در چین، به این نتیجه رسیدند که یک سال پس از آتش‌سوزی، عناصر نیتروژن و فسفر به طور نسبی افزایش پیدا کرد. آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی ایران با هدف تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی صورت گرفته و قرار گرفتن ایران در کمربند خشک کره زمین و ناحیه پرفشار جنب حاره‌ای، شرایط جوی لازم برای وقوع آن را تسهیل می‌کند. بنابر آمار فائو (سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل متحد) ایران سالانه ۰/۰۶ درصد از عرصه‌های جنگلی و مرتعی خود را در اثر آتش‌سوزی

تغییرات زمانی اثرات آتش‌سوزی بر غلظت مواد مغذی محلول و میزان رواناب در حوزه آبخیز دریاچه زریبار

ایرج عالی^۱، شیرکو ابراهیمی محمدی^۲، مسعود داوری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

چکیده

آتش‌سوزی باعث اثرات مخربی بر خاک، آب و اجزای اکوسیستم دریاچه‌ها می‌شود. هدف این پژوهش بررسی اثرات آتش‌سوزی بر میزان رواناب و غلظت مواد مغذی محلول حوزه آبخیز دریاچه زریبار بین سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶ و شرایط بازگشت مناطق سوخته به حالت طبیعی در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت است. نتایج نشان داد که در سال چهارم پس از آتش‌سوزی میزان رواناب و غلظت‌های کلسیم و آمونیوم محلول در مناطق سوخته نسبت به مناطق طبیعی به ترتیب ۴۷، ۵/۹ و ۲۲/۸ درصد افزایش معنی‌دار دارد که بیانگر عدم بازگشت شرایط به حالت طبیعی است. غلظت‌های فسفر کل و نترات محلول در سال سوم پس از آتش‌سوزی به ترتیب افزایش‌های غیرمعنی‌دار ۶/۳ و ۴/۹ درصدی را نشان داد که بیانگر بازگشت شرایط به حالت طبیعی است. غلظت پتاسیم و نیتروژن کل محلول در سال چهارم پس از آتش‌سوزی در مناطق سوخته نسبت به مناطق طبیعی به ترتیب ۱/۵ و ۱/۱۴ درصد افزایش غیرمعنی‌دار یافته که نشان از بازگشت شرایط به حالت طبیعی در سال چهارم پس از آتش‌سوزی است. به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که حتی در بلندمدت، برخی از اثرات مخرب آتش‌سوزی بر کمیت و کیفیت آب حوزه آبخیز دریاچه زریبار باقی خواهد ماند.

۱- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

۲- نویسنده مسئول و استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان و عضو گروه پژوهشی مطالعات محیطی دریاچه زریبار، پژوهشکده کردستان‌شناسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

پست الکترونیک: shirkoebrahimi@uok.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

از دست می‌دهد که این میزان معادل ۶۵۰۰ هکتار از جنگل‌ها و مراتع کشور است [۶]. با توجه به بارش فراوان و در نتیجه وجود پوشش گیاهی زیاد در حوزه آبخیز دریاچه زریبار، شرایط مساعدی برای وقوع آتش‌سوزی در ماه‌های گرم سال ایجاد می‌شود. علی‌رغم وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در جنگل‌های شهرستان مریوان تاکنون پژوهشی در مورد اثرات میان‌مدت و بلندمدت آتش‌سوزی بر رواناب و غلظت مواد مغذی محلول صورت نگرفته است لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات آتش‌سوزی‌های سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ بر رواناب و غلظت مواد مغذی محلول عرصه‌های طبیعی این حوضه و سیر احیای طبیعی آنها انجام شد. بدیهی است مطالعه و بررسی اثرات کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت آتش‌سوزی بر رواناب و غلظت مواد مغذی محلول اطلاعات مفیدی در خصوص واکنش عرصه‌های طبیعی در برابر آتش‌سوزی، سیر تحول و احیای طبیعی آنها و اثرات برون منطقه‌ای آتش‌سوزی در اختیار مدیران قرار خواهد داد که بر اساس آن می‌توان روش‌های مدیریتی مناسب‌تری را برای چنین عرصه‌هایی اعمال کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

محدوده مورد مطالعه حوزه آبخیز دریاچه زریبار به مساحت ۹۶۳۱/۷ هکتار در مجاورت شهرستان مریوان در استان کردستان بین طول ۴۶ درجه و ۳ دقیقه و ۵۲ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۴۷ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه و ۰۶ ثانیه عرض شمالی می‌باشد. این محدوده یک حوزه آبخیز تقریباً داخلی است. بر اساس پژوهش رانالی [۳۲] نمونه‌برداری جهت بررسی اثرات آتش‌سوزی به نمونه‌برداری آنی (از شروع آتش‌سوزی تا یک سال)، نمونه‌برداری کوتاه‌مدت (از اتمام آتش‌سوزی تا سه سال) و نمونه‌برداری بلندمدت (بیش از سه سال) تقسیم‌بندی می‌گردد. لذا در این پژوهش با استفاده از اطلاعات آتش‌سوزی‌های سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ موجود در اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان و اداره منابع طبیعی شهرستان مریوان، اراضی جنگلی که در طی این ۴ سال دچار آتش‌سوزی شده‌اند برای نمونه‌برداری انتخاب شدند (شکل ۱). به طوری که به ازای هر سال دو محدوده تیمار (آتش‌گرفته) و شاهد (آتش‌نگرفته) انتخاب شد (جدول ۱) و نمونه‌برداری‌ها و آزمایشات مختلف با دو تکرار صورت پذیرفت. از آنجا که توپوگرافی بر مواد آلی و رطوبت خاک تأثیر می‌گذارد [۱۶، ۲۱، ۲۲] در انتخاب نقاط شاهد و تیمار سعی شد نقاط تا حد امکان به هم نزدیک بوده و اختلاف آن‌ها تنها در وقوع و عدم وقوع آتش‌سوزی باشد. این موضوع سبب شد سایر متغیرهای دخیل مانند تغییرات مکانی و آب و هوایی مؤثر بر ویژگی‌های خاک به حداقل برسد.

روش پژوهش

برای اندازه‌گیری میزان رواناب در تیر ماه ۱۳۹۶ از دستگاه

شبیبه‌ساز باران شرکت Eijkelkamp برای ایجاد بارشی متناسب با شرایط بارش غالب منطقه، ۲ میلی‌متر در دقیقه [۱۳] و طول مدت یک ساعت و از پلات ۰/۳ × ۰/۳ متر در دو تکرار استفاده شد چراکه پلات‌های کوچک درک خوبی از ارتباط رواناب و رسوب حمل شده به پژوهش‌گر می‌دهد [۸]. میزان رواناب خروجی از پلات شبیه‌ساز باران، هر ۱۰ دقیقه یک بار و به مدت یک ساعت توسط بطری‌های پلاستیکی یک لیتری جمع‌آوری شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، حجم رواناب با استفاده از روش وزنی تعیین گردید [۳۶]. در این پژوهش، میزان غلظت پتاسیم محلول در نمونه‌های رواناب به روش آفا^۱ [۵] با استفاده از نورسنج شعله‌ای^۲، کلسیم محلول به روش آفا [۴] با استفاده از نورسنج شعله‌ای، فسفر کل محلول با استفاده از اسپکتروفوتومتر^۳ با فوتولوله^۴ مادون‌قرمز برای استفاده در طول موج ۸۸۰ نانومتر به روش آسکوربیک اسید^۵ [۴]، نیتروژن کل محلول به روش کجلدال^۶ [۱۴]، آمونیوم محلول به روش فنات^۷ [۴] با استفاده از اسپکتروفوتومتر در طول موج ۶۴۰ نانومتر و نترات محلول به روش آفا [۴] با استفاده از اسپکتروفوتومتر با طول موج ۲۲۰ نانومتر سنجش گردید. پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها در محیط Excel، تجزیه و تحلیل آماری آنها با انجام آزمون پارامتری یک فاکتوری طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد به کمک نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 24 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

