فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷

۱۳۵-۱۵۲

تأثیر آتش‌سوزی بر تنوع و سطح‌های غذایی فون خاک در جنگل‌های هیرکانی (مطالعه موردی: جنگل‌های گلندرود)

زینب احمدی[۱]، داود کرتولی‌نژاد[۱]*، مریم ملاشاهی[۱] و معصومه شایان مهر[۲]

[۱] گروه جنگلداری مناطق خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

[۲] گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۷

احمدی ، ز.، د. کرتولی نژاد، م. ملاشاهی و م. شایان مهر. ۱۳۹۷. تأثیر آتش‌سوزی بر تنوع و سطح‌های غذایی فون خاک در جنگل‌های هیرکانی (مطالعه موردی: جنگل‌های گلندرود). فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۳): ۱۵۰-۱۳۳.

سابقه و هدف: تنوع و فراوانی فون خاک‌های جنگلی، نقش مهمی در چرخه عنصرهای غذایی دارد و عامل‌های زیان‌بار ازجمله آتش‌سوزی، سبب برهم خوردن تعادل این جامعه‌ها می‌شود. در تحقیق حاضر به تأثیر آتش‌سوزی بر تنوع، غنا و زیست‌توده زنده فون خاک پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در پارسل‌های ۲۰ و ۲۱ سری ۱۱ حوزه آبخیز ۴۸، اداره کل منبع‌های طبیعی و آبخیزداری- نوشهر انجام شد. تعداد ۱۰ پلات ۳۰×۳۰ سانتی‌متری با عمق ۳۰ سانتی‌متر در هر یک از دو تیمار جنگل آتش‌سوزی شده و جنگل شاهد (مجموعاً ۲۰ پلات) به‌صورت تصادفی و به روش دستی نمونه‌برداری شد. خاک داخل پلات‌ها از محدوده گودال به داخل ظرفی تشت مانند تخلیه شده و پس از جداسازی ماکروفون‌ها در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفته و برای شناسایی و اندازه‌گیری زیست‌توده به آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس وزن هر یک از این موجودها، با ترازوی دیجیتال (دقت ۰/۰۰۰۱ گرم)، اندازه‌گیری و سپس در سطح راسته و خانواده شناسایی شدند. برای محاسبه شاخص‌های غلبه، تنوع زیستی و غنای فون خاک، از نرم‌افزار Past و برای انجام تجزیه‌های آماری، از آزمون تی غیر جفتی در محیط نرم افزار SPSS استفاده گردید.

نتایج و بحث: از کل ماکروفون‌های شناسایی‌شده بیشترین فراوانی مربوط به کرم خاکی بوده است و تمام گونه‌ها به‌جز سوسک‌های راسته سخت بالپوشان و مورچه‌ها در منطقه شاهد بیشتر از آتش‌سوزی شده است. زیست‌توده کلی سطح‌های تغذیه‌ای تفاوت معنی‌داری در بین دو تیمار آتش‌سوزی نشان نداد؛ این در حالی است که میزان آن در منطقه آتش‌سوزی شده ۲/۳۵ و در شاهد ۱/۷۰ گرم بر متر مربع بود. از بین خرده‌ریزخواران زیست‌توده، کرم خاکی و سخت بالپوشان افزایش و هزارپایان، خرخاکی‌ها و دیپلورا در منطقه آتش‌سوزی شده نسبت به منطقه شاهد کاهش یافتند.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که با گذشت ۵ سال پس از آتش‌سوزی، به‌جز شاخص یکنواختی و غلبه گونه‌ای، دیگر شاخص‌ها

* Corresponding Author. *E-mail Address*: kartooli58@semnan.ac.ir

اختلاف معنی داری را بین جنگل شاهد با آتش سوزی شده نشان ندادند. این مطلب نشان‌دهنده بازگشت جنگل به حالت اولیه و بازسازی جامعه‌های فون خاک به زمان قبل از آتش‌سوزی می‌باشد. از سوی دیگر، مقایسه جمعیت فون خاک در سطح‌های تغذیه‌ای نیز نشان داد که موجودهای خرده‌ریزخوار در منطقه آتش‌سوزی شده نسبت به دیگر گروه‌ها بیشترین آسیب و کاهش جمعیت را در اثر آتش‌سوزی داشته است.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، توده فون خاک، جنگل‌های هیرکانی، سطح‌های تغذیه‌ای، تنوع زیستی، خرده ریزخواران.

مقدمه

آتش‌سوزی یکی از مهمترین تخریب‌های تأثیرگذار بر اکوسیستم‌های جنگلی است و به‌طور متوسط سالانه ۷/۲۷ میلیون هکتار جنگل و نیز ۱/۵ میلیون هکتار از درختزارهای جهان را نابود می‌کند (Encinas *et al*., 2007). پدیده گرم شدن زمین ممکن است شدت و بسامد خشک‌سالی را در بسیاری از ناحیه‌ها افزایش داده و درنتیجه آتش‌سوزی شدیدتر و بیشتری را سبب شود (Marozas *et al*., 2011; Khanmohammadi *et al*., 2016).

جنگل‌های هیرکانی ایران یکی از مهمترین منبع-های جنگلی کشور از نظر تنوع گونه‌های درختی و گونه-های منحصر به فردی است که امروزه با استفاده بی‌رویه از این جنگل‌ها در بخش‌های مختلف ازجمله بهره‌برداری چوب، استفاده‌های گردشگری و تحت تأثیر تهدیدهای نهفته نظیر رویداد سیلاب، آفت‌ها و بیماری‌ها و آتش-سوزی قرارگرفته است (Rahimi *et al*., 2016; Kartoolinejad *et al*., 2017; Yousefzadeh *et al*., 2017; Shayanmehr *et al*., 2018). آتش، یک نیروی طبیعی است که جامعه‌های گیاهی را در طول زمان تحت تأثیر قرار می‌دهد و به‌عنوان یک فرآیند طبیعی نقش مهمی در حفظ سلامتی اکوسیستم‌های خاص دارد. مؤثرترین راه برای کاهش زیان‌های ناشی از آتش‌سوزی-های جنگل، یافتن سریع آتش و واکنش همه جانبه با تمام اقدام‌های حفاظتی می‌باشد. آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مرتع‌های ایران که دارای اقلیم و پوشش گیاهی متفاوتی هستند هرساله اتفاق افتاده که بیشتر آن‌ها توسط انسان و به‌صورت عمدی رخ می‌دهد (Poormajidian and Parsakhoo, 1998; Khanmohammadi *et al*., 2016).

در خاک جنگل‌های معتدل و خزان کننده، بی‌مهرگان بی‌شماری وجود دارند که از مواد آلی بستر جنگل تغذیه می‌کنند. ماکروارگانیسم‌های خاک، یکی از مهمترین اجزای زنده خاک هستند که نقش کلیدی را در ایجاد حاصلخیزی خاک، چرخه عنصرهای غذایی و جریان انرژی دارند و به تغییرپذیری‌های محیطی نیز بسیار حساس هستند. ماکروفون‌های خاک[1] یا به عبارتی جانداران خاکزی به‌اندازه بدن بیش از ۲ میلی‌متر، نقش زیادی در تجزیه لاشبرگ و بازگشت عنصرهای غذایی بر عهده دارند و تأثیر مهمی در تکامل خاک، ایجاد هوموس و آزادسازی عنصرهای غذایی مهم برای گیاهان خلال معدنی کردن مواد آلی به عهده دارند (*et al*., 2011; Kartoolinejad Jafari *et al*., 2017). ماکروفون‌های خاک برای تغذیه، لاشبرگ‌ها را به تکه‌های کوچک‌تر تبدیل کرده و سبب افزایش سطح لاشریزه‌ها شده و محیط را برای فعالیت دیگر تجزیه‌کننده‌گان مناسب‌تر می‌کنند. در صورت نبود این دسته از جانداران، تجزیه لاشبرگ‌ها تا میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (Emberlin, 1989). ماکروفون، شامل موجودهایی از قبیل صد پایان، مورچه‌ها، موریانه‌ها، هزارپایان، کرم‌های خاکی، حلزون‌ها و عنکبوت‌ها و غیره می‌باشد. هزارپایان بیشتر در منطقه‌های گرم و مرطوب زندگی می‌کنند به-طور معمول علفخوار یا گندیده خوار هستند. بندپایان به‌عنوان حلقه‌ای از زنجیره‌های غذایی خاک به‌طور غیرمستقیم تأثیر فراوانی بر مواد آلی و عنصرهای غذایی خاک می‌گذارند و تجزیه لاشریزه نیز به وجود آن‌ها

وابسته است (Mehrafrooz and Shayanmehr, 2014).

