مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۹ شماره ۴، صفحه ۴۱۱-۴۰۲، (۱۴۰۰)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2022.356906.2031
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350883.1400.29.4.8.1

اثر آتش‌سوزی بر کیفیت رواناب در حوضه‌های آبخیز جنگلی (مطالعه موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود)

حسن سام دلیری [۱*]، مقداد جورغلامی [۲]، علی سلاجقه [۳]، احسان عبدی [۴] و یحیی کوچ [۵]

۱*- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. پست الکترونیک: hsamdaliri@ut.ac.ir
۲- استاد، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳- استاد، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۴- دانشیار، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۵- استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۶

چکیده

آتش‌سوزی جنگل می‌تواند اثرات بسیاری بر کیفیت آب به‌ویژه در حوضه‌های تأمین‌کننده آب آشامیدنی داشته باشد. به‌منظور بررسی تأثیر آتش‌سوزی تجویزی با شدت‌های کم، متوسط و زیاد بر کیفیت رواناب در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود، ۱۲ قطعه‌نمونه استقرار یافت. در اولین رخداد بارش پس از آتش‌سوزی و نیز شش و ۱۲ ماه پس‌ازآن، نمونه‌های رواناب جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. مشخصه‌های کیفی رواناب مورد بررسی شامل pH، هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد معلق (TSS)، کل مواد جامد محلول (TDS) و سختی کل (TH) بودند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، همه مشخصه‌های مذکور پس از آتش‌سوزی نسبت به شاهد، افزایش نشان دادند، اما اختلاف بین آن‌ها معنی‌دار نبود. بیشترین مقدار این مشخصه‌ها در آتش‌سوزی با شدت زیاد مشاهده شد، اما با گذشت زمان از آتش‌سوزی، آن‌ها روند کاهشی داشتند. فاصله از زمان وقوع آتش‌سوزی فقط بر TSS و TH، اثر معنی‌دار داشت. TSS و pH به‌ترتیب پس از شش ماه و یک سال در شدت‌های آتش‌سوزی کم و متوسط به‌مقدار شاهد رسیدند. TDS بلافاصله در اولین رخداد بارش در قطعه‌نمونه‌های شاهد و تیمارهای آتش‌سوزی با شدت‌های کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب ۲۲، ۴۶، ۵۳ و ۷۸ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. مقدار این مشخصه در تیمارهای مذکور پس از گذشت یک سال از آتش‌سوزی به‌ترتیب به ۲۵، ۳۶، ۴۱ و ۴۴ میلی‌گرم در لیتر رسید. به‌طورکلی، آتش‌سوزی سبب تغییر در مقدار مشخصه‌های کیفی رواناب، هدررفت عناصر و افت حاصلخیزی خاک می‌شود. به‌منظور کاهش تخریب خاک، اقدامات مدیریتی خاک جنگل پس از آتش‌سوزی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: بارش، شدت آتش‌سوزی، کل مواد محلول، کل مواد معلق، هدررفت عناصر.

مقدمه

آتش‌سوزی‌ها هرساله مناطق جنگلی وسیعی را در سراسر جهان می‌سوزانند (Moore, 2019). براساس آمار سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ حدود ۲۸۷۹۸ فقره آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع کشور رخ داد که این آتش‌سوزی‌ها، سطحی نزدیک به ۲۶۹ هزار هکتار را سوزاندند. به‌عبارت‌دیگر، سالانه به‌طور متوسط حدود ۱۵ هزار هکتار

