مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال نهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۶
ص ۲۱۵-۲۳۱

تأثیر آتش‌سوزی بر تنوع گونه‌ای ماکروفون خاک (بررسی موردی: جنگل‌های سردشت، آذربایجان‌غربی)

مریم بخشنده سوادرودباری[۱]، رحیم ملک‌نیا[۲*]، عباس بانج شفیعی[۳]، محمدرضا زرگران[۴] و ضیاءالدین باده‌یان[۲]

[۱] دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
[۲] استادیارگروه جنگلداری، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
[۳] دانشیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه
[۴] استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۱۳)

چکیده

در میان جوامع اکولوژیکی، حشرات با توجه به حساسیتشان به تغییرات محیطی و نیازهای زیستگاهی به‌عنوان شاخص زیستی اختلال حاصل از آتش‌سوزی درنظر گرفته می‌شوند. در این تحقیق ارتباط بین فراوانی و تنوع زیستی ماکروفون خاک و گذشت زمان از وقوع آتش سوزی در جنگل‌های بلوط شهرستان سردشت استان آذربایجان‌غربی بررسی شد. به این منظور سه منطقهٔ سوخته‌شده در سال‌های ۹۳-۱۳۹۱ و سه منطقهٔ کنترل انتخاب شد. از هر یک از تیمارهای مورد بررسی تعداد ۱۵ نمونه خاک با ابعاد ۵۰ ×۵۰ سانتی‌متر از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت و از بررسی آنها در مجموع ۲۱۰ ماکروفون متعلق به ۱۸ راسته و ۲۷ خانواده جمع‌آوری شد. در تجزیه‌وتحلیل آماری برای داده‌های پیوسته از تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین‌های دانکن و برای داده‌های گسسته یا فراوانی از آزمون مربع کای استفاده شد. نتایج نشان داد آتش‌سوزی سبب کاهش غنای گونه‌ای ماکروفون خاک شده، ولی با گذشت زمان، دوباره غنا افزایش یافته‌است. همچنین راسته‌های Coleoptera و Diplura در تمامی مناطق مورد بررسی حضور داشتند و آتش‌سوزی بر راستهٔ Diplura تأثیری نداشته است. تأثیر زمانی آتش‌سوزی بر راستهٔ Coleoptera کاملاً مشهود بوده و با گذشت زمان از وقوع آتش‌سوزی بر فراوانی این راسته افزوده شده است. راسته‌های Diptera و مورچه‌ها (راستهٔ Hymenoptera) نیز با گذشت زمان به مناطق سوخته‌شده برگشته‌اند و فراوانی آنها افزایش یافته است. بنابر نتایج حاضر بازگشت دوبارهٔ حشرات به زیستگاهشان به مدت زمانی حدود یک تا دو سال به‌واسطهٔ بهبود شرایط میکروکلیمایی محیط و رویش دوبارهٔ گیاهان نیاز دارد.

واژه‌های کلیدی: بلوط ایرانی، راستهٔ حشرات، سخت‌بالپوشان، غنای گونه‌ای.

مقدمه

جنگل‌ها یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های کرهٔ خاکی هستند که عملکرد آنها، تأثیر مهمی در نگهداری تعادل اکولوژیکی دارد. سلامت جنگل در هر منطقه بیانگر شرایط اکولوژیکی متعادل در آن منطقه است (Zhang & Chen, 2007). آتش‌سوزی یکی از عوامل آشفتگی (Huebner et al., 2012) در بسیاری از اکوسیستم‌ها مانند جنگل است (Malmström et al., 2009). به‌طور کلی آتش‌سوزی اثرهای منفی بر خاک دارد و سبب کاهش مواد آلی (مثل

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۹۱۲۶۸۰۶۲۹۷
ایمیل: maleknia.r@lu.ac.ir

کربن و ازت کل)، کاهش ظرفیت نگهداری آب و افزایش pH، آبگریزی خاک، تخریب ساختار و تخلخل خاک و کاهش چشمگیر مواد غذایی از طریق تبخیر، آبشویی و فرسایش می‌شود (Loskova et al., 2013). آتش‌سوزی جنگل‌ها جریان کربن در اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین موجب تبدیل یکبارهٔ بیشتر درختان به ریزه‌های چوب می‌شود که این چوب‌های مرده نشان‌دهندهٔ زیستگاه‌هایی حیاتی برای تنوع بسیار زیاد گونه‌های هتروتروف به‌ویژه حشرات هستند (**Error! Reference source not found.**).

اثرهای غیرمستقیم آتش‌سوزی بر جانوران نه‌تنها توسط آتش‌سوزی و تغییرات متعاقب آن در زیستگاه از طریق توالی پس از آتش‌سوزی، بلکه از طریق اثرهای حاصل از آتش‌سوزی‌های متعدد به‌دلیل تأثیر فاصلهٔ آتش‌سوزی بر ویژگی‌های زیستگاهی نیز تعیین می‌شود (**Error! Reference source not found.**). در بسیاری از سیستم‌های جنگلی، موجودات زنده برای تجدید حیات به آتش‌سوزی وابسته‌اند؛ بنابراین، اثر آتش‌سوزی در اکوسیستم جنگل پیچیده است (Huebner et al., 2012). آتش‌سوزی پوشش گیاهی، تنوع زیستی (Gandhi et al., 2001; Jamshidi Bakhtar et al., 2014) و ترکیب گونه‌ها را تغییر می‌دهد (Moretti et al., 2004; Banj- Shafiei et al., 2007).