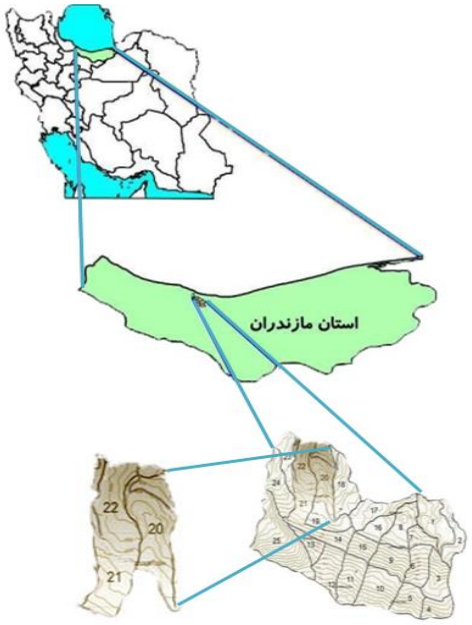
در بررسی تأثیر آتش بر موجودهای خاکزی McSorley (1993) گزارش کرد که بعد از ۶ هفته آتش‌سوزی کنترل‌شده، علف خوران بدون تغییر و همه‌چیزخواران و انگل‌ها افزایش یافته‌اند. بنابر نظر Matelck (2001) آتش کنترل‌شده حتی با شدت کم منجر به کاهش قابل‌توجه کرم خاکی در زیر درختان اکالیپتوس می‌شود و در سال‌های سوم تا چهارم بعد از آتش‌سوزی شرایط شروع به بهبود می‌کند. در زمینه تأثیر آتش‌سوزی بر ماکروفون، Neary *et al.* (2005) بیان داشتند که واکنش سریع بی‌مهرگان به آتش‌سوزی، سبب کاهش شدید و فاحش در تعداد کل آن‌ها و غنای‌شان شده که این به دلیل مهاجرت سریع ماکروفون به محیط امن‌تر می‌باشد. در بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر پایداری بخش زیرزمینی Badía-Villas *et al.* (2014) به این نتیجه رسیدند که آتش‌سوزی شدید منجر به تغییر در نرخ معدنی شدن و نسبت کربن به نیتروژن، کاهش عنصرهای خاک، تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک، تغییر چرخه هیدرولوژی و در نتیجه کاهش میکرو و ماکروفون و جمعیت میکروبی خاک می‌شود. در پژوهش دیگری Auclerc *et al.* (2019) به بررسی اثر سوختگی کم بر ماکروفون خاک و ارتباط آن با عامل‌های محیطی پرداختند. نتایج آنان نشان داد که آتش‌سوزی ضعیف تأثیر معنی‌داری بر جمعیت ماکروفون خاک ندارد و دگرگونی جمعیت در برخی از ماکروفون‌های خاک به دلیل دگرگونی در متغیرهای محیطی مانند سطح لاشبرگ و عمق آن بوده است.

هدف از تحقیق حاضر، بررسی رابطه‌های بین سطح‌های غذایی ماکروفون‌های خاک در جنگل‌های آتش‌سوزی شده هیرکانی در مقایسه با جنگل‌های طبیعی مجاور به‌عنوان شاهد است. همچنین شاخص‌های تنوع زیستی، غنا، یکنواختی و غلبه نیز پس از گذشت ۵ سال مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد تا مشخص شود آیا این جنگل‌ها به شرایط طبیعی جامعه‌های فون خود پس از گذشت ۵ سال باز خواهند گشت یا خیر؟

مواد و روش‌ها

سری‌های ۱۱ و ۱۲ گلندرود به مساحت کل ۱۷۸۰ هکتار در حوزه آبخیز ۴۸ قرار دارند که از نظر تقسیم‌های کشوری در حوزه شهرستان نوشهر و حوزه استحفاظی اداره منبع‌های طبیعی نوشهر-رویان و اداره کل منبع‌های طبیعی آبخیزداری استان مازندران- نوشهر و محدوده طرح جنگلداری گلندرود قرار دارد و همچنین در محدوده طول جغرافیایی ´۵۰ ۵۱ تا ´۵۴ ۵۰ و عرض ´۲۷ ۳۶ تا ´۲۵ ۳۶ قرار گرفته است که از شمال به یال سراسری جیرتالش هم‌مرز سری ۲ آب‌پری، از جنوب به دره کدیرسر و هم‌مرز با سری ۱۰ وازک و سری ۹ بهارکتی، از غرب به یال‌های جنوب چوب‌بست خاک و از شرق به دره بزرگ گلندرود محدود می‌شود (شکل ۱). تحقیق حاضر در پارسل‌های ۲۰ و ۲۱ از سری ۱۱ صورت گرفت که حدود ۸۰ درصد منطقه‌ای که تحت آتش‌سوزی قرار گرفته در پارسل ۲۰ و بقیه در پارسل ۲۱ قرار دارد. کمترین ارتفاع از سطح دریا ۵۰۰ متر و بیشترین آن ۱۷۵۰ متر است و در طبقه شیب ۶۰-۳۰ درصد و جهت غالب جنوب شرقی می‌باشد. تیپ غالب جنگل آتش‌سوزی شده ممرز-بلوط و نیز آمیخته با دیگر گونه‌ها بود. ساختار جنگل دانه‌زاد نیز ناهمسال می‌باشد.

پژوهش‌های خاک شناسی نشان می‌دهد که در این سری منبع خاک از تداخل سنگ‌های آهکی با ماسه‌سنگ شیل زغالی بوده است و خاک به دلیل خاک‌زایی خوب سنگ‌های مادری در بیشتر منطقه‌ها از عمق مناسبی حدود ۵۵ سانتی‌متر برخوردار می‌باشد و در برخی نقطه‌ها سطحی بوده و بیرون‌زدگی سنگی به میزان زیاد وجود داشته است. تیپ‌های خاک راندزین دکربناته، قهوه‌ای جنگلی با pH قلیایی می‌باشد و بافت خاک کمی سنگین رسی- لومی است.



شکل ۱- تصویر هوایی از منطقه مورد پژوهش
Fig. 1- The studied area

شناسایی منطقه با توجه به داده‌های دریافتی از یگان حفاظت اداره کل منبع‌های طبیعی نوشهر صورت گرفت. برای بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر ماکروفون خاک، تعداد ۱۰ پلات ۳۰×۳۰ سانتی‌متری با عمق ۳۰ سانتی‌متر در هر یک از دو تیمار جنگل آتش‌سوزی شده و جنگل شاهد به‌صورت تصادفی به روش دستی (Hand sorting) نمونه برداری شد. خاک داخل پلات‌ها از محدوده گودال به داخل ظرفی تشت مانند تخلیه شده و پس از جداسازی ماکروفون‌ها در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفته و به آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس وزن هر یک از نمونه‌های فون خاک توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و سپس شناسایی شدند و درنهایت برای پژوهش‌های دقیق‌تر در محلول اتانول ۷۰٪ قرار گرفتند (Kartoolinejad *et al*., 2011; Jafari *et al*., 2017).

کرم خاکی (Lumbricidae)، مورچه (Formicidae)، هزارپایان (Millipede) و سخت‌بالپوشان (Coleoptera) جزء بیشترین گونه‌های شناسایی شده بوده‌اند. ناجوربالان (Pyrrochoridae)، سخت‌بالپوشان و پادمان‌ها (Collembola) در سطح خانواده و دیگر عضوهای فون خاک در سطح راسته شناسایی شدند.