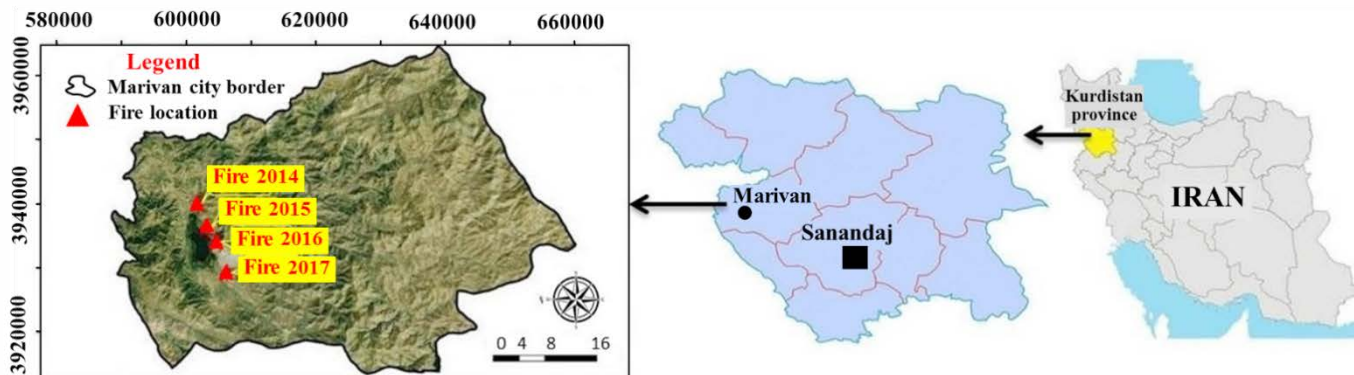
تغییرات زمانی رواناب پس از آتش‌سوزی

نتایج حاکی از افزایش معنی‌دار ۹۹/۵ درصدی رواناب در سال اول و افزایش‌های معنی‌دار ۷۱/۶، ۵۷ و ۴۷ درصدی آن به ترتیب در سال‌های دوم تا چهارم پس از آتش‌سوزی بود. به عبارتی روند افزایش مقدار رواناب از کوتاه‌مدت به بلندمدت نزولی بوده اما در بلندمدت نیز به حالت طبیعی پیش از آتش‌سوزی برگشته است (شکل ۲). با توجه به نتایج آزمون آماری دانکن (جدول ۲) و گروه‌بندی آن (شکل ۲) بین مقادیر میانگین رواناب در عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت اختلاف معنی‌دار با $\text{sig} = 0/020$ وجود دارد.

تغییرات زمانی غلظت کلسیم محلول پس از آتش‌سوزی

نتایج نشان داد که غلظت کلسیم محلول در سال اول آتش‌سوزی افزایش معنی‌دار ۱۶/۲ درصدی (میانگین غلظت کلسیم محلول در عرصه طبیعی ۰/۵۷ و در عرصه سوخته حدود ۰/۶۶ میلی‌گرم در

1. APHA
2. Flame photometer
3. Spectrophotometer
4. Cuvette
5. Ascorbic acid
6. Kjeldahl
7. Phenate



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش به همراه ایستگاه‌های انتخابی از ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ (منبع: گوگل ارث)
 Fig 1. The study area with selected stations from 2014 to 2017 (Source:Google Earth)

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های انتخابی

Table 1. Characteristics of selected stations

ارتفاع (متر) Altitude (m)	Aspect	جهت جغرافیایی	شیب (درصد) Slope (%)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	سال وقوع آتش‌سوزی Year of fire occurrence	ایستگاه Station
1419	West	غربی	44.9	3940049	601932	2014	1
1540	West	غربی	43	3934102	604799	2015	2
1337	West	غربی	41	3936233	603227	2016	3
1387	West	غربی	44.5	3929287	606359	2017	4

و در سال‌های دوم، سوم و چهارم به ترتیب افزایش‌های معنی‌دار ۲۱/۷، ۱۷/۸ و ۵/۹ درصدی را نشان داد. لذا پس از افزایش زیاد در کوتاه‌مدت و میان‌مدت، در بلندمدت کاهش پیدا کرد اما به حالت اولیه و طبیعی پیش از آتش‌سوزی برنگشت. با توجه به نتایج آزمون آماری دانکن (جدول ۲) و گروه‌بندی آن (شکل ۳) اختلاف معنی‌دار با $\text{sig} = 0/000$ بین مقادیر کلسیم محلول در عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت مشاهده شد. همچنین بررسی تغییرات غلظت کلسیم محلول طی بارش شبیه‌سازی شده بیانگر اختلاف میانگین ۰/۰۸ میلی‌گرم در لیتر بین عرصه‌های سوخته و طبیعی است (شکل ۳).

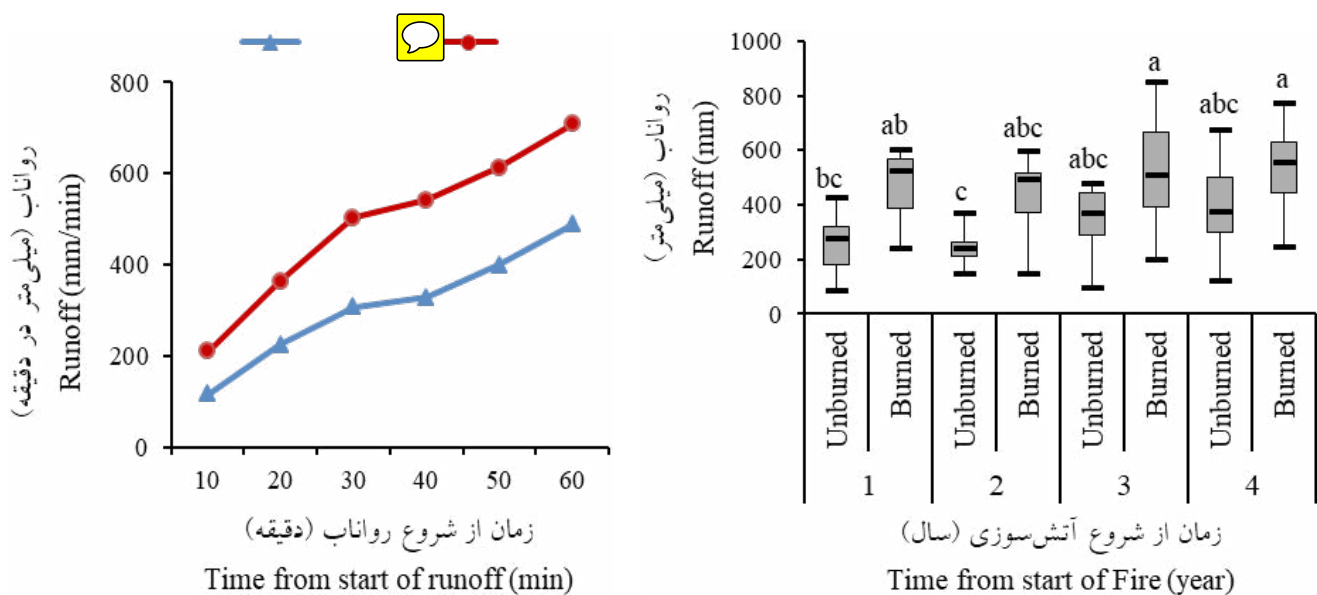
تغییرات زمانی غلظت فسفر کل محلول پس از آتش‌سوزی
 نتایج بیانگر کاهش غیرمعنی‌دار ۳ درصدی فسفر کل محلول در کوتاه‌مدت و افزایش معنی‌دار ۲۴/۳ و غیرمعنی‌دار ۶/۳ و ۹/۶ درصدی به ترتیب در سال‌های دوم، سوم و چهارم پس از آتش‌سوزی بود. لذا مشخص شد که در میان‌مدت تفاوت غلظت فسفر کل محلول در عرصه‌های سوخته نسبت به طبیعی به حداکثر مقدار خود رسیده سپس روند افزایشی فسفر کل محلول کاهش پیدا کرده است و در سال سوم و چهارم به وضعیت طبیعی بازگشته است. تغییرات غلظت فسفر کل محلول طی بارش شبیه‌سازی شده بیانگر اختلاف میانگین ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر بین عرصه‌های سوخته و طبیعی است (شکل ۵). با توجه به نتایج آزمون آماری دانکن (جدول ۲) و گروه‌بندی آن (شکل ۵) بین مقادیر فسفر کل محلول در عرصه‌های سوخته و