جوامع فون (جانوران) خاک به‌طور چشمگیری در تنوع زیستی جنگل‌ها نقش دارند و از نظر عملکردی نیز از موجودات مهم اکوسیستم‌های جنگلی‌اند (Behan-Pelletier & Newton, 1999). ماکروفون خاک شامل ارگانیسم‌هایی بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر است (Ayuke et al., 2009). با توجه به تنوع بسیار زیاد ماکروفون خاک از یک سو و ناشناخته بودن برخی از این گروه‌ها از سوی دیگر، بیشتر آنها در چارچوب گروه‌های شناخته‌شده‌تری مانند عنکبوت‌ها، مورچه‌ها، کرم‌های خاکی، موریانه‌ها، سوسک‌ها، صدپایان، هزارپایان، حلزون‌ها و لیسه‌ها بررسی می‌شوند که جایگاه ویژه‌ای در شاخهٔ بندپایان حشرات دارند (Brown et al., 2001). تأثیر آتش‌سوزی بر روی موجودات زندهٔ خاک پیچیده است، زیرا توزیع بندپایان کوچک خاک تحت تأثیر ویژگی‌های زیستگاهی کلان، مثل آب‌وهوا، خاک و انواع پوشش گیاهی و همچنین ویژگی‌های خرد محیطی مانند رطوبت و مواد آلی قرار می‌گیرد (Dindal, 1990). در میان جوامع اکولوژیکی حشرات با توجه به حساسیت آنها به تغییرات محیطی و نیازهای زیستگاهی به‌عنوان شاخص زیستی آتش‌سوزی در نظر گرفته می‌شوند (Villa-Castillo & Wagner, 2002). پاسخ بندپایان کوچک خاک به آتش‌سوزی بسته به نوع اکوسیستم و طیفی از کاهش شدید در غنا و فراوانی گونه‌ها (Kim & Jung, 2008) تا تأثیر به‌نسبت کم متفاوت است (Collett, 1998).

پایش اثر آتش در اکوسیستم‌های جنگلی بیشتر دربارهٔ پوشش گیاهی است و اثر آن بر فون خاک تا حدود زیادی ناشناخته مانده است و آگاهی چندانی دربارهٔ تغییر جمعیت و عملکرد آنها بعد از آتش وجود ندارد (Rousseau et al., 2010). به‌طور کلی فرض بر این است که احیای جانوران خاکی در جنگل، حداقل برای برخی از موجودات زنده‌ای که به یک لایهٔ آلی ضخیم و ریزاقلیم مرطوب برای رشد نیاز دارند، فرایندی کند، آهسته و وابسته به زمان پس از آتش‌سوزی است (Hylander, 2011).

Pourreza et al. (2014) در پژوهشی با عنوان «بررسی اثر شدت آتش‌سوزی بر ماکروفون خاک در جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط ایرانی» نشان دادند که در آتش‌سوزی ضعیف، تعداد کل ماکروفون خاک و ویژگی‌های مورد بررسی خاک تغییر معنی‌داری نداشته، ولی در سوختگی شدید کاهش معنی‌داری در ماکروفون خاک دیده شد و ویژگی‌های خاک نیز تغییر معنی‌داری یافت. Gongalsky and Persson (2013) نیز با بررسی احیای ماکروفون اندکی پس از آتش‌سوزی در جنگل‌های بورآل، دریافتند که فراوانی

کل و غنای گونه‌ای در مناطق نسوخته یک‌ونیم تا پنج برابر بیشتر از مناطق سوخته بود. همچنین پس از آتش‌سوزی بقای جانوران در لایه‌های عمیق خاک بهتر از گونه‌های سطحی خاک بوده است. Huebner et al. (2012) در بررسی توالی جوامع پادُمان (Collembola) بعد از آتش‌سوزی در جنگل پهن‌برگ منطقهٔ شمالی دریافتند که تغییر ترکیب جامعه به‌طور چشمگیری به زمان آتش‌سوزی، شدت سوختگی و سوختن لاشبرگ و افق‌های آلی خاک در طول آتش‌سوزی بستگی دارد و عامل اصلی تغییرات ترکیبی جامعهٔ پادُمان را ارتباط کاهش لاشبرگ با قدرت زیاد آتش‌سوزی عنوان کردند. Elia et al. (2012) در بررسی اثرهای پراکنش مکانی و زمانی آتش‌سوزی بر فراوانی حشرات در اکوسیستم‌های جنگلی مدیترانه‌ای و مقایسهٔ بین راستهٔ سخت‌بال‌پوشان (Coleoptera) و راستهٔ بال‌پولک‌داران (Lepidoptera) نشان دادند که از نظر تغییرات زمانی، تفاوت معنی‌داری بین فراوانی سخت‌بال‌پوشان و بال‌پولک‌داران در دو سال مطالعاتی در هر دو منطقهٔ سوخته و نسوخته، همراه با بالاترین سطح فراوانی در سال دوم بعد از آتش‌سوزی وجود دارد. Jung et al. (2010) با بررسی غنای گونه‌ای کنهٔ خاکی *Gamasid* (Acari: Mesostigmata) در رویشگاه‌های سوختهٔ کوهستانی، اظهار داشتند که جنس Parholaspidae با ۱۵ گونه، متنوع‌ترین خانواده و پس از آن Ascidae با ۹ گونه و Laelapidae با ۶ گونه در جایگاه‌های بعدی از نظر تنوع قرار داشتند و نیز به فقر فراوانی و غنای گونه‌ای در رویشگاه‌های به‌شدت سوخته در مقایسه با رویشگاه‌های کمتر آسیب‌دیده اشاره کردند.

جنگل‌های زاگرس شمالی به‌عنوان نقطهٔ شروع ناحیهٔ رویشی زاگرسی و گونه‌های درختی و درختچه‌ای متنوع‌تر، اهمیت ویژه‌ای دارد که در سالیان اخیر همانند نواحی دیگر تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار گرفته است. با وجود اهمیت یافتن خطر آتش‌سوزی، تاکنون تحقیقی دربارهٔ تأثیر آتش بر جمعیت ماکروفون خاک این مناطق انجام نگرفته است؛ بنابراین هدف بررسی حاضر، بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر تغییرات ماکروفون خاک از نظر تنوع و فراوانی با توجه به سال‌های سپری‌شده بعد از وقوع آتش‌سوزی است.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

جنگل‌های طبیعی استان آذربایجان غربی هرچند در قسمت‌هایی از شهرستان‌های پیرانشهر و مهاباد وجود دارد، بخش اعظم آن در شهرستان سردشت واقع شده و مساحت آن بین ۶۰ تا ۸۰ هزار هکتار و از نوع تنک طبقه‌بندی می‌شود. سه گونهٔ غالب بلوط *Quercus brantii*، *Q. infectoria* و *Q, libanii* در این استان از پراکنش زیادی در قسمت‌های مختلف برخوردارند. ارتفاع متوسط شهرستان سردشت از سطح دریا ۱۵۱۵ متر است. میانگین بارش سالانهٔ منطقه نیز ۷۲۴ میلی‌متر است (West Azerbaijan department of Natural Resources, 2013).