از جنگل‌ها و مراتع کشور در اثر حریق نابود می‌شوند. افزایش دما در چند سال اخیر سبب افزایش تعداد و سطح آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع کشور شده است. به‌دنبال آتش‌سوزی، نرخ فرسایش خاک افزایش می‌یابد. همچنین، تغییر در تولید رواناب و منابع آلاینده ممکن است تاحد زیادی سبب افزایش جرم رسوبات و هدررفت مواد مغذی شود و منابع آلودگی آب را به‌طور بالقوه تغییر دهد (Smith *et al*., 2011). رسوبات معلق و مواد مغذی، نقش مهمی در کیفیت آب حوضه آبخیز دارند (Drewry *et al*., 2006). کیفیت آب با استفاده از مشخصه‌های فیزیکی (ازجمله دما، کل مواد جامد معلق (TSS) و کدری)، شیمیایی (همچون pH، هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، اکسیژن محلول، آنیون‌ها، کاتیون‌ها، نیتروژن و فسفر) و زیستی (مانند کلروفیل و جوامع بی‌مهرگان) بررسی می‌شود (Neary *et al*., 2005). مشخصه‌های کیفی آب ازجمله مواد مغذی، رسوبات، ذرات جامد محلول و اکسیژن محلول تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار می‌گیرند (Pike *et al*., 2010). بسیاری از گزارش‌ها نشان‌دهنده افزایش حرکت مواد مغذی در رواناب پس از آتش‌سوزی هستند (Bladon & Redding, 2008). عامل مهمی که در اثر آتش‌سوزی بر مشخصه‌های کیفی رواناب تأثیر می‌گذارد، رفتار آتش است. به‌طورکلی آتش‌سوزی‌هایی که مواد آلی زیادتری مصرف می‌کنند، اثر بیشتری بر کیفیت آب دارند (Bladon & Redding, 2008). در هنگام آتش‌سوزی، سوختن و گرم شدن مواد آلی سبب آزادسازی کربن، خاکستر، فلزات سنگین و مواد مغذی پایدار (که ممکن است پیش‌تر در رواناب سطحی وجود نداشته باشند) می‌شود (Johansen *et al*., 2003). تغییرات ناشی از آتش‌سوزی در پوشش گیاهی و مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌توانند اثرات بسیاری بر چرخه مواد مغذی و هدررفت آن‌ها توسط رواناب داشته باشند (Ferreira *et al*., 2016; Hosseini *et al*., 2017). هدررفت مواد مغذی ناشی از رواناب سبب کاهش کیفیت آب ازنظر شیمیایی و زیستی می‌شود (Emelko *et al*., 2016; Abraham *et al*., 2017). pH آب بلافاصله پس از آتش‌سوزی تحت تأثیر رسوبات خاکستر قرار می‌گیرد. در سال اول پس آتش‌سوزی، افزایش pH خاک می‌تواند افزایش pH رواناب را به‌دنبال داشته باشد (Landsberg & Tiedemann, 2000). EC نیز یک شاخص شیمیایی کیفیت آب و فرایندهای آب‌شناختی محسوب می‌شود (Pike *et al*., 2010). از شاخص‌های دیگر می‌توان به TDS اشاره کرد که شامل مقداری از نمک‌های معدنی (غیرآلی) محلول در آب است. مواد اصلی تشکیل‌دهنده نمک‌های محلول شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کربنات، بی‌کربنات، کلرید، سولفات، فسفات و نیترات هستند (Neary *et al*., 2005). TSS نیز یکی دیگر از شاخص‌های مهم در بررسی کیفیت آب به‌شمار می‌آید که افزایش غلظت آن به بیشتر از ۲۵ میلی‌گرم در لیتر سبب محدود شدن نفوذ نور به آب و اختلال در فرایندهای تصفیه آب می‌شود (Pike *et al*., 2010). براساس نتایج Yu و همکاران (۲۰۱۹)، غلظت TSS طی ۱۰ سال پس از آتش‌سوزی سال ۲۰۰۱ در سیدنی استرالیا به‌طور متوسط ۶۴ درصد افزایش نشان داد. در طیف وسیعی از اندازه‌های حوضه (۰/۰۲۱ تا ۱۶۵۵ کیلومتر مربع)، بیشینه TSS در رواناب برای سال اول پس از آتش‌سوزی در محدوده ۱۱ تا ۵۰۰ هزار میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است (Smith *et al*., 2011). براساس نتایج Serpa و همکاران (۲۰۲۰) بیشترین هدررفت نیتروژن و فسفات طی چهار ماه اول پس از آتش‌سوزی (در مراحل اولیه اختلال) رخ داد. Feikema و همکاران (۲۰۱۱) با ارزیابی اثرات احتمالی آتش‌سوزی بر کیفیت آب گزارش کردند که در مقایسه با شرایط پیش از آتش‌سوزی، TSS به‌طور متوسط حدود ۳۰ برابر بیشتر شده است.

آب شرب برخی از روستاها و شهرها از مناطق دچار حریق تأمین می‌شود، بنابراین بررسی کیفیت رواناب پس از آتش‌سوزی به‌منظور ارزیابی سلامت آب ضروری است. نتایج اغلب پژوهش‌های پیشین نشان دادند که بیشترین تغییرات مشخصه‌های کیفی آب در یک سال اول پس از آتش‌سوزی رخ داده است. همچنین، Lessels و Bishop

(۲۰۱۵) با پایش کیفیت آب گزارش کردند که نمونه‌گیری ماهانه، دامنه شرایط آب‌شناختی در یک حوضه آبخیز به‌ویژه در کوتاه‌مدت را نشان نمی‌دهد. هدف پژوهش پیش‌رو، بررسی روند تغییرات مشخصه‌های کیفی رواناب در شدت‌های مختلف آتش‌سوزی تجویزی (کنترل‌شده) طی مدت یک سال در جنگل خیرود بود. با بررسی مشخصه‌های کیفی رواناب، روند تغییرات کیفیت آن پس از آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه در اولین رخداد بارش پس از آتش‌سوزی و نیز شش و ۱۲ ماه پس‌ازآن ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در پارسل ۲۰۷ بخش نم‌خانه جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود دانشگاه تهران در شهرستان نوشهر انجام شد. این پارسل با مساحت ۴۹/۷ هکتار و دامنه ارتفاعی ۷۱۰ تا ۹۰۰ متر از سطح دریا، جهت عمومی جنوبی، خاک قهوه‌ای جنگلی، تیپ جنگلی راش-ممرزستان، توده دانه‌زاد ناهمسال دو تا سه‌آشکوبه، موجودی سرپا ۴۷۷ سیلو در هکتار و تراکم ۱۷۸ اصله درخت در هکتار، ازنظر زمین‌شناسی، آهکی و متعلق به دوران ژوراسیک بالایی است. میانگین سالانه بارش منطقة مورد مطالعه بر اساس اطلاعات شبیه‌سازی شده ایستگاه سینوپتیک نوشهر برای سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ حدود ۱۳۸۰ میلی‌متر بود. تیرماه، کمترین و مهر و آبان‌ماه، بیشترین مقدار بارش را داشتند (Samdaliri *et al.*, 2021).