لیتر) و در سال‌های دوم، سوم و چهارم به ترتیب افزایش‌های معنی‌دار ۲۱/۷، ۱۷/۸ و ۵/۹ درصدی را نشان داد. لذا پس از افزایش زیاد در کوتاه‌مدت و میان‌مدت، در بلندمدت کاهش پیدا کرد اما به حالت اولیه و طبیعی پیش از آتش‌سوزی برنگشت. با توجه به نتایج آزمون آماری دانکن (جدول ۲) و گروه‌بندی آن (شکل ۳) اختلاف معنی‌دار با $\text{sig} = 0/000$ بین مقادیر کلسیم محلول در عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت مشاهده شد. همچنین بررسی تغییرات غلظت کلسیم محلول طی بارش شبیه‌سازی شده بیانگر اختلاف میانگین ۰/۰۸ میلی‌گرم در لیتر بین عرصه‌های سوخته و طبیعی است (شکل ۳).

تغییرات زمانی غلظت پتاسیم محلول پس از آتش‌سوزی
 با توجه به نتایج آزمون آماری دانکن (جدول ۲) و گروه‌بندی آن (شکل ۴) بین غلظت پتاسیم محلول در عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت و میان‌مدت اختلاف معنی‌دار با $\text{sig} = 0/000$ وجود دارد اما در بلندمدت شرایط به حالت قبل از آتش‌سوزی برگشته است. تأثیرات کوتاه‌مدت آتش‌سوزی به صورت افزایش معنی‌دار ۴۰/۷ درصدی پتاسیم محلول خود را نشان داد (۰/۲۶ میلی‌گرم در لیتر در عرصه طبیعی و ۰/۳۶ میلی‌گرم در لیتر در عرصه سوخته)

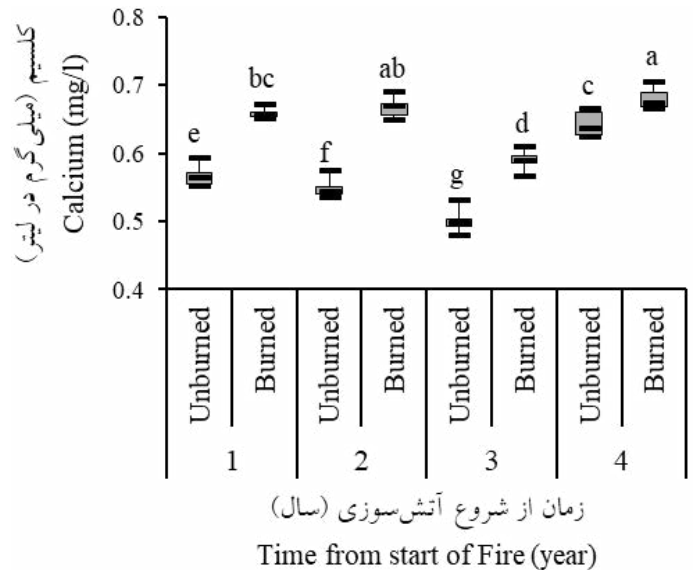
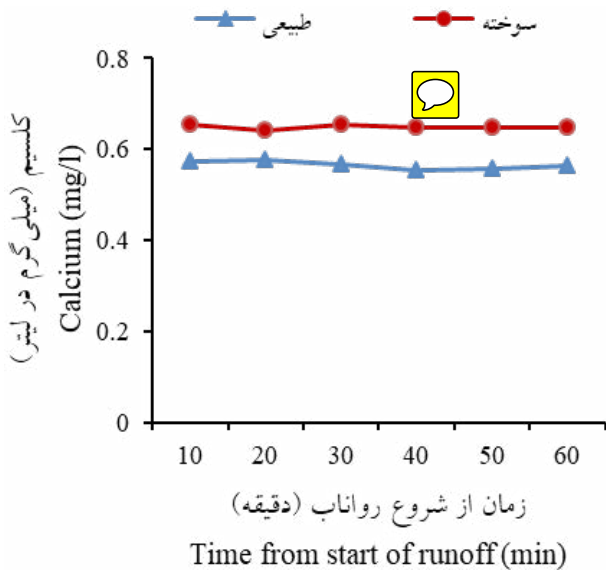
Table 2. Results of analysis of variance of the studied variables in natural and burned areas

متغیرها	منبع تغییرات	منابع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F محاسبه شده	سطح معنی داری
Variables	Source of Variations	Source	Sum of Squares	df	Mean Squares	F-Ratio	Sig.
رواناب (میلی لیتر) Runoff (ml)	بین گروهی	Between Groups	516376.14	7	73768.02	2.75	0.020
	درون گروهی	Within Groups	26812.03	40	26812.029		
	کل	Total	1588857.28	47			
کلسیم میلی گرم در لیتر Ca (mg/l)	بین گروهی	Between Groups	0.18	7	0.025	109.61	0.000
	درون گروهی	Within Groups	0.009	40	0.000		
	کل	Total	0.19	47			
پتاسیم میلی گرم در لیتر K (mg/l)	بین گروهی	Between Groups	0.28	7	0.040	85.86	0.000
	درون گروهی	Within Groups	0.02	40	0.000		
	کل	Total	0.3	47			
فسفر کل میلی گرم در لیتر TP (mg/l)	بین گروهی	Between Groups	0.27	7	0.031	72.45	0.000
	درون گروهی	Within Groups	0.02	40	0.000		
	کل	Total	0.23	47			
نیترژن کل میلی گرم در لیتر TN (mg/l)	بین گروهی	Between Groups	72.94	7	10.420	528.63	0.000
	درون گروهی	Within Groups	0.79	40	0.020		
	کل	Total	73.73	47			
آمونیم میلی گرم در لیتر NH ₄ (mg/l)	بین گروهی	Between Groups	0.2	7	0.029	138.28	0.000
	درون گروهی	Within Groups	0.01	40	0.000		
	کل	Total	0.21	47			
نیترات میلی گرم در لیتر NO ₃ (mg/l)	بین گروهی	Between Groups	0.06	7	0.009	193.69	0.000
	درون گروهی	Within Groups	0.002	40	0.000		
	کل	Total	0.06	47			