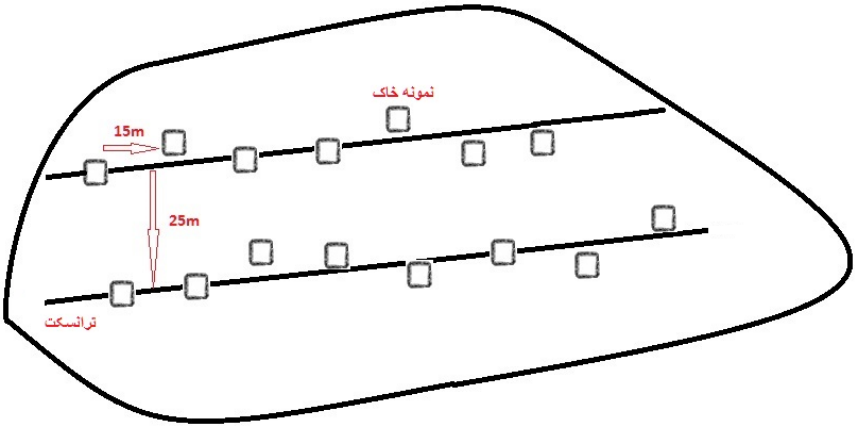
این پژوهش در جنگل‌های سردشت واقع در استان آذربایجان‌غربی انجام گرفت. مناطق انتخاب‌شده شامل سه منطقه با مختصات (۴۰۰۳۰۴۰: Y۱؛ ۵۴۴۵۵۹: X۱)، (۴۰۰۷۱۶۱: Y۲؛ ۵۴۲۶۹۸: X۲)، (۴۰۰۲۷۶۴: Y۳؛ ۵۴۴۴۱۵: X۳) در سیستم مختصات جغرافیایی UTM بودند که به‌ترتیب در سال‌های ۹۱، ۹۲ و ۹۳ دچار حریق نوع سطحی شده‌اند.

شیوه اجرای پژوهش

از هر یک از مناطق سوخته‌شده مساحتی معادل یک‌ونیم هکتار (تقریباً بیش از ۵۰ درصد کل سطح هر منطقه) در مرکز سطوح آتش‌گرفته با ابعاد ۱۰۰×۱۵۰ متر به‌منظور رعایت یکنواختی سطوح مورد بررسی انتخاب شد. با توجه به موجود نبودن داده‌های پیش از آتش‌سوزی، به‌منظور مقایسه، در جوار مناطق آتش‌سوزی‌شده با رعایت فاصلهٔ مناسب

(۳۰۰-۲۰۰ متر) به‌منظور حذف اثرهای حاشیه‌ای، مناطقی به همان تعداد و مساحت یکسان و با همان شرایط رویشگاهی و توپوگرافی انتخاب شد.

از هر یک از تیمارهای مورد بررسی تعداد ۱۵ نمونه خاک با ابعاد ۵۰ ×۵۰ سانتی‌متر از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر (Ruiz et al., 2008; Pourreza et al., 2014) در راستای دو خط‌نمونه به فواصل ۱۵ متر و در مجموع ۹۰ نمونه خاک (۶×۱۵) برداشت شد. فاصلهٔ بین خط‌نمونه‌ها ۲۵ متر و جهت آنها نیز شمالی- جنوبی در نظر گرفته شد (شکل ۱). ماکروفون موجود در این نمونه‌های خاک به‌روش دستی جدا شده (Ruiz et al., 2008; Pourreza et al., 2014) و در لوله‌های ویژهٔ دارای اتیل الکل ۷۵ درصد قرار داده شدند (Huebner, 2012). نمونه‌برداری از ماکروفون خاک در مهرماه ۱۳۹۴ صورت پذیرفت. نمونه‌های حشرات براساس راسته تا سطح خانواده و در صورت امکان تا سطح جنس و گونه توسط آزمایشگاه حشره‌شناسی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه ارومیه شناسایی شدند.



شکل ۱- وضعیت خط‌نمونه‌ها و موقعیت نمونه‌های خاک روی خط نمونه‌ها در مناطق مورد بررسی

شاخص‌های تنوع و یکنواختی سیمپسون و شانون و نیز غنای گونه‌ای جک‌نایف با استفاده از نرم‌افزار Ecological methodology 6.0 محاسبه شدند (Schowalter, 1996).

به‌منظور بررسی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، در هر منطقه تعداد سه نمونه به‌صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، از بین ۱۵ نمونهٔ خاکی که برای بررسی ماکروفون جمع‌آوری شده بودند، انتخاب و برداشت شدند (در مجموع ۱۸ نمونه خاک). نمونه ها پس از برداشت در هوای آزاد خشک شده و ریشه ها، برگ و اجسام دیگر با دست از خاک خارج شدند. در مرحلهٔ بعد نمونه‌ها آسیاب شده و از الک دومیلی‌متری عبور داده شدند و مشخصاتی مانند بافت به روش هیدرومتری، اسیدیته و هدایت الکتریکی به روش عصاره با نسبت یک به پنج، نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر قابل جذب با بی‌کربنات سدیم نیم‌مولار و پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم یک نرمال در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند (Kalra & Maynard, 1991).

روش تحلیل

در تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS 21 استفاده شد. ابتدا با استفاده از دستور BoxPlot داده‌های پرت شناسایی و حذف شدند. سپس بررسی نرمال‌بودن پراکنش داده‌ها با استفاده از آزمون

کولموگروف-اسمیرنف انجام گرفت. به‌دلیل نرمال بودن داده‌ها برای شاخص‌های تنوع، یکنواختی و مشخصه‌های خاک از آنالیز تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین دانکن و برای فراوانی راسته‌های ماکروفون از آزمون مربع کای استفاده شد.