میزان فراوانی، فراوانی نسبی و درصد فراوانی هریک از تاکسون‌ها در دو منطقه شاهد و آتش‌سوزی شده به تفکیک مقایسه گردید. درنهایت کلیه گونه‌های جمع‌آوری‌شده در پنج سطح تغذیه‌ای پوده‌خواران، همه‌چیزخواران، انگل‌ها، صیادان و گیاهخواران طبقه‌بندی شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از جمع‌آوری داده‌ها، برای تعیین، تنوع زیستی از شاخص‌های شانون-واینر (به‌عنوان شاخص هتروژنیتی)، غالبیت از شاخص سیمپسون و مارگالف، یکنواختی، از بوزاس-گیبسون استفاده شد. شاخص‌های غالبیت گونه‌ای برگر-پارکر و غالبیت نیز برآورد شد. شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار Past نسخه ۲,۱۲ و فرمول‌های زیر، محاسبه و برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون t با نمونه‌های مستقل استفاده شد. همه تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. در جدول، ۱ فرمول‌های مورد استفاده برای تعیین شاخص‌های تنوع در این تحقیق بیان شده است.

نتایج و بحث

ماکروفون‌های خاک یکی از آشکارترین مؤلفه‌های تنوع زیستی در بیشتر اکوسیستم‌ها هستند که جمعیت آن‌ها وابستگی زیادی به شیوه مدیریتی اکوسیستم دارد (Callaham *et al*., 2003; Kartoolinejad *et al*., 2013).

در این تحقیق، تنوع زیستی فون خاک با استفاده از شاخص‌های رایج در ارزیابی تنوع اکوسیستم، مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج ارزیابی شاخص‌های تنوع زیستی

بررسی‌های شاخص‌های تنوع زیستی فون خاک در دو منطقه آتش‌سوزی شده و شاهد باهم مقایسه شد که بیانگر معنی‌دار نبودن همه شاخص‌ها به‌جز شاخص یکنواختی بوزاس گیبسون بوده است (جدول ۲).

جدول ۱- رابطه‌های مورداستفاده برای تعیین شاخص‌های تنوع زیستی

Table 1. Equations used to determine the biodiversity indices

شاخص Indices		رابطه Equations	پارامترها Variables
تنوع Biodiversity	شانون- وینر Shannon-Wiener	$H = -\sum_i \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n}$	n_i= تعداد پایه‌های تاکسون i n_i=Individual number of taxon i n= تعداد کل افراد است n=Total number of individuals
	سیمپسون Simpson	$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^{S} (p_i)^2$	p_i= فروانی نسبی گونه i p_i=relative abundance of species i
	بریلوئن Brillouin	$HB = \frac{\ln(n!) - \sum_i \ln(n_i!)}{n}$	n= تعداد کل افراد در مجموعه کامل n_1= تعداد کل افراد متعلق به گونه ۱ n_2= تعداد کل افراد متعلق به گونه ۲ الی آخر
	فیشر-آلفا Fisher's alpha	$S = a \times \ln(1+n/a)$	S= تعداد گونه S=number of species n= تعداد افراد n=number of individuals
غالبیت Dominance	غالبیت سیمپسون Simpson dominance	$1 - \text{Simpson index}$ $D = \sum_i \left(\frac{n_i}{n}\right)^2$	n_i= تعداد پایه‌های تاکسون i n_i=Individual number of taxon i n= تعداد کل افراد است n=Total number of individuals
غنا Richness	مارگالف و منهینیک Margalef and Menhinick	$(S-1)/\ln(n)$ $\frac{S}{\sqrt{n}}$	S =تعداد تاکسون‌ها S=number of taxa n= تعداد افراد n=number of individuals
یکنواختی Evenness	بوزاس-گیبسون Buzas and Gibson	$\frac{e^H}{S}$	S =تعداد تاکسون‌ها S=number of taxa H= تنوع زیستی شانون H=Shannon's H
وفور Abundance		تعداد کل افراد در متر مربع Number total individuals per m^2	

جدول ۲- نتیجه مقایسه آماری شاخص‌های تنوع زیستی فون خاک

Table 2. Statistical comparison of biodiversity indices of the soil fauna

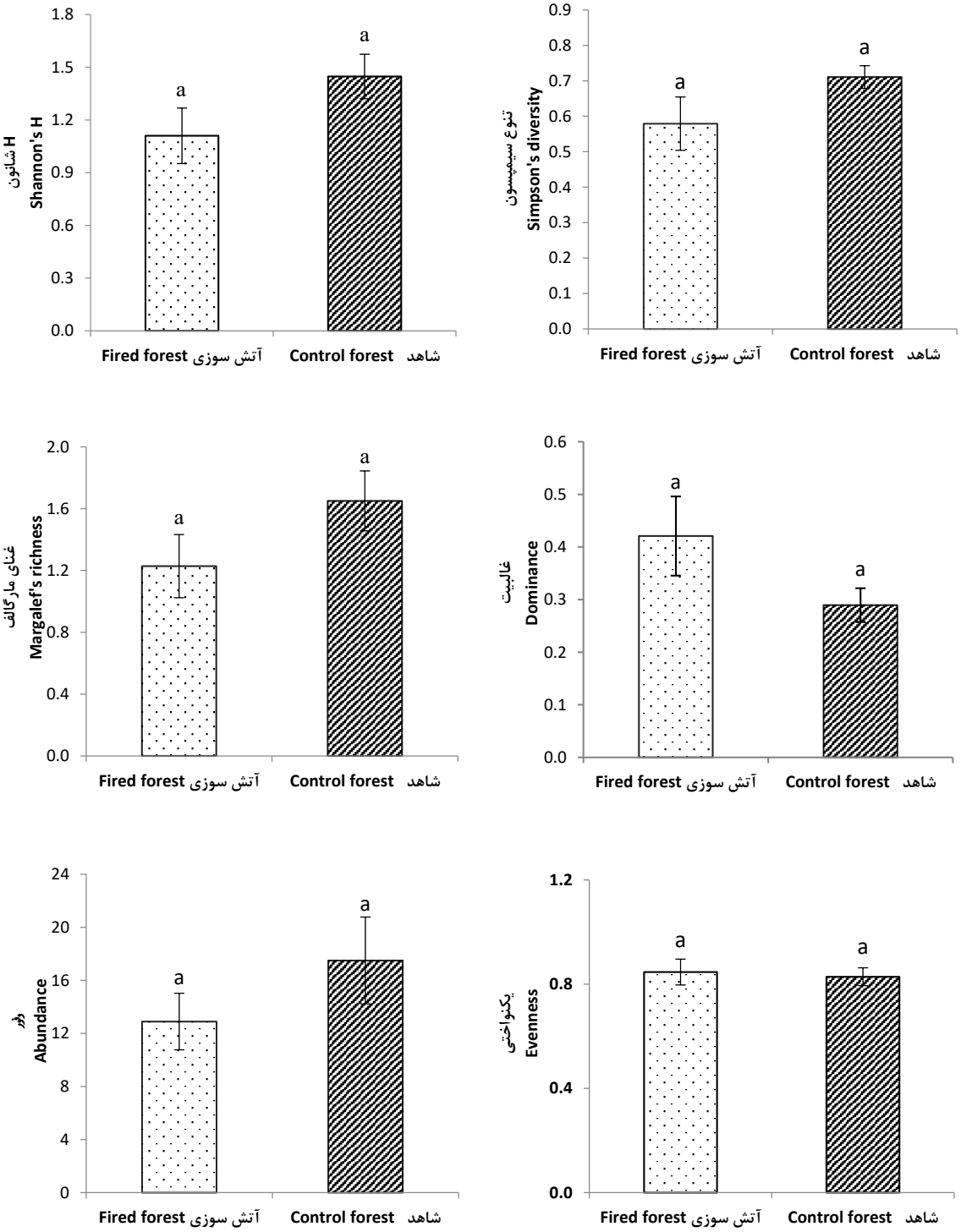
معنی‌داری Significant	t	درجه آزادی df	شاخص‌ها Indices	
0.106 ns	1.607	18	سیمپسون Simpson	تنوع Biodiversity
0.551 ns	1.666	18	شانون-وینر Shannon-Wiener	
0.938 ns	1.828	18	بریلوئن Brillouin	
0.732 ns	1.100	18	فیشر- آلفا Fisher's alpha	
0.745 ns	1.499	18	مارگالف Margalef	غنا Richness
0.438 ns	1.206	18	منهینیک Menhinick	
0.315 ns	0.299	18	Buzas and Gibson	یکنواختی Evenness
0.048 *	1.084	10.001	Equitability	غالبیت Dominance
0.340 ns	1.177	18	فراوانی در متر مربع Frequency per square meter	وفور Abundance

*اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns عدم معنی‌داری

* Significant differences at 5% and ns not significant

مقایسه این شاخص‌ها در بین تیمارها نشان می‌دهد که هیچ یک از شاخص‌ها به‌جز شاخص یکنواختی معنی-دار نبوده است.