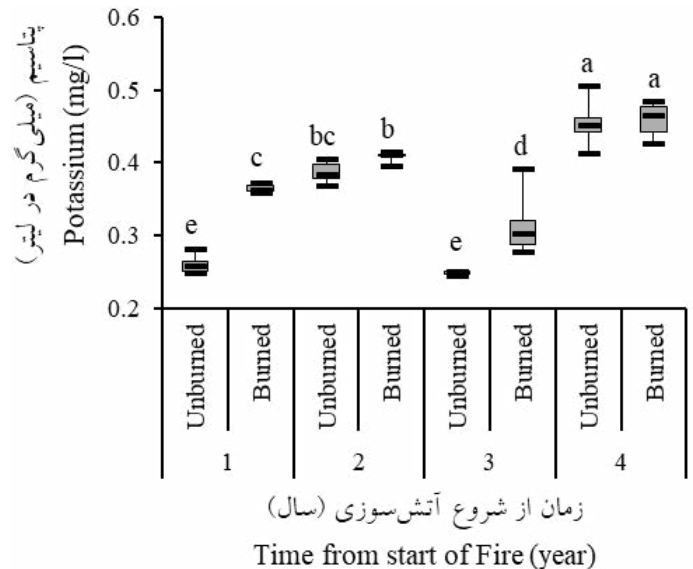
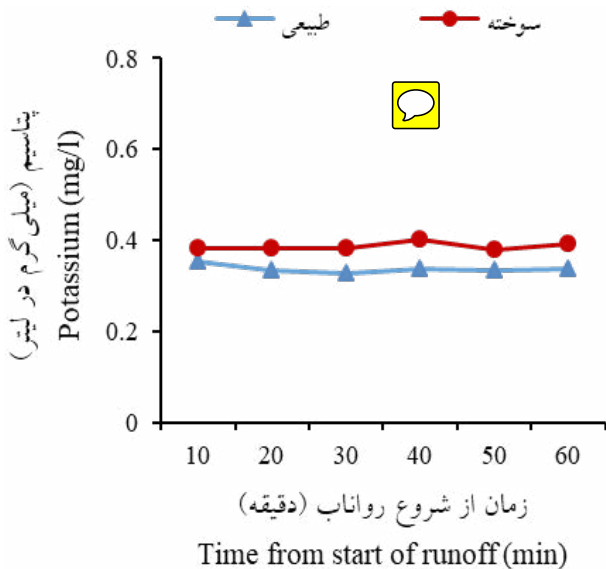


شکل ۲- میانگین تغییرات حجم رواناب (راست) و نمودار جمعی تغییرات رواناب و نتایج گروه بندی آزمون دانکن (چپ)

Fig 2. Mean runoff volume variations (right) and box plot of runoff variations and Duncan test grouping results (left)



شکل ۳- میانگین تغییرات غلظت کلسیم محلول (راست) و نمودار جعبه‌ای تغییرات آن و نتایج گروه‌بندی آزمون دانکن (چپ)
 Fig 3. Mean dissolved calcium concentration variations (right) and box plot of it's variations and Duncan test grouping results (left)

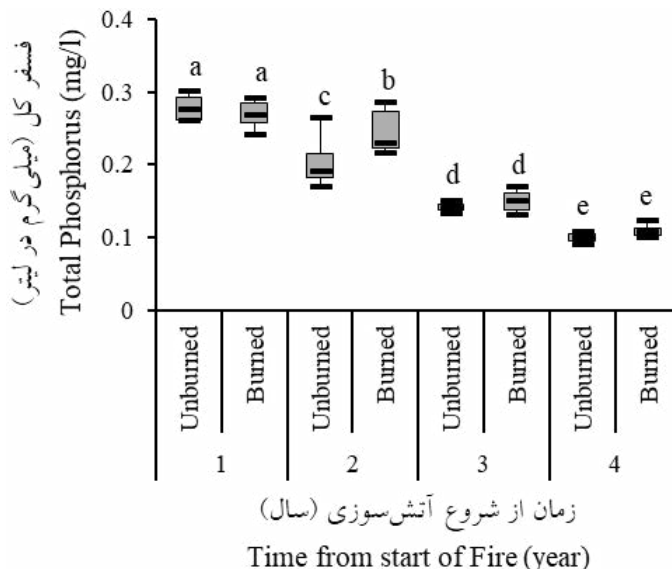
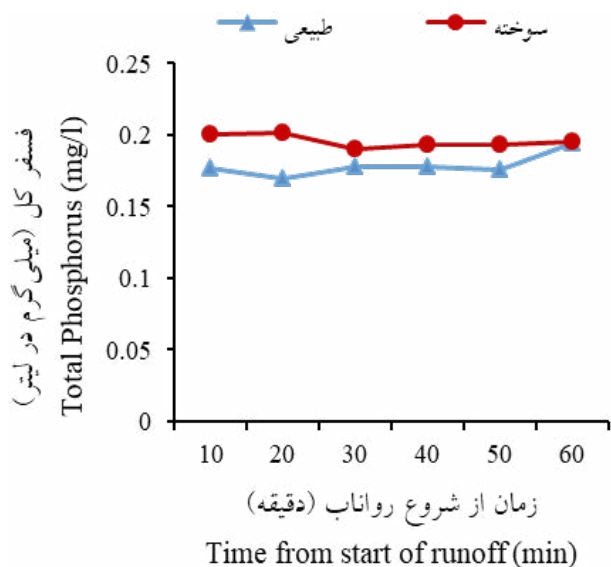


شکل ۴- میانگین تغییرات غلظت پتاسیم محلول (راست) و نمودار جعبه‌ای تغییرات آن و نتایج گروه‌بندی آزمون دانکن (چپ)
 Fig 4. Mean dissolved potassium concentration variations (right) and box plot of it's variations and Duncan test grouping results (left)

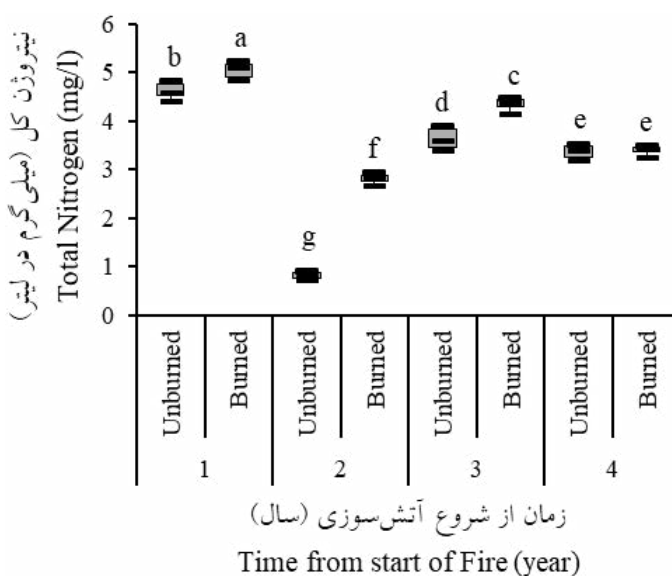
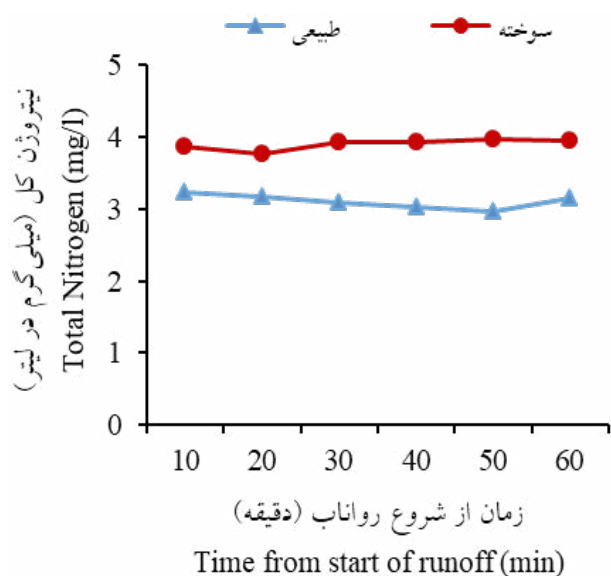
تقریباً به حالت اولیه بازگشت (شکل ۶). نتایج آزمون آماری دانکن (جدول ۲) و گروه‌بندی آن (شکل ۶) حاکی از اختلاف معنی‌دار با $\text{sig} = 0/000$ بین مقادیر نیتروژن کل محلول در عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت و میان‌مدت بود اما در بلندمدت تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. بررسی تغییرات غلظت نیتروژن کل محلول طی بارش شبیه‌سازی شده بیانگر اختلاف میانگین $0/8$ میلی‌گرم در لیتر بین عرصه‌های سوخته و طبیعی است (شکل ۶).