نتایج

در مجموع ۲۱۰ نمونه ماکروفون متعلق به ۱۸ راسته (Order) و ۲۷ خانواده (Family) در طول دورهٔ بررسی جمع‌آوری شد (جدول ۱) که Coleoptera با هشت خانواده فراوان‌ترین راسته در بین نمونه‌های جمع‌آوری‌شده بود. Geophilomorpha و Julida نیز با دو خانواده و دیگر راسته‌ها هر یک با یک خانواده کمترین فراوانی را به خود اختصاص دادند. براساس جدول ۱، ماکروفون‌های جمع‌آوری‌شده از مناطق مورد بررسی به‌طور کلی شش ردهٔ حشرات (Insecta)، عنکبوتیان (Arachnida)، صدپایان (Chilopoda)، هزارپایان (Diplopoda)، درون‌آروارگان (Entognatha)، نرم‌زرهیان (Malacostraca)، همچنین ۱۸ راستهٔ قاب بالان یا سخت‌بال‌پوشان (Coleoptera)، پولک‌بالان (Lepidoptera)، بال‌غشاییان (Hymenoptera)، دوبالان (Diptera)، سیخچه‌دمان یا دم‌موئی (ماهی نقره‌ای) (Thysanura)، نیم‌بالان (Hemiptera)، راست‌بالان (Orthoptera)، جوربالان یا موریانه‌ها (Isoptera)، توربافان یا تارتنان (Embioptera)، عنکبوت (Araneae)، شکم‌پایان (Gastropoda)، عقرب یا کژدم (Scorpion)، عنکبوت‌های شتری (Solifugae)، Geophilomorpha، Julida، دم‌چنگالیان (Diplura)، جورپایان (Isopoda)، Neuroptera، و ۲۷ خانوادهٔ سوسک خاکزی (Carabidae)، سوسک سرگین غلتان (Scarabaeidae)، سوسک شاخک‌دراز (Cerambycidae)، شاپرکان جغدی (Noctuidae)، مورچه (Formicidae)، سوسک برگ‌خوار (Chrysomelidae)، عنکبوت درازتاریس (Prodidomidae)، Sciomyzidae، Elateridae، Maindroniidae، Cydnidae، Gryllidae، موریانه (Rhinotermitidae)، Staphylinidae، Scorpionidae، رتیل (Solpugidae)، Linotaeniidae، Geophilidea، Blaniulidae،Julidae، Japygidae، Oniscidae، Tenabrionidae، Curculionidae، حلزون (Helicidae)، مورچه‌خوار (Myrmeleontidae) را شامل می‌شوند.

همچنین از بین نمونه‌های جمع‌آوری‌شده دو راستهٔ Coleoptera و Diplura در تمامی مناطق مورد بررسی حضور داشتند. راستهٔ Hymenoptera در تمامی مناطق به‌جز منطقهٔ سوخته‌شده در سال ۹۳، راستهٔ Gastropoda نیز در همهٔ مناطق مورد بررسی به‌جز منطقهٔ سوخته‌شده در سال ۹۲، راستهٔ Diptera در تمامی مناطق مورد بررسی سال‌های ۹۱ و ۹۲ و راستهٔ Thysanura نیز فقط در مناطق مورد بررسی سال ۹۳ حضور داشتند (جدول ۱).

براساس پراکنش خانواده می‌توان گفت که خانوادهٔ Japygidae در تمامی مناطق بررسی‌شده، Scarabaeidae و Formicidae در تمامی مناطق مورد بررسی به‌جز منطقهٔ سوختهٔ ۹۳، Helicidae در تمامی مناطق مورد بررسی به‌جز منطقهٔ سوختهٔ ۹۲، Sciomyzidae فقط در مناطق مورد بررسی سال ۹۲، Maindroniidae و Julidae فقط در مناطق مورد بررسی سال ۹۳ و خانواده‌های Blaniulidae، Cydnidae، Solpugidae، Rhinotermitidae، Gryllidae و Curculionidae فقط در مناطق کنترل و خانواده‌های Staphylinidae، Scorpionidae، Chrysomelidae و Myrmeleontidae فقط در مناطق سوخته وجود داشتند (جدول ۱).

براساس پراکنش جنس نیز جنس‌های Aderelus، Helicovera، Pachymerium، Poecilus و Gryllus فقط در مناطق شاهد، Tenebrio،Chrysolina، Eodorcadion و Quedius فقط در مناطق سوخته مشاهده شدند (جدول ۱).

براساس جدول ۱، بیشترین مقدار میانگین

شاخص‌های تنـوع و یکنـواختی سیمپسـون و شـانون فقط مربوط به منطقهٔ کنترل سال ۹۱ است. کمتـرین مقـدار میـانگین شـاخص تنـوع سیمپسـون و شـانون مربوط به منطقهٔ سوختهٔ سـال ۹۳ و کمتـرین مقـدار میانگین شاخص یکنواختی سیمپسـون مربـوط بـه دو منطقـهٔ سـوختهٔ ۹۱ و کنتـرل ۹۳ و کمتـرین مقـدار میـانگین یکنـواختی شـانون نیـز مربـوط بـه منطقـهٔ سوختهٔ سال ۹۱ است.

جدول ۱- فهرست ماکروفون‌های موجود در مناطق مورد بررسی براساس طبقه‌بندی علمی

مناطق	Class(رده)	Order(راسته)	Family(خانواده)	Genus(جنس)	Species(گونه)
	Insecta	Coleoptera	Carabidae	Poecilus	
	Insecta	Coleoptera	Carabidae	Aderelus	
	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae		
	Insecta	Coleoptera	Cerambycidae		
	Insecta	Lepidoptera	Noctuidae	Helicovera	
	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Formica	
کنترل ۹۱	Insecta	Diptera			
	Chilopoda	Geophilomorpha	Geophilidae	Pachymerium	
	Malacostraca	Isopoda	Oniscidae	Oniscus	
	Entognatha	Diplura	Japygidae	Eojapyx	
	Arachnida	Araneae	Prodidomidae		
	Insecta	Gastropoda	Helicidae	Helicella	
	Insecta	Coleoptera	Carabidae	Amara	
	Insecta	Coleoptera	Tenabrionidae	Tenebrio	
	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae		
سوختهٔ ۹۱	Insecta	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysolina	*Chrysolina rossia*
	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Formica	
	Insecta	Diptera			
	Insecta	Neuroptera	Myrmeleontidae		
	Entognatha	Diplura	Japygidae	Eojapyx	
	Insecta	Gastropoda	Helicidae	Helicella	
	Insecta	Coleoptera	Tenabrionidae		
	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae	Maladera	
	Insecta	Coleoptera	Curculionidae		
	Insecta	Coleoptera	Elateridae		
	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Formica	
کنترل ۹۲	Insecta	Diptera			
	Insecta	Diptera	Sciomyzidae		
	Chilopoda	Geophilomorpha	Linotaeniidae		
	Diplopoda	Julida	Blaniulidae		
	Entognatha	Diplura	Japygidae	Eojapyx	
	Insecta	Gastropoda	Helicidae	Helicella	
	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae		
	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae	Maladera	
	Insecta	Coleoptera	Cerambycidae		
	Insecta	Coleoptera	Cerambycidae	Eodorcadion	
سوختهٔ ۹۲	Insecta	Coleoptera	Elateridae		
	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Formica	
	Insecta	Diptera			
	Insecta	Diptera	Sciomyzidae		
	Malacostraca	Isopoda	Oniscidae	Oniscus	
	Entognatha	Diplura	Japygidae		