شکل ۲ نیز مقایسه شاخص‌های تنوع زیستی فون خاک در دو جامعه جنگل آتش‌سوزی شده و شاهد را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مقایسه شاخص‌های تنوع زیستی فون خاک در دو جامعه جنگل آتش‌سوزی شده و شاهد

Fig. 2- Comparison of biodiversity indices related to soil fauna between fired and control forest areas

اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای با استفاده از شاخص سیمپسون تفاوت معنی‌داری بین دو منطقه آتش‌سوزی شده و آتش‌سوزی نشده را نشان نداد. شاخص تنوع سیمپسون به‌شدت متوجه گونه‌های غالب عرصه بوده و بنابر شکل ۱ این شاخص در منطقه، شاهد ۱/۲۲ برابر منطقه آتش‌سوزی شده بوده است (به ترتیب در تیمار آتش‌سوزی شده ۰/۱۲۵ و ۰/۱۳۴). این شاخص هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشد تنوع زیستی بیشتر است؛ بنابراین نشان‌دهنده تنوع بیشتر در منطقه شاهد بوده است. شاخص تنوع شانون بر اساس غنا و فراوانی نسبی گونه محاسبه می‌شود و شاخص تنوع سیمپسون متوجه گونه-های غالب در نمونه بوده ولی به غنای گونه حساسیت اندکی دارد و به تغییرپذیری گونه‌ها با فراوانی بیشتر (غالب) در نمونه بسیار حساس می‌باشد. شاخص شانون تنوع قسمت‌های نمونه‌برداری نشده را به‌خوبی منطقه‌های نمونه برداری شده برآورد می‌کند که میزان آن در منطقه شاهد ۱/۳۱ برابر آتش‌سوزی شده، بوده است. غنای گونه-ای شاخصی از حضور انواع گونه‌ها می‌باشد و از شمارش تعداد آن‌ها به‌دست‌می‌آید. توزیع افراد در میان گونه‌ها نیز یکنواختی نامیده می‌شود و وقتی همه گونه‌ها دارای تعداد افراد مساوی باشند، یکنواختی در بیشترین میزان خود خواهد بود (Ejtehadi, 1999).

شاخص یکنواختی، چگونگی توزیع فراوانی افراد در بین گونه‌ها را نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر یکنواختی بیانگر میزان تعادل در فراوانی گونه‌ها است (Sheldon, 1969). بنابراین منطقه آتش‌سوزی شده بر اساس نتیجه به‌دست‌آمده یکنواخت‌تر می‌باشد.

شاخص غنای مارگالف در منطقه شاهد، ۱/۶۵ برابر منطقه آتش‌سوزی شده است، بنابراین نشان‌دهنده تنوع بیشتر در منطقه شاهد می‌باشد. همچنین با افزایش یکنواختی اکوئیت ابیلیتی[۲] (معکوس غالبیت) تنوع نیز افزایش می‌یابد، بنابراین از روی یکنواختی می‌توان قضاوت کرد که منطقه شاهد از تنوع بیشتری نسبت به منطقه آتش‌سوزی شده برخوردار است. غنا و فراوانی از ویژگی‌های اصلی جامعه‌های جانوری هستند (Hatfield, 1994). غنا به‌طور ساده، تعداد گونه در یک جامعه و تمام گونه‌هایی که دارای تعداد افراد یکسان باشند تعریف می‌شود. تنوع گونه‌ای نیز از ترکیب دو پارامتر غنا و یکنواختی به‌دست‌می‌آید. بررسی فراوانی دو تیمار بیان داشته که فراوانی در منطقه شاهد ۱/۳۶ برابر منطقه آتش‌سوزی شده است. معنی‌دار نبودن شاخص‌ها نشان می‌دهد که با توجه به گذشت مدت‌زمان ۵ سال از زمان آتش‌سوزی در منطقه مورد بررسی، افزایش پوشش گیاهی و خودتنظیمی جنگل باعث احیاء شرایط زیستی فون منطقه شده است؛ این موضوع به معنی نزدیکتر شدن شرایط اکولوژیکی فون خاک منطقه آتش سوزی به شرایط منطقه شاهد است.

نتیجه ارزیابی فراوانی کل نمونه‌های جمع‌آوری شده نشان می‌دهد که کرم خاکی بیشترین تعداد جمعیت ماکروفون‌های خاک به میزان ۲۷/۸ درصد و پادمان‌ها و راسته ناجوربالان هر دو به میزان ۰/۶۸ درصد کمترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین زیست توده مربوط به کرم خاکی به میزان ۲۸/۷ درصد و کمترین آن نیز مربوط به پادمان‌ها و دیپلورا به ترتیب با ۰/۰۲ و ۰/۰۳ درصد از کل زیست توده بوده است (جدول ۳).

مقایسه میانگین تعداد تاکسون‌ها به تفکیک دو منطقه نشان داد که بیشترین فراوانی در منطقه آتش‌سوزی شده و شاهد مربوط به کرم خاکی به میزان ۲۸/۵ و ۲۷/۳ درصد از کل جمعیت بود. کمترین وفور نیز مربوط به دیپلورا به میزان ۰/۸ درصد در منطقه آتش‌سوزی شده و شاهد بوده و به پادمان‌ها نیز میزان ۱/۱ درصد اختصاص داشته است. بیشترین زیست توده در منطقه آتش‌سوزی شده مربوط به سخت‌بالپوش به میزان ۴۶/۴ درصد و کرم خاکی به میزان ۲۸ درصد در شاهد بوده و کمترین زیست توده در منطقه آتش‌سوزی شده مربوط به دیپلورا به میزان ۰/۰۰۵ درصد و در منطقه شاهد مربوط به پادمان‌ها به میزان ۰/۰۴ درصد بوده است (جدول ۳).

جدول ۳- وفور (تعداد/ مترمربع) و زیست‌توده کل (g/m^2) و درصد هریک از تاکسون‌ها در کل پلات‌ها در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد

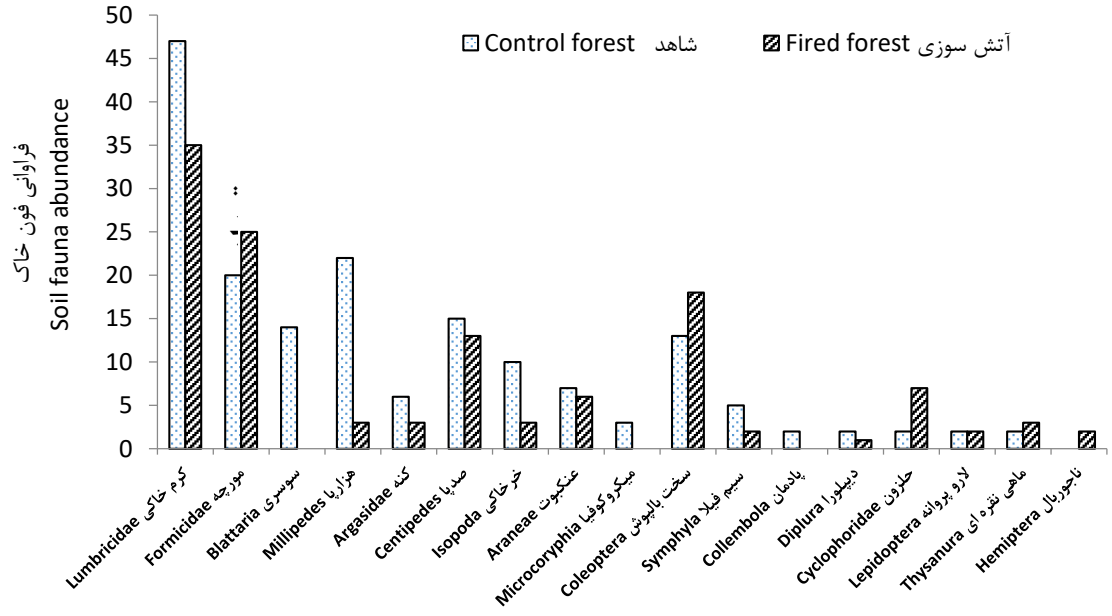
Table 3. Abundance and total biomass (g/m^2) of each taxa in all quadrates of fired and control forest areas