طبیعی تنها در میان‌مدت اختلاف معنی‌دار با $\text{sig} = 0/000$ وجود دارد.

تغییرات زمانی غلظت نیتروژن کل محلول پس از آتش‌سوزی غلظت نیتروژن کل محلول در سال‌های اول، دوم و سوم به ترتیب افزایش‌های معنی‌دار $0/3$ ، $0/249$ و $0/5$ درصدی و در بلندمدت افزایش غیرمعنی‌دار $0/14$ درصدی را نشان داد (در عرصه طبیعی $0/37$ و در عرصه سوخته $0/34$)، یعنی پس از افزایش کمی در سال اول، در میان‌مدت افزایش بیش‌تری پیدا کرد و در سال چهارم



شکل ۵- میانگین تغییرات غلظت فسفر کل محلول (راست) و نمودار جعبه‌ای تغییرات آن و نتایج گروه‌بندی آزمون دانکن (چپ)
 Fig 5. Mean total dissolved phosphorus concentration variations (right) and box plot of it's variations and Duncan test grouping results (left)



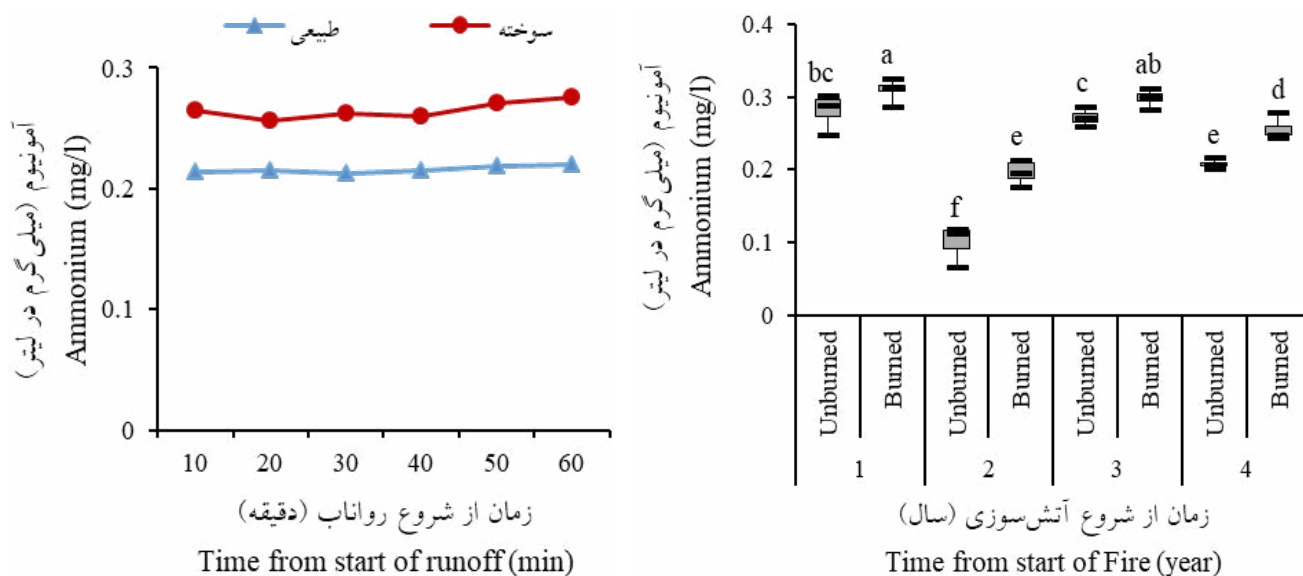
شکل ۶- میانگین تغییرات غلظت نیتروژن کل محلول (راست) و نمودار جعبه‌ای تغییرات آن و نتایج گروه‌بندی آزمون دانکن (چپ)
 Fig 5. Mean total dissolved nitrogen concentration variations (right) and box plot of it's variations and Duncan test grouping results (left)

غلظت آمونیوم محلول طی بارش شبیه‌سازی شده بیانگر اختلاف میانگین ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر بین عرصه‌های سوخته و طبیعی است (شکل ۷). با توجه به نتایج آزمون آماری دانکن (جدول ۲) و گروه‌بندی آن (شکل ۷) بین مقادیر آمونیوم محلول در عرصه‌های سوخته و طبیعی در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت اختلاف معنی‌دار با $\text{sig} = 0/000$ وجود دارد.

تغییرات زمانی غلظت آمونیوم محلول پس از آتش‌سوزی در سال اول شاهد افزایش معنی‌دار ۱۰/۴ درصدی آمونیوم محلول (۰/۲۸ میلی‌گرم در لیتر در عرصه طبیعی و ۰/۳۱ میلی‌گرم در لیتر در عرصه سوخته) و در سال‌های دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب افزایش‌های معنی‌دار ۱۰/۱، ۹/۹ و ۲۲/۸ درصدی بودیم لذا در بلندمدت نیز منطقه به حالت اولیه برنگشته است. تغییرات

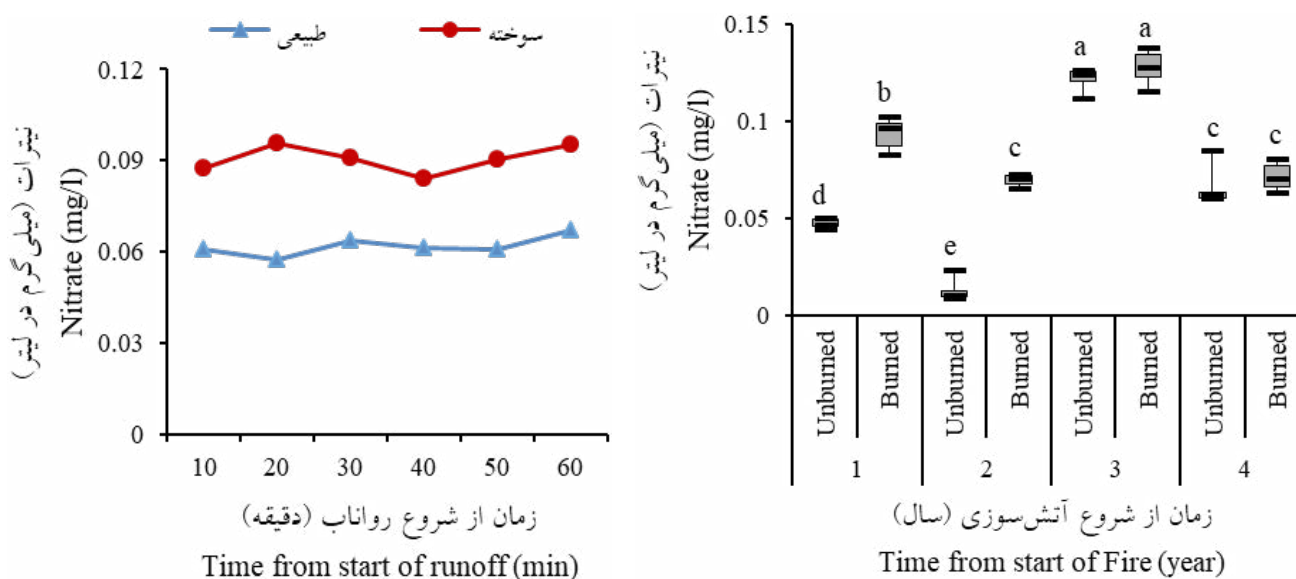
تفاوت غلظت نیترات محلول در عرصه‌های سوخته نسبت به طبیعی به حداکثر مقدار خود رسیده و سپس کاهش یافته و در بلندمدت به وضعیت طبیعی رسیده است. با توجه به شکل ۸ مشخص شد که تغییرات غلظت نیترات محلول طی بارش شبیه‌سازی شده بیانگر اختلاف میانگین ۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر بین عرصه‌های سوخته و طبیعی است.