ادامه جدول ۱

مناطق	Class(رده)	Order(راسته)	Family(خانواده)	Genus(جنس)	Species(گونه)
	Insecta	Coleoptera	Carabidae		
	Insecta	Coleoptera	Carabidae	Amara	
کنترل ۹۳	Insecta	Coleoptera	Carabidae (Harpalinae)	Calathus	
	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae		
	Insecta	Coleoptera	Cerambycidae		
	Insecta	Coleoptera	Elateridae		
	Insecta	Lepidoptera			
	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Formica	
	Insecta	Thysanura	Maindroniidae	Maindronia	
	Insecta	Hemiptera	Cydnidae		
	Insecta	Orthoptera	Gryllidae	Gryllus	
	Insecta	Isoptera	Rhinotermitidae		
	Chilopoda	Geophilomorpha	Geophilidea		
	Chilopoda	Geophilomorpha	Linotaeniidae		
	Chilopoda	Geophilomorpha	Geophilidea	Dachymerium	
	Diplopoda	Julida	Julidae		
	Diplopoda	Julida	Julidae	Julus	
	Diplopoda	Julida	Blaniulidae		
	Entognatha	Diplura	Japygidae	Eojapyx	
	Arachnida	Araneae	Prodidomidae		
	Arachnida	Solifugae	Solpugidae		
	Insecta	Gastropoda	Helicidae	Helicella	
	Insecta	Coleoptera	Carabidae (Harpalinae)	Calathus	
	Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	Quedius	
	Insecta	Lepidoptera	Noctuidae		
	Insecta	Thysanura	Maindroniidae	Maindronia	
	Insecta	Embioptera			
	Chilopoda	Geophilomorpha			
	Chilopoda	Geophilomorpha	Geophilidea		
سوختهٔ ۹۳	Chilopoda	Geophilomorpha	Linotaeniidae		
	Chilopoda	Geophilomorpha	Geophilidea	Dachymerium	
	Diplopoda	Julida	Julidae	Julus	
	Malacostraca	Isopoda	Oniscidae	Oniscus	
	Entognatha	Diplura	Japygidae	Eojapyx	
	Arachnida	Araneae	Prodidomidae		
	Arachnida	Scorpion	Scorpionidae		
	Insecta	Gastropoda	Helicidae	Helicella	

نتایج تجزیه واریانس (بدون درنظر گرفتن منطقهٔ سوخته سال ۹۳) نشان داد که بین میانگین شاخص‌های فوق‌الذکر در مناطق مورد بررسی، به‌احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین به‌همراه اشتباه معیار شاخص‌های تنوع و یکنواختی راسته‌های ماکروفون خاک در مناطق مورد بررسی

مناطق مورد بررسی	میانگین شاخص تنوع سیمپسون	میانگین شاخص یکنواختی سیمپسون	میانگین شاخص تنوع شانون	میانگین شاخص یکنواختی شانون
سوختهٔ ۹۱	۰/۵۴±۰/۱۷۷ a	۰/۷۵±۰/۳۶۷ a	۱/۰۸±۰/۰۷۷ a	۰/۷۱±۰/۱۷۰ a
کنترل ۹۱	۰/۷۷±۰/۰۶۵ a	۰/۸۳±۰/۰۶۷ a	۱/۴۴±۰/۰۶۵ a	۰/۹۱±۰/۰۴۰ a
سوختهٔ ۹۲	۰/۶۶±۰/۰۸۶۹ a	۰/۸۲±۰/۳۱۰ a	۱/۱۷±۰/۰۴۴ a	۰/۸۸±۰/۰۳۴ a
کنترل ۹۲	۰/۶۳±۰/۱۲۰ a	۰/۷۵±۰/۳۱۱ a	۱/۲۹±۰/۰۰۶ a	۰/۸۳±۰/۰۵۶ a
سوختهٔ ۹۳*	۰/۵۰	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۸۱
کنترل ۹۳	۰/۵۹±۰/۱۰۱ a	۰/۷۵±۰/۱۷۸	۱/۱۴±۰/۰۹۲ a	۰/۸۰±۰/۰۸۸ a

* در منطقهٔ سوختهٔ ۹۳ فقط در یکی از تکرارها ماکروفون مشاهده شد.

-حروف مشابه نشان‌دهندهٔ عدم اختلاف معنی‌دار در α=۰/۰۵ است.

بیشترین مقدار اسیدیتهٔ خاک با مقدار عددی ($-\log H^+$) ۸/۴۳ به منطقهٔ سوختهٔ ۹۳ و کمترین مقدار این خصوصیت شیمیایی خاک با مقدار عددی ۷/۷۲ به دو منطقهٔ سوخته ۹۲ و کنترل ۹۳ اختصاص دارد. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که بین میانگین مشخصه‌های خاک در مناطق مورد بررسی به‌جز pH، به‌احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۳).