زی‌توده Biomass		وفور Abundance		تاکسون	نام رایج
درصد Percent	گرم/مترمربع g/m^2	درصد Percent	تعداد/مترمربع No./m^2	Taxon	Common name
28.74	17.21	27.80	82	Megadrilaceae	کرمهای خاکی Earthworms
0.59	0.35	15.25	45	Hymenopetra	مورچه‌ها Ants
3.64	2.18	4.75	14	Bllatodea	سوسری ها Cockroaches
11.81	6.69	8.47	25	Spirobolida	هزارپایان Millipedes
0.08	0.05	3.05	9	Ixodida	کنه ها Ticks
2.48	1.48	9.49	28	Geophilomorpha	صدپایان Centipedes
1.03	0.62	4.41	13	Isopoda	خرخاکیها Woodlice
0.35	0.21	4.41	13	Araneae	عنکبوتیان Spiders
0.04	0.02	1.02	3	Microcoryphia	دم استطاله‌داران Bristletails
38.56	23.08	10.51	31	Coleoptera	سخت بالپوشان Beetles
0.09	0.05	2.37	7	Symphyla	سیم فیلا Pseudocentipedes
0.02	0.009	0.68	2	Collembola	پادمان Springtails
0.03	0.016	1.02	3	Diplura	دیپلورا Two-pronged bristletails
10.17	6.08	3.05	9	Gastropoda	حلزون‌ها Snails
1.25	0.75	1.36	4	Lepidoptera	لارو پروانه Butterflies
0.13	0.08	1.69	5	Thysanura	ماهی نقره‌ای Silverfish
1.63	0.97	0.68	2	Hemiptera	ناجوربالان True bugs
100	59.86	100	295		جمع Total

در مجموع تعداد ۱۲۳ فرد ماکروفون در منطقه آتش‌سوزی شده و ۱۷۲ فرد در منطقه شاهد شناسایی شده است که شامل کرم خاکی، مورچه، سوسری، هزارپا، کنه، صدپا، خرخاکی، عنکبوت، میکروکوفیا، سخت-بالپوشان، سیمفیلا، پادمان، دیپلورا، حلزون، لارو پروانه، ماهی نقره‌ای و ناجوربالان بوده است. پس از اندازه‌گیری وزن ماکروفون‌ها در مجموع، در منطقه آتش‌سوزی شده برابر با ۳۷/۲ و در منطقه شاهد ۲۲/۶ گرم بر مترمربع برآورد گردید و با وجود کاهش تعداد ماکروفون، زیست‌توده آن‌ها در منطقه آتش‌سوزی شده افزایش داشته است. درنتیجه در اثر آتش‌سوزی جمعیت برخی از ماکروفون‌های خاک کاهش یافت (Poorreza *et al.*, 2013). تغییر جمعیت در برخی از ماکروفون‌های خاک در اثر دگرگونی عامل‌هایی مانند سطح لاشبرگ و پوشش گیاهی و چوب‌های پوسیده باقی‌مانده در سطح جنگل است (Dominguez *et al.*, 2010). تاثیر کوتاه‌مدت

آتش‌سوزی بر ماکروفون خاک به‌صورت کاهش تعداد بسیاری از ماکروفون‌ها بوده و ممکن است ماکروفون از بین برود یا فرار نماید. آتش به بعضی از گونه‌های حساس آسیب جدی می‌زند (Doamba, 2014). درنتیجه به دلیل گذشتن از مدت‌زمان آتش‌سوزی و مهیا شدن شرایط محیطی افزایش وزن ماکروفون‌های شناسایی‌شده در این منطقه سبب بالا رفتن زیست‌توده این دسته از جانداران شده است. مقایسه نسبت تعداد و زیست توده هر گونه شناسایی شده، نشان داد که با وجود تعداد بیشتر مورچه در این منطقه ولی به دلیل کوچک بودن جثه، کم‌ترین زیست توده را نسبت به تعدادشان دارند (Kartoolinejad *et al.*, 2011).

طبق یافته‌های Persson and Gongalsky (2013) در ابتدای زمان آتش‌سوزی، فراوانی و غنای گونه در مدت کوتاهی به میزان ۱/۵ تا ۵ برابر در منطقه سوخته نشده بیشتر از منطقه سوخته شده بوده است. پاسخ حشرات به آتش به مدت ۷ سال در جنوب شهر ویسکانسین در ایالت متحده توسط Panzer (2002) مورد بررسی قرار گرفت. وی نشان داد که بیشتر جمعیت‌ها در کوتاه‌مدت به آتش پاسخ منفی نشان داده و پس از گذشت ۲ سال نه‌تنها جمعیت آن‌ها دوباره احیا شد بلکه جمعیت حشرات از منطقه آتش‌سوزی شده نیز بیشتر شده است. در پژوهش دیگری Pourreza *et al.* (2014) بیان داشتند که سوختگی کم نسبت به جایگاه سوخته نشده نه‌تنها تغییر معنی‌داری در ویژگی‌های خاک نداشته بلکه بر حضور انواع ماکروفون خاک نیز تأثیر معنی‌داری نداشت. همچنین در پژوهشی، Schwilk *et al.* (2006) در بررسی آتش‌سوزی با شدت کم بر ماکروفون خاک و ارتباط آن با عامل‌های محیطی نشان داد که آتش‌سوزی با شدت کم، تأثیر معنی‌داری بر جمعیت ماکروفون خاک ندارد و بیان داشته تغییرپذیری‌های به وجود آمده در منطقه در اثر عامل‌های محیطی مانند حجم و ضخامت لاشبرگ‌ها و پوشش گیاهی و چوب‌های باقی‌مانده بوده که سبب افزایش جمعیت بندپایان خاک شده است.

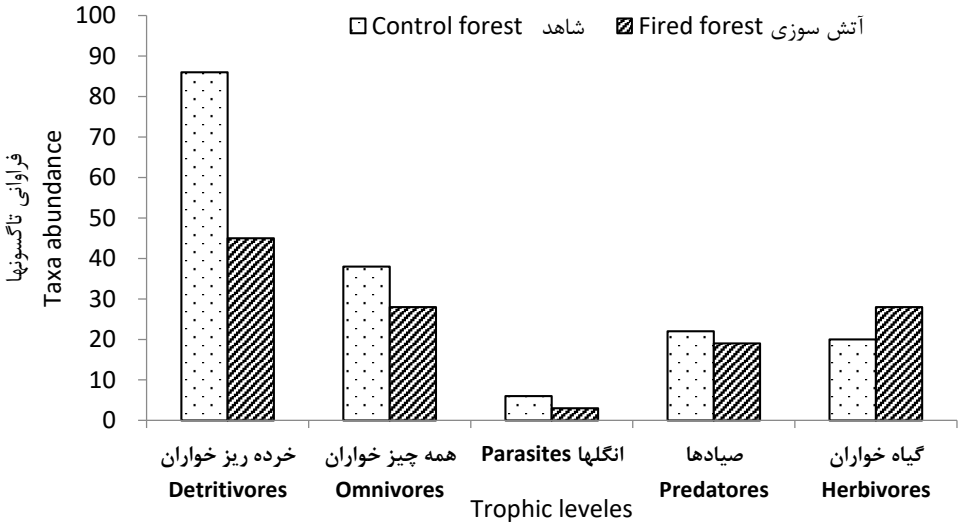


شکل ۳- مقایسه فراوانی تاکسون‌های فون خاک در دو منطقه شاهد و آتش‌سوزی شده
Fig. 3- Comparison of different taxa of soil fauna between fired and control forest areas

مقایسه سطح‌های تغذیه‌ای در دو منطقه شاهد و آتش‌سوزی شده

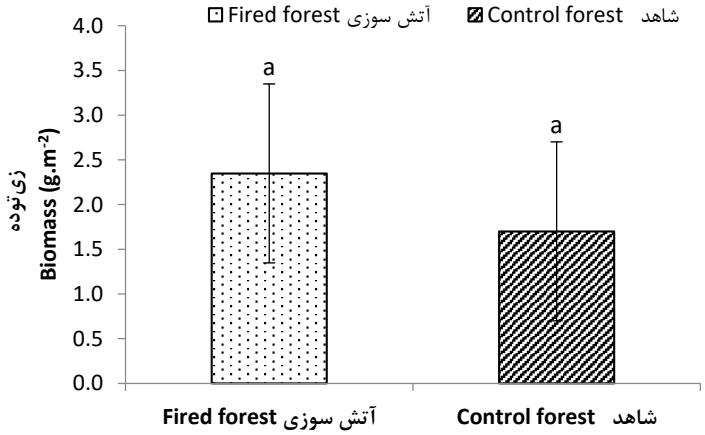
مقایسه سطح‌های تغذیه‌ای ماکروفون خاک در دو منطقه شاهد و آتش‌سوزی شده نشان‌دهنده حضور پنج سطح تغذیه‌ای پوده‌خوار (Macrosaprophagous)، همه-چیزخواران (Ominvorous)، گیاه‌خواران (Herbivore)، صیادان (Predator) و انگل‌ها (Parasite) بود (شکل ۴). نتایج نشان می‌دهد که میزان گیاهخواران در منطقه آتش‌سوزی بیشتر از منطقه شاهد بوده است ولی در دیگر سطح‌های تغذیه‌ای کاهش یافته است و بیشترین شدت کاهش مربوط به پوده‌خواران یا خرده‌ریزخواران بوده است (شکل ۴).