تغییرات زمانی غلظت نیترات محلول پس از آتش‌سوزی
در سال اول شاهد افزایش معنی‌دار ۹۹ درصدی نیترات محلول با $\text{sig} = 0/000$ (۰/۰۴۷ میلی‌گرم در لیتر در عرصه طبیعی و ۰/۰۹۴ میلی‌گرم در لیتر در عرصه سوخته) اما در سال‌های دوم، سوم و چهارم پس از آتش‌سوزی به‌ترتیب افزایش معنی‌دار ۵۲۱/۶ و افزایش‌های غیرمعنی‌دار ۴/۹ و ۹/۸ درصدی بودیم. لذا در میان‌مدت



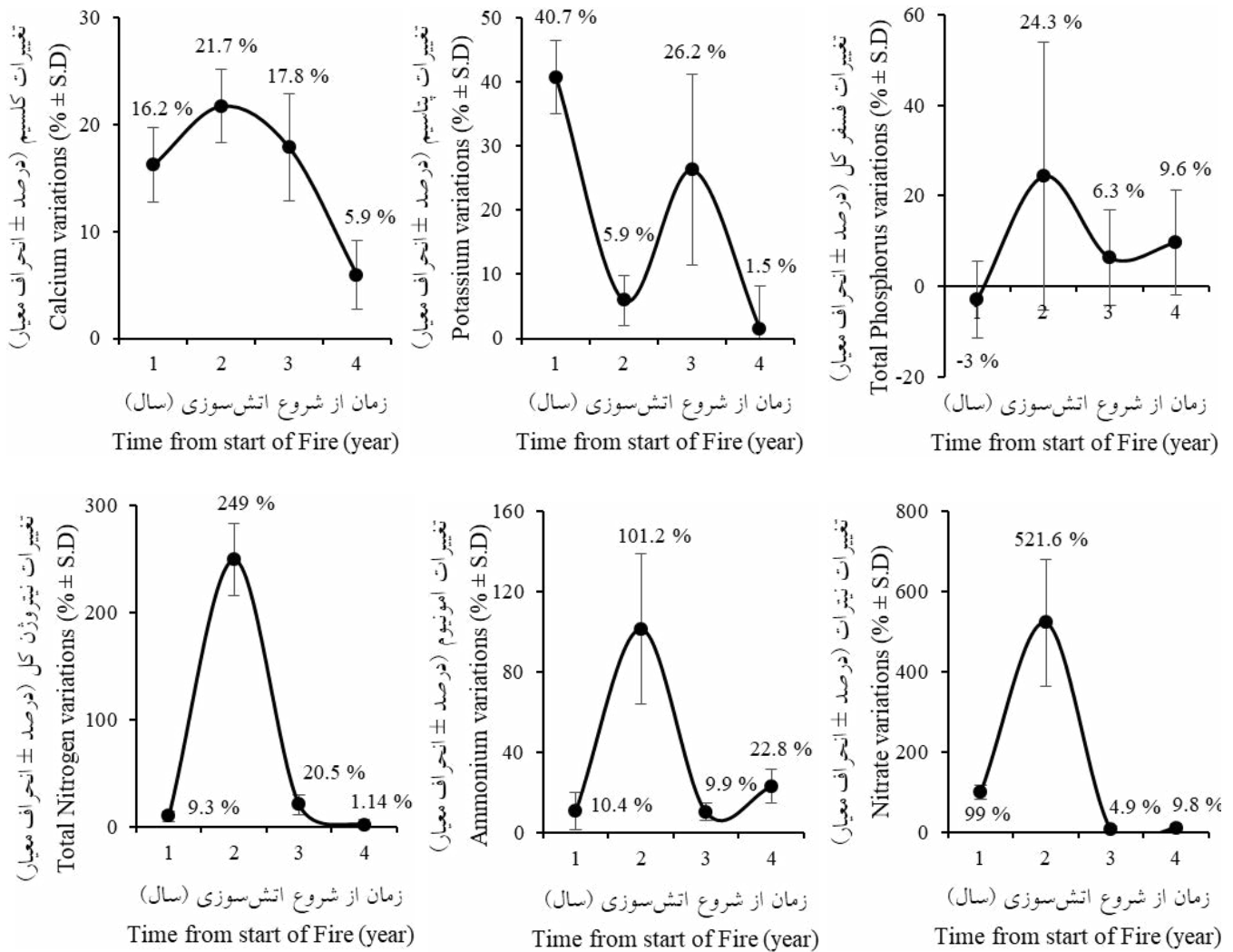
شکل ۷- میانگین تغییرات غلظت آمونیوم محلول (راست) و نمودار جعبه‌ای تغییرات غلظت آن و نتایج گروه‌بندی آزمون دانکن (چپ)

Fig 7. Mean dissolved ammonium concentration variations (right) and box plot of it's variations and Duncan test grouping results (left)



شکل ۸- میانگین تغییرات غلظت نیترات محلول (راست) و نمودار جعبه‌ای تغییرات غلظت آن و نتایج گروه‌بندی آزمون دانکن (چپ)

Fig 8. Mean dissolved nitrat concentration variations (right) and box plot of it's variations and Duncan test grouping results (left)



شکل ۹- تغییرات آبی، کوتاه‌مدت و بلندمدت رواناب و عناصر غذایی محلول مناطق سوخته نسبت به طبیعی (درصد ± SD)

Fig 9. Immediate, short-term and long-term changes of runoff and dissolved nutrients in burned areas compared to natural (percent±SD)

بحث و نتیجه‌گیری

انگلستان و جنگل‌های صنوبر کانادا عنوان کردند. لذا شستشوی خاکستر توسط رواناب باعث انحلال کلسیم و افزایش غلظت آن می‌شود. افزوده شدن خاکستر به خاک و اکسید شدن ماده آلی نیز سبب آزادسازی مقادیر فراوانی کاتیون از جمله کلسیم می‌شود [۷]. کلی و همکاران [۱۲] نیز ده سال پس از آتش‌سوزی در حوزه آبخیز رودخانه تیز در انگلستان، افزایش کلسیم محلول را گزارش کردند. افزایش معنی‌دار پتاسیم محلول در سال‌های اول تا سوم و افزایش غیرمعنی‌دار آن در سال چهارم از دیگر نتایج این پژوهش بود. دلیل این آزاد شدن سریع پتاسیم از لاشبرگ‌های سطح خاک است [۲۹]. نونیز-دلگادو و همکاران [۲۸] در سوبرادو اسپانیا نیز به این نتیجه رسیدند که قبل از گسترش خاکستر، غلظت پتاسیم محلول حدود ۱ میلی‌گرم در لیتر و پس از ۲۰۰ روز غلظت آن به حدود ۳ میلی‌گرم در لیتر رسید. لوکاس-بورجا و همکاران [۲۴] در جنگل‌کاری‌های کاج مدیترانه شاهد افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم محلول در عرصه‌های

نتایج این پژوهش بیان‌گر افزایش معنی‌دار رواناب مناطق سوخته حتی در سال چهارم بود. حذف پوشش گیاهی و آب‌گریز شدن خاک باعث افزایش میزان رواناب عرصه‌های سوخته در سال اول می‌شوند [۱۳] اما در سال‌های بعد با احیای پوشش گیاهی و شستشوی خاکستر، تفاوت مقدار رواناب بین عرصه‌های سوخته و طبیعی کاهش یافت. ابراهیمی محمدی و همکاران [۱۳] نیز در حوزه آبخیز دریاچه زریبار رواناب پلات‌های سوخته در سال اول را ۳/۲ برابر پلات‌های طبیعی گزارش کردند. در منطقه مدیترانه هیوسو-گنزالس و همکاران [۲۰] افزایش شدید رواناب در دو سال اول و کاهش آن در سال‌های بعد و میر و همکاران [۲۶] افزایش رواناب را تا سال سوم تایید کردند. در این پژوهش روند کاهشی غلظت کلسیم محلول و عدم بازگشت شرایط به حالت طبیعی در بلند مدت مشاهده شد. هارپر و همکاران [۱۸] کلسیم را فراوان‌ترین عنصر در خاکستر علفزارهای

سوخته و کاهش آن تا آخر سال بودند.