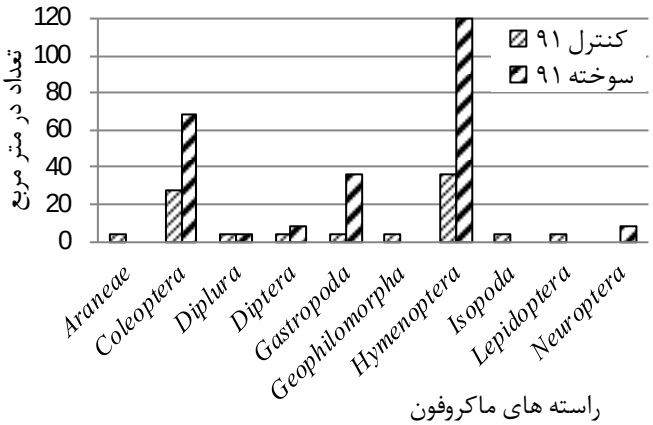
جدول ۳- میانگین به‌همراه اشتباه معیار مشخصه‌های خاک در مناطق مورد بررسی

مناطق مورد بررسی	N%	P(mg/kg)	K(mg/kg)	EC(µS/cm)	pH ($-\log H^+$)
سوختهٔ ۹۱	۰/۱۲ ±۰/۰۲۲ a	۱۴/۰۴±۱/۵۱۲ a	۷۶۳/۷۲±۵۴/۲۳۳ a	۰/۸۷±۰/۰۲۸ a	۸/۱۸±۰/۱۵۰ ab
کنترل ۹۱	۰/۱۱ ±۰/۰۳۱ a	۴۴/۲۳±۱۳/۵۵۵ a	۸۵۷/۸۱±۵۴/۰۹۸ a	۰/۷۲±۰/۱۱۵ a	۸/۲۰±۰/۱۰۳ ab
سوختهٔ ۹۲	۰/۱۶±۰/۰۴۴ a	۴۱/۴۵±۴/۳۲۵ a	۸۲۳/۵۹±۱۱۳/۷۳۴ a	۰/۸۷±۰/۰۹۶ a	۷/۷۲±۰/۰۵۴ c
کنترل ۹۲	۰/۱۳±۰/۰۴۳ a	۴۸/۶۰±۱۴/۷۰۷ a	۶۹۵/۲۹±۱۷۵/۵۰۵ a	۰/۶۸±۰/۰۸۲ a	۷/۸۲±۰/۱۰۹ bc
سوختهٔ ۹۳	۰/۱۰±۰/۰۳۱ a	۳۸/۰۷±۱۴/۳۵۳ a	۸۴۰/۷۰±۱۰۶/۸۳۴ a	۰/۷۳±۰/۰۸۱ a	۸/۴۳±۰/۰۸۱ a
کنترل ۹۳	۰/۱۱±۰/۰۳۶ a	۱۱/۵۶±۰/۹۲۶ a	۶۸۶/۷۳±۲۰/۹۵۲ a	۰/۶۹±۰/۰۹۵ a	۷/۷۲±۰/۲۷۰ c

-حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار و حروف مشابه نشان‌دهندهٔ عدم اختلاف معنی‌دار در سطح α=۰/۰۵ است.

براساس شکل ۲، بیشترین فراوانی ماکروفون خاک در منطقهٔ کنترل ۹۱ مربوط به راستهٔ Hymenoptera (۳۰ درصد) و پس از آن راستهٔ Coleoptera (۲۳ درصد) است. بقیهٔ راسته‌های موجود در این منطقه شامل Lepidoptera، diptera، Isopoda، Diplura، Araneae، Geophilomorpha است و راستهٔ Gastropoda از فراوانی یکسانی برخوردارند (۳ درصد). در منطقهٔ سوخته‌شدهٔ ۹۱ نیز همانند منطقهٔ کنترل بیشترین فراوانی ماکروفون خاک مربوط به راستهٔ Hymenoptera (۱۰۰ درصد) و پس از آن راستهٔ Coleoptera (۵۷ درصد) است و پس از آنها راسته‌های Gastropoda (۳۰ درصد)، diptera (۷ درصد) و Neuroptera (۷ درصد) و نیز Diplura (۳ درصد) در رتبه‌های بعدی جای گرفته‌اند. شایان ذکر است که راسته‌های Lepidoptera، Isopoda، Araneae و Geophilomorpha فقط در منطقهٔ

کنتـــرل و راســـتهٔ Neuroptera فقـــط در منطقـــهٔ سوختهشده وجود داشته است. بـا توجـه بـه شـکل ۲ میتوان دریافت که بیشترین فراوانی ماکروفون خـاک در منطقهٔ سوخته وجود دارد. نتایج آزمون مربع کـای نیز نشان داد کـه بـین فراوانـی مجمـوع راسـتههـای ماکروفون مناطق کنترل و سوختهٔ ۹۱ بـهاحتمـال ۹۵ درصد اختلاف معنیدار وجود دارد (جدول ۴).



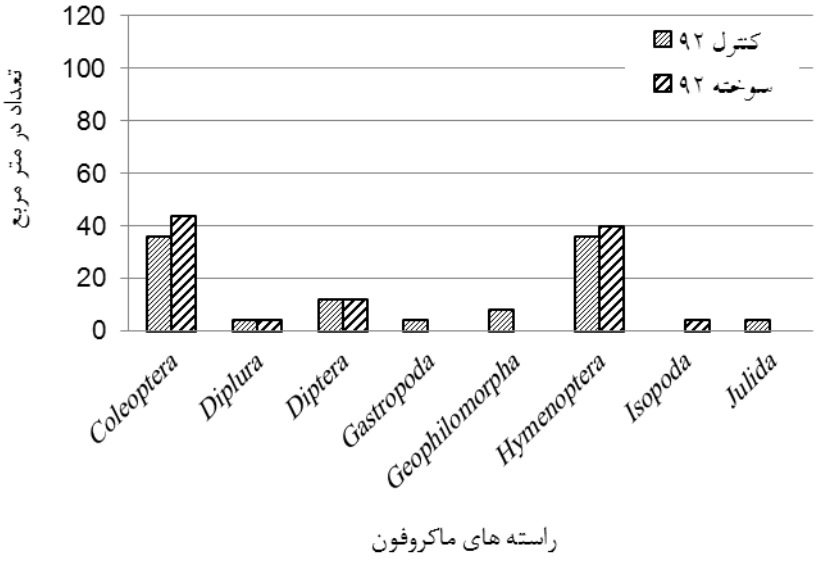
شکل ۲- فراوانی راستههای ماکروفون سه سال پس از آتشسوزی در مناطق مورد بررسی

جدول ۴- نتایج آزمون مربع کای فراوانی مجموع راستههای ماکروفون بین مناطق سوختهشده و کنترل