مقایسه زیست‌توده کلی سطح‌های تغذیه‌ای خرده-ریزخواران نشان‌دهنده تبود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح‌های کلی بین دو منطقه شاهد و آتش‌سوزی شده می‌باشد. این در حالی است که میزان عددی آن در منطقه آتش‌سوزی شده بیشتر از منطقه شاهد بوده است (شکل ۴).



شکل ۴- فراوانی سطح‌های تغذیه‌ای فون خاک در دو جامعه جنگل آتش‌سوزی شده و شاهد

Fig. 4- Abundance of trophic levels of soil fauna in fired and control forest areas



شکل ۵- زیست‌توده کلی سطح‌های تغذیه‌ای در دو منطقه شاهد و آتش‌سوزی شده

Fig. 5- Biomass of all trophic levels in fired and control forest areas

مقایسه زیست‌توده سطح‌های تغذیه‌ای خرده‌ریزخواران

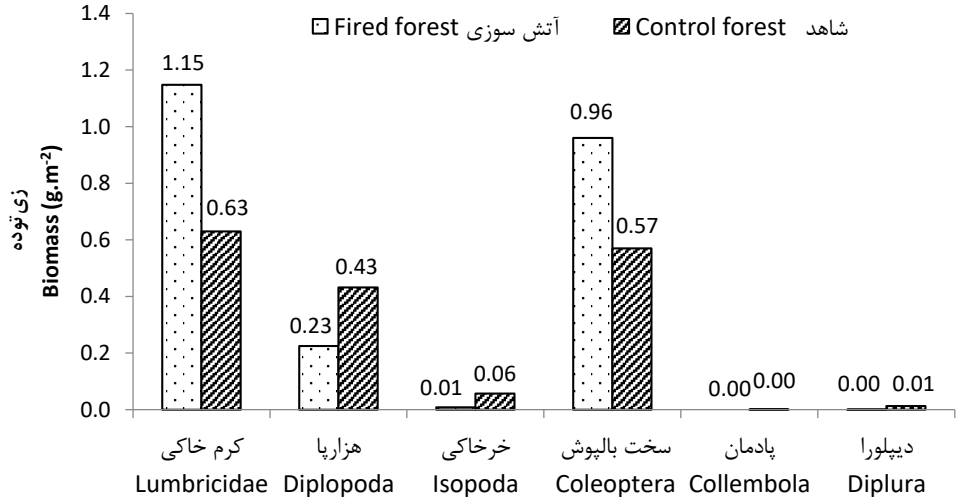
همچنین بررسی سطح‌های تغذیه‌ای خرده‌ریزخواران به تفکیک گونه‌های شناسایی شده در دو منطقه، نشان‌دهنده تبود تفاوت معنی‌دار در همه سطح‌های تغذیه‌ای به‌جز پادمان‌ها بوده است (جدول ۴).

مقایسه فون سطح‌های تغذیه‌ای خرده‌ریزخواران بیان داشته که زیست توده کرم خاکی و سخت بالپوشان در منطقه آتش‌سوزی شده نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش بوده و زیست توده هزارپا و خرخاکی و دیپلورا کاهش یافته است و پادمان‌ها دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (جدول ۴ و شکل ۶).

جدول ۴- نتایج مقایسه آماری سطح‌های تغذیه‌ای خرده‌ریزخواران در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد
Table 4. Statistical results of detritivores trophic levels in fired and control forest areas

فون خاک Soil fauna	درجه آزادی df	t	Sig.
کرم خاکی	19	0.925	0.847 ns
هزارپایان	19	0.663	0.161 ns
خرخاکی	19	1.130	0.062 ns
سخت‌بالپوشان	19	1.377	0.320 ns
پادمان	19	1.095	0.038 *
دیپلورا	19	0.778	0.097 ns

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ns عدم معنی‌داری
* Significant differences at 5% and ns not significant



شکل ۶- زیست‌توده سطح‌های تغذیه‌ای خرده‌ریزخواران در دو منطقه شاهد و آتش‌سوزی شده
Fig. 6- Biomass of detritivores trophic levels in fired and control forest areas

مقایسه زیست‌توده ماکروفون در بین دو تیمار به تفکیک نشان‌دهنده کاهش زیست‌توده کرم خاکی در منطقه آتش‌سوزی شده و افزایش سخت بالپوشان در منطقه شاهد بوده است و کاهش زیست‌توده کرم خاکی نسبت به دیگر گونه‌های شناسایی شده با شدت بیشتری بوده است (شکل ۵).

مقایسه میانگین فراوانی ماکروفون در آتش‌سوزی و شاهد نشان داد که بالاترین میزان آن در بین دو تیمار به کرم خاکی اختصاص داشته است. بنا به سخنان Baroos *et al*. (2003) هنگامی که خاک کوبیده می‌شود گروه‌های

فون خاک را تحت فشار قرار می‌دهد و گونه‌های خاصی از کرم خاکی غالب می‌گردند.

مقایسه جمعیت فون‌ها در سطح‌های تغذیه‌ای، در مجموع حضور پنج سطح تغذیه‌ای شامل پوده‌خواران، همه چیزخواران، انگل، صیاد و گیاهخوار را نشان داد. بر اساس این نتایج، جمعیت پوده‌خوارها (خرده ریزخواران) در منطقه آتش‌سوزی شده نسبت به دیگر گروه‌ها بیشترین کاهش را داشته است. این دسته شامل کرم‌های خاکی و هزارپایان و... بوده که آن‌ها از برگ‌های در حال پوسیدن و دیگر مواد آلی تغذیه می‌کنند و این موجودها در ناحیه‌های مرطوب و زیر لاشبرگ‌ها که دارای سایه و رطوبت هستند زیست می‌کنند. لاشبرگ‌ها در نگهداری عملکرد اکوسیستم‌های طبیعی و منطقه‌های مدیریت شده نقش اساسی دارند و تجزیه آن‌ها تحت تأثیر پوشش گیاهی، شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های خاک و حضور بی‌مهرگان خاکزی است (Mugendi *et al*., 2004). اختلاف فراوانی و تنوع بی‌مهرگان خاکزی تحت تأثیر لاشبرگ‌ها و ویژگی‌های تغذیه‌ای بوده است (Kling *et al*., 2007).

بی‌مهرگان خاکزی بهترین شاخص در شناسایی کیفیت خاک می‌باشند (Stoops, 1997). کاهش بی‌مهرگان خاک می‌تواند تاثیرهای منفی روی ساختمان خاک و خاکدانه داشته باشد که سبب می‌شود نفوذ آب و هوا و تهویه و تبادل گازها کمتر شود (Kheiri *et al*., 2012).

مقایسه فراوانی سطح‌های تغذیه‌ای خرده‌ریزخواران که عامل اصلی در حاصلخیزی خاک می‌باشند و ظرفیت نگهدارای خاک را افزایش می‌دهند (Hall and Cherry, 1993)، نشان می‌دهد که در مجموع از تعداد ۱۳۱ فرد ماکروفون شناسایی شده در این گروه، تعداد ۸۶ فرد به منطقه شاهد و تعداد ۴۵ فرد به منطقه آتش‌سوزی شده اختصاص داشته است. همچنین رطوبت خاک بر روی باروری و توانایی موجودهای خاک برای تغذیه و همچنین بقا و فراوانی آن‌ها تأثیر می‌گذارد (Andersen, 1987) و درنتیجه به دلیل تغییر و یا کاهش منبع‌های غذایی پس از آتش‌سوزی، جمعیت خرده‌ریزخواران که منبع تغذیه آنان بیشتر لایه‌های لاشبرگ می‌باشد کاهش یافته است (شکل ۳).