افزایش معنی‌دار غلظت فسفر کل محلول در عرصه‌های سوخته در سال دوم و بازگشت به شرایط طبیعی در سال سوم از دیگر نتایج این پژوهش بود. حسینی [۱۹] دلیل این امر را حذف لایه‌های حفاظتی خاک و پوشش گیاهی در شمال مرکزی پرتغال ذکر کرد. در پژوهش حاضر کمترین مقدار افزایش غلظت مواد مغذی در فسفر کل مشاهده شد چراکه هنگام وقایع بارشی و جاری شدن رواناب، شکل غالب هدررفت فسفر به صورت ذره‌ای است نه محلول [۱، ۳۰، ۳۳].

افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن کل محلول تا سال سوم و افزایش غیرمعنی‌دار آن در سال چهارم می‌تواند ناشی از ورود خاکستر از اتمسفر و یا ورود آن به رواناب، فرسایش خاک و تحرک دوباره رسوبات ذخیره شده کوهرفتی، کانال‌ها و دشت‌های سیلابی باشد [۳۴]. عالی و همکاران [۳] در حوزه آبخیز زربار افزایش‌های معنی‌دار نیتروژن کل خاک از سال اول تا چهارم پس از آتش‌سوزی را به ترتیب ۶۹، ۸۱، ۶۲ و ۶۷/۵ درصد اعلام کردند لذا با توجه به انحلال‌پذیری بالای نیتروژن، با وقوع بارش‌ها و جاری شدن رواناب، شاهد افزایش غلظت نیتروژن کل محلول در عرصه‌های سوخته حوزه آبخیز دریاچه زربار هستیم. بلادون و همکاران [۱۰] در جنوب آلبرتای کانادا اظهار داشتند که در سال اول پس از آتش‌سوزی نیتروژن کل محلول در عرصه‌های سوخته ۵/۳ برابر عرصه‌های طبیعی بود و این افزایش تا سه سال پس از آن نیز ادامه داشت.

در این پژوهش شاهد عدم بازگشت غلظت آمونیوم محلول به حالت اولیه حتی در بلندمدت و روند مشابه تغییرات آمونیوم محلول با نیترات و نیتروژن کل محلول بودیم. دلیل این شباهت گرم شدن خاک و به دنبال آن اکسیداسیون مواد آلی است که منجر به آزاد شدن ناگهانی مقدار قابل توجهی آمونیوم قابل تبادل در خاک می‌شود [۲۷]. همچنین فرایند آزاد شدن آمونیوم از ساختارهای رسی در اثر گرمای حاصل از آتش‌سوزی، تجزیه نیتروژن آلی موجود در خاکستر و زیاد شدن سرعت آمونیفیکاسیون، افزایش می‌یابد [۱۷]. در پژوهش حاضر اوج تفاوت غلظت آمونیوم محلول بین عرصه‌های سوخته و طبیعی در سال دوم مشاهده شد که با نتایج بلادون و همکاران [۱۰] همخوانی دارد به طوری که آنان در کوه‌های راکو جنوب غربی آلبرتا به این نتیجه رسیدند که میانگین غلظت آمونیوم محلول در رواناب مناطق طبیعی در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ به ترتیب ۵/۹، ۳ و ۳ میکروگرم در لیتر و در مناطق سوخته به ترتیب ۸/۹، ۹/۴ و ۴/۲ میکروگرم در لیتر بود. یافته‌های لیو و همکاران [۲۳] در یک جنگل صنوبر در شمال چین نیز حاکی از افزایش مقدار آمونیوم حتی پس از گذشت چهار سال از وقوع آتش‌سوزی بود که منجر به افزایش غلظت آمونیوم محلول در رواناب در وقایع بارشی شد. نتایج نشان داد که غلظت نیترات محلول در عرصه‌های سوخته در سال سوم به حالت طبیعی بازگشت. آتش‌سوزی با تولید زغال چوب

و افزایش میزان نیتریفیکاسیون باعث افزایش فراوانی باکتری‌های اکسید کننده آمونیاک و افزایش یون نیترات خاک می‌شود [۹]. رامچوندر و همکاران [۳۱] تشکیل پوسته سست بر روی خاک و شسته شدن آن توسط رواناب‌های سطحی را عامل افزایش معنی‌دار غلظت نیترات محلول در رودخانه‌های پیت‌لندهای انگلستان عنوان کردند. در پژوهش حاضر اوج تفاوت غلظت نیترات محلول در عرصه‌های سوخته نسبت به طبیعی در سال دوم مشاهده شد که با نتایج بلادون و همکاران [۱۰] همخوانی دارد به طوری که آنان میانگین غلظت نیترات محلول در مناطق طبیعی در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ را به ترتیب ۷۶/۴، ۱۲۸/۳ و ۱۱۶/۲ و در مناطق سوخته به ترتیب ۴۹۹/۷، ۵۳۶/۲ و ۲۳۹/۷ میکروگرم در لیتر گزارش کردند. شباهت روند تغییرات نیترات و آمونیوم با تغییرات نیتروژن کل پس از وقوع آتش‌سوزی مورد تایید نگوین [۲۷] نیز می‌باشد.

بطور کلی این پژوهش نشان داد که بر اثر آتش‌سوزی در حوزه آبخیز دریاچه زربار کمیت و کیفیت رواناب تا سال‌ها دچار اختلال شده که قطعاً اثرات این اختلال بلندمدت بر پهنه آبی دریاچه زربار بسیار ناگوار خواهد بود. لذا پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی، اثرات آتش‌سوزی بر کمیت و کیفیت رواناب به کمک شبیه‌ساز باران و پلات‌های بزرگ‌تر و یا با بارش‌های طبیعی ارزیابی شود و همچنین با اندازه‌گیری رواناب و بار مواد مغذی ورودی به دریاچه زربار در خروجی زیرحوزه‌ها، اثرات بزرگ مقیاس آتش‌سوزی در دوره زمانی طولانی تری پایش گردد.