مناطق	فراوانی	درجهٔ آزادی	مربع کای	Sig.
کنترل ۹۱	۸۸	۱	۴۸/۶۵	۰/۰۰۰
سوختهٔ ۹۱	۲۰۸			
کنترل ۹۲	۱۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱
سوختهٔ ۹۲	۱۰۰			
کنترل ۹۳	۱۸۰	۱	۴۲/۲۵	۰/۰۰۰
سوختهٔ ۹۳	۷۶			

براساس شکل ۳، بیشترین فراوانی ماکروفون خاک در منطقـهٔ کنتـرل ۹۲ مربـوط بـه راسـتههـای Hymenoptera و Coleoptera اسـت (۳۰ درصـد) و پس از این دو راسته، بـهترتیـب راسـتههـای diptera (۱۰ درصد) و Geophilomorpha (هفت درصد) قـرار دارند و راسـتههـای Diplura، Julida و Gastropoda نیـز از فراوانـی یکسـانی در منطقـه برخوردارنـد (۳ درصـد). راسـتههـای Coleoptera (۳۷ درصـد)، Hymenoptera (۳۳ درصـد) و diptera (۱۰ درصـد) نیـز بـهترتیـب بیشـترین فراوانـیهـا را در منطقـهٔ سوختهشدهٔ ۹۲ بهخود اختصاص دادهانـد و دو راسـتهٔ Diplura و Isopoda نیز از نظر فراوانی بهطور یکسـان در پایینتـرین رتبـه قـرار دارنـد (۳ درصـد). Julida، Geophilomorpha و Gastropoda تنهـا راسـتههـای موجـود در منطقـهٔ کنتـرل هسـتند کـه در منطقـهٔ سـوختهشـدهٔ ۹۲ دیـده نشـدند و Isopoda نیـز تنهـا راستهٔ منطقهٔ سوختهشده بود کـه در منطقـهٔ کنتـرل ۹۲ وجود نداشت. نتایج آزمون مربع کـای نیـز نشـان

داد که بین فراوانی مجموع راسته‌های ماکروفون در مناطق کنترل و سوختهٔ ۹۲ به‌احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد (جدول ۴).



شکل ۳- فراوانی راسته‌های ماکروفون دو سال پس از آتش‌سوزی در مناطق مورد بررسی

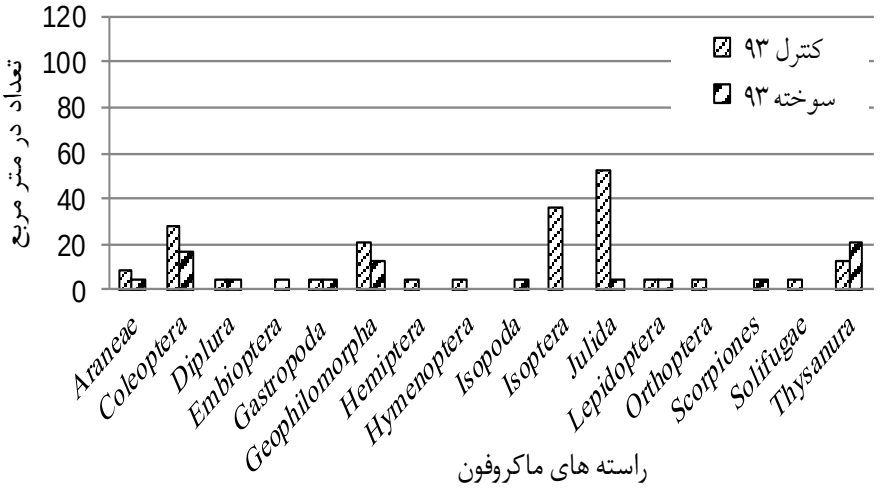
شکل ۴ نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی در بین راسته‌های موجود در منطقهٔ کنترل به‌ترتیب مربوط به Julida (۴۳ درصد)، Isoptera (۳۰ درصد)، Coleoptera (۲۳ درصد)، Geophilomorpha (۱۷ درصد)، Thysanura (۱۰ درصد) و در نهایت Araneae (۷ درصد) است و دیگر راسته‌های موجود مانند Lepidoptera، Hymenoptera، Hemiptera، Orthoptera، Diplura، Solifugae و Gastropoda با فراوانی یکسان (۳ درصد) در منطقه از پایین‌ترین رتبه در فراوانی برخوردارند.

در منطقهٔ سوخته‌شده نیز بیشترین فراوانی به‌ترتیب مربوط به راسته‌های Thysanura، Coleoptera و Geophilomorpha است و دیگر راسته‌های موجود مانند Lepidoptera، Embioptera، Isopoda، Diplura، Julida، Scorpiones و Gastropoda با فراوانی یکسان در منطقه از پایین‌ترین رتبه در فراوانی برخوردارند.

شایان ذکر است که راسته‌های Hymenoptera، Hemiptera، Orthoptera و Solifugae تنها در منطقهٔ کنترل و راسته‌های Embioptera، Scorpiones و Isopoda تنها در منطقهٔ سوخته‌شده حضور داشتند. با توجه به شکل ۴ فراوانی در منطقهٔ کنترل نسبت به منطقهٔ سوخته‌شده بیشتر است. نتایج آزمون مربع کای نیز نشان داد که بین فراوانی مجموع راسته‌های ماکروفون در مناطق کنترل و سوختهٔ ۹۳ به‌احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۴).

مقایسهٔ غنای گونه‌ای ماکروفون خاک نشان داد که مقدار غنای گونه‌ای ماکروفون خاک در مناطق مختلف متفاوت بود. با توجه به تعداد نمونه (۱۵ نمونه خاک در هر منطقه) استفاده از روش جک‌نایف در تعیین غنای گونه‌ای تأیید می‌شود. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار غنای گونه‌ای به‌ترتیب با ۱۴ و ۵ گونه مربوط به مناطق کنترل ۲۰۱۴ و سوخته‌شده در سال ۲۰۱۳ بوده است. به‌دلیل اینکه این روش کاملاً تحت تأثیر گونه‌های نادر (کمیاب) بوده و در انجام محاسبه نیز یک گونه به‌عنوان گونهٔ

نادر درنظر گرفته می‌شود (جدول ۵)، از این‌رو با کم کردن عدد یک، مقدار غنای گونه‌ای برای همهٔ مناطق مطابق با مقدار مشاهده‌شده است.