روش پژوهش

برای اجرای پژوهش پیش‌رو در ابتدا محل استقرار قطعه‌نمونه‌ها با بازدید میدانی مشخص شد. دامنه گسترش آتش‌سوزی‌ها بسته به نوع توده، شرایط اقلیمی منطقه، دما، خزان برگ‌ها و باد متفاوت است، بنابراین در انتخاب محل استقرار قطعه‌نمونه‌ها به شباهت آن‌ها ازنظر عوامل توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا)، تیپ جنگل و یکنواختی عرصه توجه شد (Samdaliri *et al.*, 2021). در پارسل مورد مطالعه، ۱۲ قطعه‌نمونه در چهار تیمار و سه تکرار استقرار یافت (Poirier *et al.*, 2014; Jourgholami *et al.*, 2018). قطعه‌نمونه‌های هر تیمار به‌صورت تصادفی و به‌طور متوسط در فاصله سه متری از یکدیگر با میانگین شیب عرصه ۳۰ درصد مستقر شدند. نسبت درصد تاج‌پوشش به‌شکل مستقیم بر فرایندهای اکوهیدرولوژی جنگل مانند تاج‌بارش، اندازه و توزیع قطره‌های بارندگی تأثیر دارد، بنابراین در انتخاب و استقرار قطعه‌نمونه‌ها به آن‌ها توجه شد و انبوهی تاج‌پوشش در عرصه تخمین زده شد (Samdaliri *et al.*, 2021). شدت آتش‌سوزی در پارسل مورد مطالعه براساس خسارت وارده به لاش‌برگ، پوشش علفی، لایه‌های مختلف خاک و قطر شاخه‌های سوخته‌شده به سه دسته سبک (سطحی یا شدت کم)، نیمه‌عمیق (شدت متوسط) و عمیق (شدت زیاد) تقسیم‌بندی شد (Neary *et al.*, 2005).

در آتش‌سوزی‌های وسیع به توده‌های انبوه، نیمه‌انبوه و تنک (فضای باز) که در کنار هم هستند، خسارت وارد می‌شود، بنابراین اندازه‌ها قطعه‌نمونه‌ها ۲×۱ متر مربع انتخاب شد که طول بزرگ‌تر در جهت شیب قرار گرفت. در پژوهش پیش‌رو از آتش‌سوزی تجویزی (حریق خواسته: Prescribed fire) در سطح قطعه‌نمونه‌ها استفاده شد. به‌منظور جمع‌آوری رواناب و جلوگیری از ورود رواناب بخش‌های دیگر، پیرامون قطعه‌نمونه‌ها با استفاده از تخته‌های چوبی محدود و محصور شد. عرض تخته‌های مورد استفاده ۳۰ سانتی‌متر بود که ۱۰ سانتی‌متر از آن، درون خاک قرار گرفت (Samdaliri *et al.*, 2021). برای جمع‌آوری رواناب، در انتهای قطعه‌نمونه‌ها لوله‌ای تعبیه شد تا رواناب جاری‌شده در سطح قطعه‌نمونه را به مخزن جمع‌آوری هدایت کند (شکل ۱).

شکل ۱- نحوه استقرار قطعه‌نمونه‌ها و جمع‌آوری نمونه‌های آب برای اندازه‌گیری کیفیت رواناب

به‌منظور اندازه‌گیری مشخصه‌های کیفی آب، پس از به‌هم زدن و مخلوط کردن کامل آب و مواد جامد رسوب جمع‌آوری‌شده در مخزن‌های انتهای قطعه‌نمونه‌ها، یک لیتر از مخلوط آب و رسوب هر قطعه‌نمونه جمع‌آوری شد. به‌عبارت‌دیگر، از هر قطعه‌نمونه در سه مرحله (بلافاصله پس از اولین رخداد بارش، شش و ۱۲ ماه پس از آتش‌سوزی) یک نمونه رواناب یک لیتری برداشت شد. درمجموع، ۳۶ نمونه رواناب (در قطعه‌نمونه‌های سوخته با شدت‌های مختلف و بدون سوختگی به‌عنوان شاهد) جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد. مشخصه‌های مورد بررسی کیفیت آب شامل pH، EC، سختی کل (TH)، TDS و TSS بودند.

پوشش گیاهی هریک از قطعه‌نمونه‌ها در حین استقرار آن‌ها برداشت شد. در مدت اجرای این پژوهش، پوشش علفی در هر فصل سال در همه قطعه‌نمونه‌ها آماربرداری صددرصد شد (Granged *et al.*, 2011). همه گونه‌های علفی و نونهال موجود در قطعه‌نمونه‌ها در ابتدا و انتهای هر فصل شمارش شد. همچنین، سطحی از قطعه‌نمونه که توسط پوشش گیاهی پوشیده شده بود، به‌صورت درصد نسبت به سطح قطعه‌نمونه برآورد شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

برای آنالیز داده‌ها، ابتدا نرمال بودن آن‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو- ویلک تأیید شد. سپس، آزمون تجزیه واریانس با اندازه‌های مکرر یا طرح اندازه‌های تکراری (Repeated measure) در نرم‌افزار SPSS به‌کار برده شد (Carignan *et al.*, 2000).