بررسی زیست‌توده کلی سطح‌های تغذیه‌ای با استفاده از آزمون t نشان‌دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار در بین دو تیمار بوده که میزان آن در منطقه آتش‌سوزی شده برابر با ۲/۳۵ و در منطقه شاهد ۱/۷۰ است (شکل ۵).

همچنین بررسی سطح‌های تغذیه‌ای خرده-ریزخواران به تفکیک گونه‌های شناسایی شده در دو منطقه نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در همه سطح‌های تغذیه‌ای به‌جز پادمان‌ها بوده است (جدول ۵).

در پژوهشی Pflug and Wolters (2001) بیان داشتند که خشک‌سالی سبب کاهش قابل‌توجهی در زیست‌توده و فعالیت عملکردی ماکروفون داشته و همچنین ۱۶ گونه از پادمان‌ها یا کولومبولا شناسایی شدند که فراوانی و غنای گونه کاهش یافته است و این مطلب بیان می‌کند که کولومبولا به رطوبت پایین و کیفیت بستر حساس بوده است.

مقایسه ماکروفون‌های سطوح تغذیه‌ای خرده-ریزخواران بیان داشته که زیست‌توده کرم خاکی و سخت بالپوشان در منطقه آتش‌سوزی شده نسبت به منطقه شاهد دارای افزایش بوده و هزارپا و خرخاکی و دیپلورا کاهش یافته است و پادمان‌ها دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (شکل ۵).

بندپایان به‌عنوان حلقه‌ای از زنجیره‌های غذایی خاک به‌طور غیرمستقیم تأثیر فراوانی بر مواد آلی و عنصر-های غذایی خاک می‌گذارند و تجزیه لاشریزه نیز به وجود آن‌ها وابسته است (Shayanmehr and Mehrafrooz, 2014).

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر ثابت شد که با گذشت ۵ سال پس از آتش‌سوزی، به غیر از شاخص یکنواختی و غلبه گونه‌ای، دیگر شاخص‌های تنوع زیستی جامعه‌های فون خاک، اختلاف معنی داری را میان جنگل شاهد با جنگل آتش سوزی شده نشان نمی دهند. این موضوع بیانگر این است که پس از گذشت ۵ سال از آتش سوزی، جنگل از نظر غنا، تنوع زیستی، بایوماس و فراوانی کلی جمعیت‌های فون خاک به حالت اولیه باز می گردد. همچنین، مقایسه جامعه‌های فون خاک در سطح‌های تغذیه‌ای نیز نشان داد که از میان همه گروه‌های سطح‌های تغذیه ای، موجود-های خرده‌ریزخوار نسبت به دیگران بیشترین آسیب و کاهش جمعیت را در اثر آتش‌سوزی متحمل می‌شوند.

پی‌نوشت‌ها

[1] Soil macrofauna
[2] Equitability

منابع

Andersen, D.C., 1987. Below-ground herbivory in natural communities: a review emphasizing fossorial animals. The Quarterly Review of Biology. 62(3), 261–286.

Auclerc, A., Le Moine, J.M., Hatton, P.J., Bird, J.A. and Nadelhoffer, K.J., 2019. Decadal post-fire succession of soil invertebrate communities is dependent on the soil surface properties in a northern temperate forest. Science of the Total Environment. 647, 1058–1068.

Badía, D. and Martí, C., 2003. Plant ash and heat intensity effects on chemicaland physical properties of two contrasting soils. Arid Land Research and Management. 17(1), 23–41.

Badía-Villas, D., González-Pérez, J.A., Aznar, J.M., Arjona-Gracia, B. and Martí-Dalmau, C., 2014. Changes in water repellency, aggregation and organic matter of a mollic horizon burned in laboratory: soil depth affected by fire. Geoderma. 213, 400–407 .

Callaham, M.A., Blair, J.M., Todd, T.C., Kitchen, D.J. and Whiles, M.R., 2003. Macroinvertebrates in North American tallgrass prairie soils: effects of fire, mowing, and fertilization on density and biomass. Soil Biology and Biochemistry. 35(8), 1079–1093.

Doamba, S.W., Savadogo, P. and Nacro, H.B., 2014. Effects of burning on soil macrofauna in a savanna-woodland under different experimental fuel load treatments. Applied Soil Ecology. 81, 37–44.

Emberlin, J.C., 1989. Introduction to Ecology. Macdonald & Evans, Plymouth. 308 pp.

Encinas, L.H., White, S.H., del Rey, A.M. and Sanchez, G.R., 2007. Modelling forest fire spread using hexagonal cellular automata. Applied mathematical modelling. 31(6), 1213–1227.

Farahi, E., Daryaei, M.G., Mohamadi Samani, K. and Amlashi, M.A., 2013. Review of fire sensitive areas with emphasis on drought impact with the joint use of PDSI, AHP and GIS (Case study: Forest Saravan, Guilan province). Iranian Journal of Forest and Range Protection Research. 10(2), 83–110. (In Persian with English abstract).

Flannigan, M.D., Amiro, B.D., Logan, K.A., Stocks, B.J. and Wotton, B.M., 2006. Forest fires and climate change in the 21st century. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 11(4), 847–859.

Gongalsky, K.B. and Persson, T., 2013. Recovery of soil macrofauna after wildfires in boreal forests. Soil Biology and Biochemistry, 57, 182–191.

Gongalsky, K.B., Gorshkova, I.A., Karpov, A.I. and Pokarzhevskii, A.D., 2008. Do boundaries of soil animal and plant communities coincide? A case study of a Mediterranean forest in Russia. European Journal of Soil Biology. 44(4), 355–363.

Hall, D.G. and Cherry, R.H., 1993. Effect of temperature in flooding to control the wireworm Melanotus communis (Coleoptera: Elateridae). Florida Entomologist. 155–160.

Hawksworth, D.L., 1995. Biodiversity: Measurement and Estimation. Chapman and Hall, Londan.

Heltshe, J.F. and Forrester, N.E. 1985. Statistical evaluation of the jackknife estimate of diversity when using quadrat samples. Ecology. 66:107–111.

Jafari, F., Kartoolinejad, D, Amiri, M., Shayanmehr, M. and Akbarian, M., 2017. Long term effect of oil mulch on richness and biodiversity of soil macro-fauna and vegetation in Jask, Iran. Arid Biome Scientific and Research Journal. 7(1), 27–38. (In Persian with English abstract).

Kartoolinejad, D., Najafi, A. and Kazemi-Najafi, S., 2017. Long-term impacts of ground skidding on standing trees: assessment of decay using stress waves. Environmental Engineering & Management Journal. 16(10), 2283–2291.

Kartoolinejad, D., Najafi, A. and Shayanmehr, M., 2013. Long term impacts of ground skidding on structure of soil macrofauna associations in Hyrcanian Beech Forests. Journal of Entomological Research. 5(2): 115–131. (In Persian with English abstract).

Kazemnezhad, F., Hasanpour Lima, A.R., Haghverdi, K. and Asadollahi, F., 2012. Plant biodiversity in the altitude gradient of forest north Iran (case study: 45 water shed). Natural Ecosystems of Iran. 2(3), 1–12. (In Persian with English abstract).

Khanmohammadi, M., Rahimi, M. and Kartoolinejad, D., 2016. Wildfires risk assessment of North-East Hyrcanyan forests of Iran by using Keetch-B-yram and Mc-Arthur indices. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research. 14 (1), 48–57.

Kheiri, M., Habashi, H., VaezMoosavi, S.M. and Moghimian, N., 2012. Effects of canopy gap on soil macrofauna in mixed beech stand (Case study in Shast- Kalate forest). Journal of Human and Environment. 10, 101–108.

Kling, L.J., Juliano, S.A. and Yee, D.A., 2007. Larval mosquito communities in discarded vehicle tires in a forested and unforested site: detritus type, amount, and water nutrient differences. Journal of Vector Ecology. 32(2), 207–217.