منابع

1. Abell, J.M, 2013. Variability in nutrient loading to lake ecosystems and associated impacts on water quality. Ph.D. Dissertation. University of Waikato. 216 pages.
2. Alcañiz, M. Outeiro, L. Francos, M. and Úbeda, X. 2018. Effects of prescribed fires on soil properties: A review. Science of the Total Environment 613–614: 944–957
3. Alli, I. Ebrahimi Mohammadi, Sh. And Davari, M. 2020. Temporal variations of runoff, erosion and soil nutrients affected by fires in oak forests of Lake Zaribar. Watershed Management Research. 33(2-127): 52-65. (In Persian).
4. APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st edition, American Public Health association, Washington, D.C. pp. 4-118 – 4-1121.
5. APHA. 1999. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed., American Public

- Bansal, Sh. Anderson, V.J. Eggett, D.L. and Roundy, B.A. 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.
16. Griffiths, R.P. Madritch, M.D. and Swanson, A.K. 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): 1-7.
17. Grogan, P. Bruns, T.D. and Chapin III, F.S. 2000. Fire effects on ecosystem nitrogen cycling in a Californian bishop pine forest. *Oecologia*. 122: 537-544.
18. Harper, A.R. Santin, C. Doerr, S.H. Froyd, C.A. Albini, D. Otero, X.L. Viñas, L. and Pérez-Fernández, B. 2019. Chemical composition of wildfire ash produced in contrasting ecosystems and its toxicity to *Daphnia magna*. *International Journal of Wildland Fire*. 28(10): 726-737.
19. Hosseini, M. 2018. Effect of fire occurrence and frequency on topsoil properties and soil (fertility) losses by runoff. Ph.D. Dissertation. Wageningen University. 135 pages.
20. Hueso-González, P. Martínez-Murillo, J.F. and Ruiz-Sinoga, J.D. 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.
21. Kong, J.J. Yang, J. and 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.
22. Kong, J.J. Yang, J. Chu, H. and 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.
23. Liu, W. Qi, L. Fang, Y. and Yang, J. 2016. Wildfire effects on ecosystem nitrogen cycling in a Chinese boreal larch forest, revealed by ¹⁵N natural abundance. *Biogeosciences Discuss*. doi:10.5194/bg-Health association, Washington, D.C. Folio views 4.2 software for windows.
6. Ardakani, A. Valadan-zooj, M.J. And 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. (In Persian).
7. Arocena, J.M. and Opio, C. 2003. Prescribed fire induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma* 113, 1-16.
8. Baartman, J.E.M. Masselink, R. Keesstra, S.D. and Temme, A.J.A.M. 2013. Linking landscape morphological complexity and sediment connectivity. *Earth Surface Processes and Landforms*. 38(12): 1457-1471.
9. Ball, P.N. Mackenzie, M.D. DeLuca, T.H. and Holben, W.E. 2010. Wildfire and charcoal enhance nitrification and ammonium-oxidizing bacterial abundance in dry montane forest soils. *Journal of Environmental Quality*. 39(4): 1243-53.
10. Bladon, K.D. Silins, U. Wagner, M.J. Stone, M. Emelko, M.B. Mendoza, C.A. Devito, K.J. and Boon, S. 2008. Wildfire impacts on nitrogen concentration and production from headwater streams in southern Alberta's Rocky Mountains. *Canadian Journal of Forest Research*. 38(9): 2359-2371.
11. Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 143(1): 1-10.
12. Clay, G.D. Worrall, F. and Fraser, E.D. 2010. Compositional changes in soil water and runoff water following managed burning on a UK upland blanket bog. *Journal of Hydrology*. 380(1): 135-145.
13. Ebrahimi Mohammadi, sh. Azari, M. and Manoochehri, 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).
14. EPA. 2001. Method 1688: Total Kjeldahl Nitrogen in Water and Biosolids by Automated Colorimetry with Preliminary Semi-automatic Digestion. Office of Science and Technology Engineering and Analysis Division (4303) 1200 Pennsylvania Ave., NW. Washington, D.C. 28 p.
15. Fernelius, K.J. Madsen, M.D. Hopkins, B.G.

31. Ramchunder, S.J. Brown, L.E. and Holden, J. 2013. Rotational vegetation burning effects on peatland stream ecosystems. *Journal of Applied Ecology*. 50 (3): 636–648.
32. Ranalli, A.J. 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.
33. Rodríguez-Blanco, M.L. Taboada-Castro, M.M. and Taboada-Castro, M.T. 2013. Linking the field to the stream: Soil erosion and sediment yield in a rural catchment NW Spain. *Catena*. 102: 74–81.
34. Smith, H.G. Sheridan, G.J. Lane, P.N.J. Nyman, P. and Haydon, S. 2011. Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. *Journal of Hydrology*. 396 (1-2): 170–192.
35. Stoof, C.R. Ferreira, A.J.D. Mol, W. Van den Berg, J. De Kort, A. Drooger, S. Slingerland, E.C. Mansholt, A.U. Ferreira C.S.S. and Ritsema, C.J. 2015. Soil surface changes increase runoff and erosion risk after a low–moderate severity fire. *Geoderma*. 239–240: 58–67.
36. Walling, D.E. Collins, A.L. Sickingabula, H.A. and Leeks, G.J.L. 2001. Integrated assessment of Catchment Suspended Sediment Budget: A Zambian Example. *Land Degradation and Development*. 12(5): 387-415.
- 2016-91, 2016.
24. Lucas-Borja, M.E. Plaza-Álvarez, P.A. Gonzales-Romero, J. Sagra, J. Alfaro-Sánchez, R. Zema, D.A. Moya, D. and 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.
25. Mataix-Solera, J. Cerdà, A. Arcenegui, V. Jordán, A. and Zavala, L.M. 2011. Fire effects on soil aggregation: a review. *Earth Science Reviews*. 109: 44–60.
26. Mayor, A.G. Bautista, S. Llovet, J. and Bellot, J. 2007. Post-fire hydrological and erosional responses of a Mediterranean landscape: seven years of catchment-scale dynamics. *Catena*. 71: 68–75.
27. Nguyen, C.T. 2011. Effects of a prescribed fire on soil nutrient pools in the pine rockland forest ecosystem. Ph.D. Dissertation. University of Florida. 288 pages.
28. Núñez-Delgado, A. Quiroga-Lago, F. and Soto-González, B. 2011. Runoff characteristics in forest plots before and after wood ash fertilization. *Maderas. Maderas. Ciencia y tecnología*. 13(3): 267-284.
29. Pivello, V.R.I. Oliveras, H.S. Miranda, M. Haridasan, M. N. Sato and S.T. Meirelles. 2010. Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. *Plant and Soil*. 337: 111–123.
30. Qian, Y. Miao, S.L. Gu, B. and Li, Y.C. 2009. Effects of burn temperature on ash nutrient forms and availability from cattail (*Typha domingensis*) and sawgrass (*Cladium jamaicense*) in the Florida Everglades. *Journal of Environmental Quality*. 38(2): 451–464.

Temporal Variations of Fire Effects on Dissolved Nutrient Concentrations and Runoff amount in Zrebar Lake Watershed

I. Alli¹, Sh. Ebrahimi Mohammadi² and M. Davari³

Received: 23-11-2020 Accepted: 03-01-2021

Abstract

Fire causes destructive effects on soil, water and components of wetland ecosystems. The aim of this study was to investigate the effects of fire on runoff amount and nutrient concentration of Zrebar Lake watershed between 2014 and 2017 and the return of burned areas to their natural conditions in the short, medium and long term. The results showed that in the fourth year after the fire, the amount of runoff and concentrations of dissolved calcium and ammonium in the burned areas compared to normal increased by 47, 5.9 and 23.5 percent, respectively, indicating that the conditions has not return to normal. Concentrations of dissolved total phosphorus and nitrate in the third year after the fire showed insignificant increases of 6.3 and 4.2 percent, respectively, indicating a return to normal conditions. The concentration of dissolved potassium and total nitrogen in the fourth year after the fire in the burned areas compared to the natural areas increased by 1.5 and 1.4 percent, respectively, which indicates a return to normal in the fourth year after the fire. In general, it can be concluded that even in the long term, some of the destructive effects of the fire on water quantity and quality of the Zrebar Lake watershed will remain.

Keywords: *Fire, Rainfall simulator, Runoff, Dissolved nutrients, Zrebar Lake.*

1. MSc. of watershed management, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
2. Corresponding Author and Assistant professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan and Board member of Department of Zrebar Lake Environmental Research, Kurdistan Studies Institute, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. Email: shirkoebrahimi@uok.ac.ir
3. Assistant professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.