جدول ۱- تأثیر شدت و زمان آتش‌سوزی و اثرات متقابل آن‌ها بر مشخصه‌های کیفی آب

مشخصه کیفی آب	شدت		زمان		شدت × زمان	
	آماره F	معنی‌داری	آماره F	معنی‌داری	آماره F	معنی‌داری
pH	۳/۴۵	۰/۰۷۲	۲/۶۱۹	۰/۱۰۴	۱/۰۸۶	۰/۴۱۲
هدایت الکتریکی (EC)	۲/۹۴۳	۰/۰۹۹	۳/۰۸۵	۰/۰۷۴	۳/۰۸۵	۰/۴۰۴
سختی کل (TH)	۳/۱۵	۰/۰۸۶	۷/۹۸۸	۰/۰۰۴**	۱/۹۱۲	۰/۱۴۱
کل مواد جامد محلول (TDS)	۳/۵۶۲	۰/۰۶۷	۱/۸۳۸	۰/۱۹۱	۰/۵۸۴	۰/۷۳۸
کل مواد جامد معلق (TSS)	۰/۷۱۸	۰/۵۶۹	۵/۹۷۲	۰/۰۱۲*	۱/۰۹۶	۰/۴۰۷

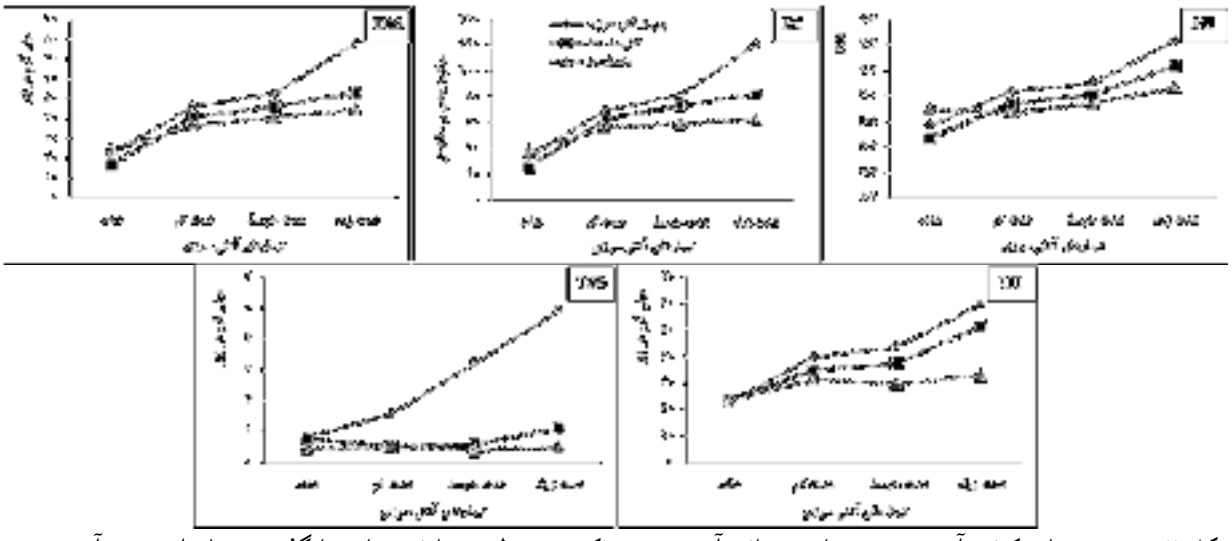
** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

نتایج

نتایج آزمون تجزیه واریانس با اندازه‌های مکرر نشان داد که شدت آتش‌سوزی بر هیچ‌کدام از مشخصه‌های کیفی آب مورد مطالعه شامل pH، EC، TH، TDS و TSS اثر معنی‌داری نداشت. گذشت زمان از وقوع آتش‌سوزی فقط بر TH و TSS اثر معنی‌داری در سطح اطمینان حداقل ۹۵ درصد نشان داد. همچنین، اثرات توأم شدت آتش‌سوزی و گذشت زمان از وقوع آن بر هیچ‌کدام از مشخصه‌های کیفی آب معنی‌دار نبودند (جدول ۱).

مشخصه‌های کیفی رواناب در شدت‌های مختلف و شاهد با گذشت زمان آتش‌سوزی در شکل ۲ آمده است. همه این مشخصه‌ها پس از آتش‌سوزی نسبت به قطعه‌نمونه‌های شاهد افزایش داشتند. به‌نحوی‌که بیشترین مقدار آن‌ها در آتش‌سوزی با شدت زیاد مشاهده شد، اما تفاوت بین آن‌ها معنی‌دار نبود. مقدار همه مشخصه‌های کیفی رواناب در تیمارهای آتش‌سوزی با شدت‌های کم، متوسط و زیاد با گذشت زمان از وقوع آن، روند کاهشی نشان دادند. از بین این مشخصه‌ها فقط مقدار TSS پس از شش ماه از آتش‌سوزی با مقدار قطعه‌نمونه‌های شاهد برابر بود. pH نیز در شدت‌های آتش‌سوزی کم و متوسط پس از یک سال به‌مقدار قطعه‌نمونه‌های شاهد نزدیک شد، اما این اختلاف در تیمار با شدت آتش‌سوزی زیاد، بیشتر بود (شکل ۲).