Kolovos, D., Rose, L., Paige, R. and Garcıa-Domınguez, A., 2010. The epsilon book. Structure, 178, 1-10.

Marozas, V., Plausinyte, E., Augustaitis, A. and Kaciulyte, A., 2011. Changes of ground vegetation and tree-ring growth after surface fires in Scots pine forests. Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis. 11(2), 156–162.

Matelck, C.R., 2001. Effects of prescribed burning on soil chemical properties and nutrient availability. Ashville, New York. 86–99.

Matelck, C.R., 2001. Effects of prescribed burning

on soil chemical properties and nutrient availability. Ashville, New York. 86–99 .

Mathieu, J., Rossi, J.P., Mora, P., Lavelle, P., Martins, P.D.S., Rouland, C. and Grimaldi, M., 2005. Recovery of soil macrofauna communities after forest clearance in Eastern Amazonia, Brazil. Conservation Biology. 19(5), 1598–1605.

McSorley, R., 1993. Short-term effects of fire on the nematode community in a pine forest. Pedobiologia (Germany).

Mehrafrooz Mayvan, M. and Shayanmehr, M., 2015. A Study on Faunestic, and Biodiversity and Population Dynamics of Edaphic Millipedes (Diplopoda) during Different Seasons in Semeskandeh Forests, Mazandaran Province, Iran. Journal of plant protection. 29(1), 113–122.

Miraki, M., Akbarinia, M., Ghazanfari, H., Ezzati, S. and Haidari, A., 2014. Presentation of management solutions for firefighting, using the decision support system at northern Zagros forests (Case study: Marivan forests). Iranian Journal of Forest and Poplar Research. 21(4), 742–755. (In Persian with English abstract).

Moslehi, M., Habashi, H. and Ahmadi, A., 2014. Effect of fire on physical, chemical and biological properties of soil in forest ecosystems. Journal of Human and Environment. 11, 31–41. (In Persian with English abstract).

Mugendi, D.N., Mwangi, M., Kung'u, J.B., Swift, M.J. and Albrecht, A., 2004. Soil invertebrate macrofauna composition within agroforestry and forested ecosystems and their role in litter decomposition in Embu, Kenya. CIAT.

Neary, D.G., Ryan, K.C. and DeBano, L.F., 2005. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 4. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 p.

Panzer, R., 2002. Compatibility of prescribed burning with the conservation of insects in small, isolated prairie reserves. Conservation Biology. 16(5), 1296–1307.

Pflug, A. and Wolters, V., 2001. Influence of drought and litter age on *Collembola* communities. European Journal of Soil Biology. 37(4), 305–308.

Pourreza, M., Hosseini, S.M., Safari Sinegani, A.A., Matinizadeh, M. and Dick, W., 2014. Effect of fire severity on soil macrofauna in Manna Oak coppice forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research. 21(4), 729–741. (In Persian with English abstract).

Prieto-Fernández, A., Acea, M.J. and Carballas, T., 1998. Soil microbial and extractable C and N after wildfire. Biology and Fertility of Soils. 27(2), 132–142.

Rahimi, D., Kartoolinejad, D., Nourmohammadi, K. and Naghdi, R., 2016. Increasing drought resistance of *Alnus subcordata* CA Mey. seeds using a nano priming technique with multi-walled carbon nanotubes. Journal of Forest Science. 62(6), 269–278.

Rahmani, R. and Saleh Rastin, N., 2000. Abundance, Vertical Distribution and Seasonal Changes in Earthworm Populations of Oak-Hombeam, Hombeam and Beech Forests in Neka, Caspian Forests, Iran. Iranian Journal of Natural Resources. 53(1), 37–52. (In Persian with English abstract).

Schwilk, D.W., Knapp, E.E., Ferrenberg, S.M., Keeley, J.E. and Caprio, A.C., 2006. Tree mortality from fire and bark beetles following early and late season prescribed fires in a Sierra Nevada mixed-conifer forest. Forest Ecology and

Management. 232, 36–45.

Shayanmehr, F., Jalali, S.G., Colagar, A.H., Zare, H., Kartoolinejad, D. and Yousefzadeh, H., 2018. Leaf cuticle and wax ultrastructure of genus *Alnus* Mill. in Hyrcanian forests of Iran. International Journal of Environmental Studies. 1–14.

Sheldon, A.L., 1969. Equitability indices: dependence on the species count. Ecology 50: 466–467.

Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. Nature. 163: 688.

Staley, J.T., Hodgson, C.J., Mortimer, S.R., Morecroft, M.D., Masters, G.J., Brown, V.K. and Taylor, M.E. 2007. Effects of summer rainfall manipulations on the abundance and vertical distribution of herbivorous soil macro-invertebrates. European Journal of Soil Biology. 43(3), 189–198.

Stoops, G., 1997. Application of micromorphological methods to the study of soil sequences in the tropics. In Libro de Ponencias, Congreso Extraordinario 50 Aniversario Sociedad Espanola de Ciencia del Suelo, Madrid, 145–159.

Yousefzadeh, H., Saidi, A., Tayebi, S., Kartoolinejad, D. and Naghdi, R., 2017. Molecular approach to determine taxonomic status of Septoria sp. causing leaf blotch of *Castanea sativa* in Hyrcanian forests. Journal of Forestry Research. 28(4), 661–670.

Environmental Sciences Vol.16 / No.3 / Autumn 2018

135-152

Effect of fire on the diversity and trophic levels of soil fauna in Hyrcanian forests after 5 years (case study: Galandroud forest)

Zeinab Ahmadi[1], Davoud Kartoolinejad[1*], Mariam Molashahy[1] and Masoumeh Shayanmehr[2]

[1] Department of Arid Land Forestry, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

[2] Department of Plant Protection, Faculty of Crop Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran

Received: 2017.12.16 Accepted: 2018.10.09

Ahmadi, Z., Kartoolinejad, D., Molashahy, M. and Shayanmehr, M., 2018. Effect of fire on the diversity and trophic levels of soil fauna in Hyrcanian forests after 5 years (case study: Galandroud forest). Environmental Sciences. 16 (3), 133-150.

Introduction: The diversity and abundance of soil fauna in the forest have an important role in nutrient cycle, and destructive factors (e.g., fire) would cause a disturbance in the balance of soil communities. In the current study, the effect of fire on biodiversity, richness, abundance, fresh biomass and trophic levels of soil-dwelling invertebrates in Galandroud forest were investigated and discussed.

Material and methods: This research was conducted in districts 20 and 21 of series 11 from watershed 48 of Natural Resources and Watershed Management Department of Nowshahr. Ten 30×30 cm quadrates with 30 cm depth were randomly placed in both fired and control forests (20 quadrates in total) across two distinct using hand-sorting methods. The soils were collected into a pan, and transferred to the laboratory for identification and measuring the fresh biomass after separating the fauna into plastic bags. Then, the fresh biomass of soil animals was separately measured using a digital balance (with an accuracy of 0.0001 g) and then identified at family and order levels. The PAST software was used to calculate the dominance, biodiversity and richness indices of the soil fauna. Statistical comparisons were done with independent sample t-test using SPSS software. Moreover, the trophic levels of the soil fauna were determined and the abundance and biomass of each five main trophic groups were investigated within two fired and control forests.

Results and discussion: Among the identified macrofauna, the earthworms were the most abundant. The abundance of almost all species was more in the control forests rather than the fire-burned ones, except for coleopteran beetles and the ants. The total biomass of trophic levels did not show any significant difference between the two forests, while it's amount in the burned and control forests was 2.35 and 1.70 $g.m^{-2}$, respectively. Among detritivore biomass, the biomass of earthworms and coleopteran beetles increased, while

* Corresponding Author. *E-mail Address*: kartooli58@semnan.ac.ir

it decreased for millipedes, slaters, and Diplura in the burned forests compared to the control. According to the similar studies that have been done so far, most faunal assemblages have shown a negative response to the fire in the short term, and then their populations revived or even increased compared to the control area.

Conclusion: The results revealed that almost all indices did not show a significant difference between fired and control forests after 5 years, with an exception for evenness and dominance. These findings reflect the restoration of the forest and soil fauna communities and return to the conditions before the fire. However, comparison of the faunal population at trophic levels showed that detritivores in the burned forests experienced the most reduction among all groups and damaged the most from the fire.

Keywords: Fire, Soil faunal biomass, Hyrcanian forests, Trophic levels, Biodiversity index, Detritivores.