مقدار TDS بلافاصله در اولین رخداد بارش در قطعه‌نمونه‌های شاهد و تیمارهای آتش‌سوزی با شدت‌های کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب ۲۲، ۴۶، ۵۳ و ۷۸ میلی‌گرم در لیتر (پی‌پی‌ام) به‌دست آمد. پس از یک سال، مقدار این مشخصه به‌ترتیب به ۲۵، ۳۶، ۴۱ و ۴۴ میلی‌گرم در لیتر رسید. مقدار TSS بلافاصله در اولین رخداد بارش در قطعه‌نمونه‌های شاهد و تیمارهای آتش‌سوزی با شدت‌های کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب ۰/۸۲، ۱/۵۶، ۳/۲۲ و ۴/۹۲ میلی‌گرم در لیتر (پی‌پی‌ام) به‌دست آمد. پس از یک سال، مقدار این مشخصه به‌ترتیب به ۰/۴۳، ۰/۴۹، ۰/۴۰ و ۰/۴۷ میلی‌گرم در لیتر رسید. میانگین EC نیز بلافاصله در اولین رخداد بارش در تیمارهای مذکور به‌ترتیب ۳۴، ۷۰، ۸۱ و ۱۲۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود. این مشخصه پس از یک سال به‌ترتیب به ۳۸، ۵۶، ۶۰ و ۶۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر رسید. میانگین TH نیز بلافاصله در اولین رخداد بارش در تیمارهای آتش‌سوزی با شدت‌های کم، متوسط و زیاد ,و شاهد به‌ترتیب ۳۹/۷۰، ۴۳/۷۷، ۵۹/۷۳ و ۲۲/۲۳ میلی‌گرم در لیتر بود. این مشخصه پس از یک سال به‌ترتیب به ۳۱/۴۷، ۲۹/۷۷، ۳۲/۷۳ و ۲۲/۹۷ میلی‌گرم بر لیتر رسید. (شکل ۲).



شکل ۲- مشخصه‌های کیفی آب در شدت‌های مختلف آتش‌سوزی (کم، متوسط و زیاد) و شاهد با گذشت زمان از وقوع آتش‌سوزی

نتایج شمارش صددرصد پوشش علفی در قطعه‌نمونه‌های مورد مطالعه و محاسبه میانگین هر تیمار نشان داد که با گذشت زمان از وقوع آتش‌سوزی، پوشش علفی در عرصه‌های سوخته افزایش یافته بود، اما حتی پس یک سال از آن، پوشش علفی کف جنگل در هیچ‌کدام از تیمارهای آتش‌سوزی با شدت‌های مختلف به میانگین درصد پوشش علفی در قطعه‌نمونه‌های شاهد نرسید (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین درصد پوشش علفی کف جنگل در قطعه‌نمونه‌های مورد مطالعه

تیمار	پس از آتش‌سوزی تجویزی	شش ماه پس از آتش‌سوزی	یک سال پس از آتش‌سوزی
شاهد (سوخته‌نشده)	۷۰	۶۰	۷۵
سوخته (شدت کم)	۰	۲۵	۵۵
سوخته (شدت متوسط)	۰	۲۰	۴۰
سوخته (شدت زیاد)	۰	۱۵	۳۵

بحث

ازآنجایی‌که بخش عمده‌ای از آب شرب شهرها و روستاها از جنگل‌ها و مراتع تأمین می‌شود، بنابراین بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر کیفیت آب، اهمیت زیادی دارد. مشخصه‌های کیفی رواناب به‌صورت متفاوتی تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار می‌گیرند. به‌طوری‌که برخی از این مشخصه‌ها حدود شش ماه و برخی دیگر به سال‌های طولانی نیاز دارند تا به مقدار پیش از آتش‌سوزی برسند (Carignan *et al*., 2000).

یکی از مشخصه‌های آب که در مقدار غیرمجاز سبب ناراحتی‌های پوستی و آسیب مخاط بینی و چشم می‌شود، pH است. دامنه مجاز آن طبق استاندارد کیفیت آب آشامیدنی برابر با ۶/۵ تا ۸/۵ است (Neary *et al*., 2005). مقدار pH در پژوهش پیش‌رو در دامنه ۶/۷ تا ۷/۴ به‌دست آمد. این مشخصه بین تیمارهای شدت آتش‌سوزی و با گذشت زمان از وقوع آن، تفاوت معنی‌داری نشان نداد. Carignan و همکاران (۲۰۰۰) نیز با بررسی کیفیت آب تحت تأثیر آتش‌سوزی و برش یک‌سره در کانادا، pH آب را بین ۵/۷ تا ۷/۲ گزارش کردند. افزایش pH رواناب پس از آتش‌سوزی نسبت به شاهد می‌تواند ناشی از خاکستر موجود و تأثیر pH زیاد خاک بر رواناب باشد (Carignan *et al*., 2000). همان‌طور که ذکر شد، این افزایش در پژوهش پیش‌رو معنی‌دار نبود.

هدایت الکتریکی، معیاری به‌منظور سنجش توانایی یک محلول برای انتقال الکتریکی است. EC آب با ترکیب یون‌ها، غلظت آن‌ها و دما تغییر می‌کند (Moore *et al*., 2008). بیشینه مجاز آن در آب شرب ۴۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است. بیشترین مقدار EC (۱۴۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در یکی از قطعه‌نمونه‌های پژوهش پیش‌رو با شدت آتش‌سوزی زیاد و در اولین رخداد بارندگی پس از آتش‌سوزی ثبت شد که مقدار آن پس از یک سال به نصف رسید.

میانگین TDS بلافاصله پس از آتش‌سوزی با شدت کم (۴۶ میلی‌گرم در لیتر) به‌مقدار ۲/۱ برابر و در شدت زیاد (۷۸ میلی‌گرم در لیتر) به‌مقدار ۳/۵ برابر نسبت به قطعه‌نمونه‌های شاهد (۲۲ میلی‌گرم در لیتر) افزایش نشان داد. این مقدار به‌طور قابل‌توجهی کمتر از استاندارد ثانویه TDS برای آب آشامیدنی (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) است. TDS به‌دست‌آمده پس از آتش‌سوزی در پژوهش پیش‌رو به نتایج Lathrop (۱۹۹۴) نزدیک است. این پژوهشگر، غلظت TDS برای دو منطقه پس از آتش‌سوزی سال ۱۹۸۸ در ایالت وایومینگ آمریکا را ۶۵/۸ و ۷۰ میلی‌گرم در لیتر

گزارش کرد، اما Neary و همکاران (۲۰۰۵) غلظت مشخصه مذکور در عرصه‌های شاهد و سوخته را به‌ترتیب حدود ۱۱ و ۱۳ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آوردند. لازم به‌ذکر است که کاهش TDS تا رسیدن آن به مقدار پیش از آتش‌سوزی به مدت طولانی‌تر از یک سال نیاز دارد (Neary *et al*., 2005).

افزایش مقدار TSS پس از آتش‌سوزی در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است (Smith *et al*., 2011; Yu *et al*., 2019) که در پژوهش پیش‌رو نیز برای همه شدت‌های آتش‌سوزی به‌دست آمد. این افزایش ناشی از وجود خاکستر در سطح عرصه سوخته‌شده و جدا شدن ذرات خاک به‌علت تغییر ویژگی‌های خاک است (Smith *et al*., 2011). در پژوهش پیش‌رو، مقدار TSS در تیمارهای آتش‌سوزی با شدت‌های کم، متوسط و زیاد بلافاصله پس از آتش‌سوزی به‌ترتیب ۱/۹، ۳/۹ و شش برابر میانگین قطعه‌نمونه‌های شاهد به‌دست آمد. Yu و همکاران (۲۰۱۹) مقدار TSS را در سه حوضه که ۱۰۰، ۷۹ و ۵۷ درصد سوخته بودند، به‌ترتیب ۱/۸۴، ۱/۳۲ و ۳/۳۲ برابر بیشتر از پیش از آتش‌سوزی گزارش کردند. گفتنی است که نتایج پژوهش پیش‌رو مربوط به سطح قطعه‌نمونه دو مترمربعی با شیب ۳۰ درصد بود، اما پژوهش Yu و همکاران (۲۰۱۹) در سطح حوضه آبخیز با شیب کمتر از ۱۰ درصد و به‌منظور بررسی اثرات مداوم طولانی‌مدت (۱۰ ساله) پس از آتش‌سوزی انجام گرفت. به‌طورکلی، اثر آتش‌سوزی بر TSS در میان‌مدت به‌طور قابل‌توجهی کمتر از کوتاه‌مدت است (Yu *et al*., 2019). در راستای نتایج پژوهش پیش‌رو، Gallaher و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی کیفیت رواناب پس از آتش‌سوزی Cerro Grande در ایالت نیومکزیکو آمریکا گزارش کردند که مقدار TSS در برخی از حوضه‌های مورد مطالعه ۱/۷۶ برابر زیادتر شده بود، درحالی‌که افزایش ۳۳ و ۳۲ برابری مقدار TSS به‌ترتیب سه ماه و یک سال پس از آتش‌سوزی در پژوهش‌های Malmon و همکاران (۲۰۰۷) و Sheridan و همکاران (۲۰۰۷) به‌دست آمد. این افزایش قابل‌ملاحظه می‌تواند به‌دلیل حذف کامل کل پوشش گیاهی در مناطق سوخته‌شده باشد، درحالی‌که با وجود از بین رفتن پوشش کف جنگل در پژوهش پیش‌رو، پوشش فوقانی باقی ماند.

از دلایل اصلی کاهش سریع مقدار TSS در مدت کمتر از شش ماه و رسیدن آن به‌مقدار پیش از آتش‌سوزی می‌توان به وقوع بارش شدید (۲۴۰ میلی‌متر) در رخداد دوم اشاره کرد که شسته شدن مواد جامد را در پی داشت. مدت بازیابی یک حوضه آبخیز براساس شدت‌های مختلف سوختگی و شرایط دیگر می‌تواند متفاوت باشد. این زمان برای TSS در برخی از پژوهش‌های پیشین حدود یک سال پس از آتش‌سوزی عنوان شده است، اما Yu و همکاران (۲۰۱۹) با ارزیابی اثرات مداوم بلندمدت (۱۰ ساله) آتش‌سوزی، افزایش ۶۴ درصدی TSS را نسبت به شاهد گزارش کردند. گفتنی است که مقدار این مشخصه در پژوهش پیش‌رو به‌طور قابل‌توجهی کمتر از استاندارد ثانویه TSS برای آب آشامیدنی (کمتر از ۲۵ میلی‌گرم در لیتر) به‌دست آمد.

سختی آب مربوط به کاتیون‌هایی مانند منیزیم، کلسیم، استرانسیم، آهن، آلومینیوم، منگنز، مس و آنیون‌هایی مانند بی‌کربنات، کربنات، کلر، سولفات، سیلیکات و نیترات در آب است. TH برحسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم محاسبه می‌شود. مقدار این مشخصه بلافاصله پس از آتش‌سوزی با شدت‌های کم (۳۹/۷ میلی‌گرم در لیتر) و زیاد (۵۹/۷ میلی‌گرم در لیتر) نسبت به شاهد (۲۲/۲ میلی‌گرم در لیتر) به‌ترتیب ۱/۸ و ۲/۷ برابر افزایش نشان داد. بیشینه غلظت مجاز TH برای شرب ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است (Pike *et al*., 2010). میانگین این مشخصه در شدت‌های مختلف آتش‌سوزی در پژوهش پیش‌رو، بسیار کمتر بود، به‌طوری‌که بیشترین مقدار TH (۶۰ میلی‌گرم در لیتر) در شدت آتش‌سوزی زیاد و در اولین رخداد بارش بلافاصله پس از آتش‌سوزی به‌دست آمد. ازنظر اقتصادی، افزایش TH می‌تواند باعث رسوب‌گذاری در دستگاه‌های حرارتی و سیستم‌های آب‌رسانی شود، درحالی‌که ازنظر بهداشتی، آب‌های با TH زیاد برای بیماران قلبی و عروقی مناسب‌تر

هستند (Pike *et al.*, 2010).

افزایش پوشش علفی کف جنگل به‌دلیل نقش فیلترکنندگی در کیفیت رواناب مؤثر است. براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، با افزایش پوشش علفی، مشخصه‌های کیفی رواناب به مقدار شاهد نزدیک شدند. آتش‌سوزی‌های سطحی با شدت کم فقط سبب سوختن لاش‌برگ و پوشش علفی می‌شوند. در چنین شرایطی، پوشش علفی بلافاصله پس از یک دوره رویشی جنگل بازیابی خواهد شد، اما در عرصه‌های با شدت آتش‌سوزی متوسط و زیاد، تغییرات شدید خاک و پوشش علفی و افزایش رواناب و رسوب رخ می‌دهد.

به‌دلیل افزایش مشخصه‌های کیفی آب ناشی از آزادسازی کربن، خاکستر، فلزات سنگین و مواد مغذی پایدار پس از آتش‌سوزی، باید در استفاده شرب از رواناب و حتی استفاده در مراکز پرورش ماهی در پایین‌دست حوضه احتیاط شود. هرچند آتش‌سوزی با شدت‌های مختلف در پژوهش پیش‌رو سبب افزایش مشخصه‌های کیفی آب شد، اما مقادیر افزایش‌یافته از بیشینه غلظت مجاز برای استفاده شرب کمتر بودند. گفتنی است که حضور عناصر در رواناب به مقدار این عناصر در خاک پیش از آتش‌سوزی، شیب عرصه و مقدار رواناب نیز بستگی دارد (Pike *et al.*, 2010). تغییر در مقدار مشخصه‌های کیفی رواناب، هدررفت عناصر و افت حاصلخیزی خاک به‌دنبال آتش‌سوزی رخ می‌دهد. پس از این رخداد، اقدامات مدیریتی خاک جنگل در راستای کاهش تخریب خاک ضروری است.

منابع مورد استفاده

- Abraham, J., Dowling, K. and Florentine, S., 2017. Risk of post-fire metal mobilization into surface water resources: a review. Science of the Total Environment, 599-600: 1740-1755.
- Bladon, K. and Redding, T.E., 2008. Wildfire and watershed hydrology: key findings from a workshop. Streamline Watershed Management Bulletin, 13(1): 1-4
- Carignan, R., D'Arcy, P. and Lamontagne, S., 2000. Comparative impacts of fire and forest harvesting on water quality in Boreal Shield lakes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 57(2): 105-117.
- Drewry, J.J., Newham, L.T.H., Greene, R.S.B., Jakeman, A.J. and Croke, B.F.W., 2006. A review of nitrogen and phosphorus export to waterways: Context for catchment modelling. Marine and Freshwater Research, 58: 757-774.
- Emelko, M.B., Stone, M., Silins, U., Allin, D., Collins, A.L., Williams, C.H.S., ... and Bladon, K.D., 2016. Sediment-phosphorus dynamics can shift aquatic ecology and cause downstream legacy effects after wildfire in large river systems. Global Change Biology, 22(3): 1168-1184.
- Feikema, P.M., Sheridan, G.J., Argent, R.M., Lane, P.N.J. and Grayson, R.B., 2011. Estimating catchment-scale impacts of wildfire on sediment and nutrient loads using the E2 catchment modelling framework. Environmental Modelling and Software, 26(7): 913-928.
- Ferreira, R.V., Serpa, D., Cerqueira, M.A. and Keizer, J.J., 2016. Short-time phosphorus losses by overland flow in burnt pine and eucalypt plantations in north-central Portugal: a study at micro-plot scale. Science of the Total Environment, 551-552: 631-639.
- Gallaher, B., Koch, R. and Mullen, K., 2002. Quality of storm water runoff at Los Alamos National Laboratory in 2000 with emphasis on the impact of the Cerro Grande Fire. Los Alamos National Laboratory LA-13926, Los Alamos, New Mexico, 166p.
- Granged, A.J.P., Zavala, L.M., Jordán, A. and Bárcenas-Moreno, G., 2011. Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: A 3-year study. Geoderma, 164(1-2): 85-94.
- Hosseini, M., Geissen, V., González-Pelayo, O., Serpa, D., Machado, A.I., Ritsema, C. and Keizer, J.J., 2017. Effects of fire occurrence and recurrence on nitrogen and phosphorus losses by overland flow in maritime pine plantations in north-central Portugal. Geoderma, 289: 97-106.
- Johansen, M.P., Hakonson, T.E., Whicker, F.W. and Breshears, D.D., 2003. Pulsed redistribution of a contaminant following forest fire: Cesium-137 in runoff. Journal of Environmental Quality, 32(6): 2150-2157.
- Jourgholami, M., Fathi, K. and Labelle, E.R., 2018. Effects of foliage and traffic intensity on runoff and sediment in skid trails after trafficking in a deciduous forest. European Journal of Forest Research, 137: 223-235.
- Landsberg, J.D. and Tiedemann, A.R., 2000. Chapter 12. Fire management. In: Dissmeyer, G.E. (Ed.). Drinking water from forests and grasslands: A

(Eds.). Compendium of Forest Hydrology and Geomorphology in British Columbia, Volume 2 of 2. Ministry of Forests and Range, Forest Science Program, Victoria, B.C. and FORREX Forum for Research and Extension in Natural Resources, Kamloops, British Columbia, 456p.
- Poirier, V., Paré, D., Boiffin, J. and Munson, A.D., 2014. Combined influence of fire and salvage logging on carbon and nitrogen storage in boreal forest soil profiles. Forest Ecology and Management, 326: 133-141.
- Samdaliri, H., Jourgholami, M., Salajegheh, A., Abdi, E. and Kooch, Y., 2021. The effect of forest fires on the dynamics of some soil physical, chemical and biological characteristics over time. Iranian Journal of Forest, 13(2): 129-140 (In Persian).
- Serpa, D., Ferreira, R.V., Machado, A.I., Cerqueira, M.A. and Keizer, J.J., 2020. Mid-term post-fire losses of nitrogen and phosphorus by overland flow in two contrasting eucalypt stands in north-central Portugal. Science of the Total Environment, 705: 135843.
- Sheridan, G.J., Lane, P.N.J. and Noske, P.J., 2007. Quantification of hillslope runoff and erosion processes before and after wildfire in a wet eucalyptus forest. Journal of Hydrology, 343(1-2): 12-28.
- 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.
- Yu, M., Bishop, T.F.A. and Ogtrop, F.F.V., 2019. Assessment of the decadal impact of wildfire on water quality in forested catchments. Water, 11(3): 533.

synthesis of the scientific literature. SRS-GTR-039. Asheville, NC. USDA Forest Service. Southern Research Station. 124-138.
- Lathrop, R.G., Jr., 1994. Impacts of the 1988 wildfires on the water quality of Yellowstone and Lewis Lakes, Wyoming. International Journal of Wildland Fire, 4(3): 169-175.
- Lessels, J.S. and Bishop, T.F.A., 2015. A simulation based approach to quantify the difference between event-based and routine water quality monitoring schemes. Journal of Hydrology: Regional Studies, 4(B): 439-451.
- Malmon, D.V., Reneau, S.L., Katzman, D., Lavine, A. and Lyman, J., 2007. Suspended sediment transport in an ephemeral stream following wildfire. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 112: F02006.
- Moore, D., Winkler, R., Carlyle-Moses, D., Spittlehouse, D., Giles, T., Phillips, J., … and Redding, T., 2008. Watershed response to the McLure forest fire: presentation summaries from the Fishtrap Creek workshop, March 2008. Streamline Watershed Management Bulletin, 12(1): 1-10.
- Moore, P.F., 2019. Global wildland fire management research needs. Current Forestry Reports, 5(4): 210-225.
- Neary, D.G., Ryan, K.C. and DeBano, L.F., 2005. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. General Technical Report, RMRS-GTR-42-vol.4. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, Utah, 250p.
- Pike, R.G., Feller, M.C., Stednick, J.D., Rieberger, K.J. and Carver, M., 2010. Water quality and forest management: 401-440. In: Pike, R.G., Redding, T.E., Moore, R.D., Winker, R.D. and Bladon, K.D.

Effect of fire on runoff quality in forest watersheds (Case study: Kheyrud educational and research forest)

H. Samdaliri [1*], M. Jourgholami [2], A. Salajegheh [3], E. Abdi [4] and Y. Kooch [5]

1*- Corresponding author, Ph.D. Graduated of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: hsamdaliri@ut.ac.ir
2- Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3- Prof., Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4- Associate Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
5- Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 02.12.2021 Accepted: 17.03.2022

Abstract

Forest fires can have a significant impact on water quality, especially in basins that provide drinking water. To investigate the effects of low, medium and high intensities of prescribed fire on runoff quality, 12 runoff plots were established in Kheyrud educational and research forest, north of Iran. In the first rainfall event after fire, six and 12 months after the fire, runoff samples were collected and transferred to the laboratory. Qualitative characteristics of the runoff were pH, electrical conductivity (EC), total suspended solids (TSS), total soluble solids (TDS) and total hardness (TH). The results showed that all the quality characteristics of the runoff after the fire increased compared to the control plots, but the differences among them were not significant. Most of these characteristics were in the high fire intensity, but as time passed after the fire, they had had a declining trend. The time elapsed after the fire had a significant effect only on TSS and TH. TSS values after six months and pH values after one year at low and medium fire intensities reached the level of control plots. TDS values immediately in the first event of precipitation in control, low, medium and high intensities were 22, 46, 53 and 78 mg/l, respectively. After one year, the values were 25, 36, 41 and 44 mg, respectively. Fire causes changes in the quality characteristics of runoff, element loss and reduced soil fertility. In order to reduce soil degradation, forest soil management measures after fire are necessary.

Keywords: Element loss, fire intensity, precipitation, total soluble material, total suspended matter.