شکل ۴- فراوانی راسته‌های ماکروفون یک سال پس از آتش‌سوزی در مناطق مورد بررسی

جدول ۵- غنای گونه‌ای ماکروفون خاک مناطق مورد بررسی به روش جک‌نایف

مناطق مورد بررسی	غنای گونه‌ای	گونهٔ نادر	محدودهٔ اطمینان ۹۵ درصد		خطای استاندارد
			حد بالا	حد پایین	
منطقهٔ کنترل ۱۳۹۱	۱۰/۰۰	۱	۱۱/۹	۸/۰۰	۰/۹۷
منطقهٔ سوختهٔ ۱۳۹۱	۷/۰۰	۱	۸/۹	۵/۰۰	۰/۹۷
منطقهٔ کنترل ۱۳۹۲	۸/۰۰	۱	۹/۹	۶/۰۰	۰/۹۷
منطقهٔ سوختهٔ ۱۳۹۲	۵/۰۰	۱	۶/۹	۳/۰۰	۰/۹۷
منطقهٔ کنترل ۱۳۹۳	۱۴/۰۰	۱	۱۵/۹	۱۲/۰۰	۰/۹۷
منطقهٔ سوختهٔ ۱۳۹۳	۱۲/۰۰	۱	۷/۹	۴/۰۰	۰/۹۷

بحث

براساس نتایج حاصل از غنای گونه‌ای، مناطق سوخته‌شدهٔ مورد بررسی از غنای گونه‌ای کمتری نسبت به مناطق کنترل برخوردار بوده‌اند، به‌طوری‌که وقوع حریق سبب کاهش غنای ماکروفون‌های خاک در مناطق سوخته‌شده نسبت به مناطق کنترل شده است، ولی تأثیر زمانی آتش‌سوزی روی این موجودات خاکزی سبب شد تا با سپری شدن سال‌هایی از زمان وقوع آتش‌سوزی بار دیگر بر غنای آنها اضافه شود.

نتایج به‌دست‌آمده از ماکروفون‌های نمونه برداری‌شده نشان داد که دو راستهٔ Coleoptera و Diplura در تمامی مناطق مورد تحقیق حضور داشتند و عامل آتش‌سوزی بر راستهٔ Diplura تأثیری نداشته است، به‌طوری‌که در هر سه سال مورد بررسی از مناطق مورد نظر، فراوانی این راسته در هر دو منطقهٔ کنترل و سوخته‌شده کاملاً یکسان بوده است.

اما در مورد راستهٔ سخت‌بال‌پوشان (Coleoptera) تأثیر زمانی آتش‌سوزی کاملاً مشهود است، به‌طوری‌که در اولین سال پس از آتش‌سوزی فراوانی این راسته کمتر از منطقهٔ کنترل بوده، ولی دو سال بعد این فراوانی در منطقهٔ سوخته بیشتر از منطقهٔ کنترل شد. با توجه به شکل ۲ کاملاً واضح است که فراوانی این راسته در سال سوم پس از آتش‌سوزی، در منطقهٔ سوخته‌شده نسبت به منطقهٔ کنترل و حتی نسبت به سال‌های گذشته به‌شدت افزایش یافته است. احتمالاً این کاهش فراوانی در سوسک‌های سخت بال‌پوش در سال‌های اولیه به‌علت افزایش دمای حاصل از آتش‌سوزی و از بین رفتن شکار و بستر است. این نتیجه با نتایج York (1999)؛ Nunes et al.(2000) و Elia et al.(2011) همسوست؛ که این پژوهشگران نیز به اثر منفی آتش‌سوزی بر فراوانی راستهٔ Coleoptera اشاره کرده‌اند. در ضمن افزایش فراوانی این سوسک‌ها در سال‌های بعد را می‌توان به‌علت تغییرات اکوسیستم و بازگشت گیاهان در منطقهٔ سوخته دانست (Ewers et al., 2009; Lafortezza et al., 2010; Tanentzap et al., 2010). شایان ذکر است که راسته‌های حشرات پروازی (Diptera) و مورچه‌ها از راستهٔ Hymenoptera با گذشت زمان به مناطق سوخته‌شده برگشته و فراوانی آنها افزایش یافته است. در تأیید نتیجهٔ پژوهش حاضر، Michaels (2007) نیز بیان کرده است که آتش‌سوزی سرعت استقرار حشرات پروازی را در منطقه افزایش می‌دهد. Beaumont et al. (2012) نیز دریافتند که فراوانی مورچه‌ها در مناطق سوخته‌شده بسیار بیشتر از مناطق سوخته‌نشده است و نیز دریافتند که مدت زمان ماندگاری این افزایش فراوانی مورچه‌ها در مناطق سوخته‌شده نسبت به مناطق سوخته‌نشده ۲۶ تا ۵۰ ماه (تقریباً دو تا چهار سال) خواهد بود. آنها دلایل افزایش فراوانی جمعیت مورچه‌ها را تغییر در اندازهٔ جمعیت‌های چراکننده و افزایش بازده به دام انداختن مورچه‌ها به‌سبب کاهش پوشش گیاهی کف زمین و لاشبرگ‌ها عنوان کردند، اگرچه ریزش تاج‌پوشش سوخته‌شده ممکن است اثرهای تله‌گذاری را کاهش و به‌دام انداختن مورچه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. با این حال آنها اصلی‌ترین تأثیرات در فراوانی مورچه‌ها را تغییرات وسیع در ساختار زیستگاهی و تغییر شرایط غیرزندهٔ محیط ناشی از آتش‌سوزی بیان داشته‌اند.

نتایج حاصل از مطالعه‌های خاک‌شناسی نیز نشان داد که علت معنی‌دار نشدن تفاوت غلظت عناصر خاکی بررسی‌شده ممکن است شدت کم آتش‌سوزی و سطحی بودن آن باشد، به‌طوری‌که تأثیر عمدهٔ آتش‌سوزی بیشتر روی قسمت‌های پایینی گیاهان بوده است و قسمت‌های بالاتر و تاج درختان (مشاهدات میدانی) مناطق مورد بررسی را دربر نگرفته بود. Pourreza et al. (2014) نیز در نتایج خود عنوان کردند که سوختگی ضعیف نسبت به جایگاه سوخته‌نشده نه‌تنها تغییر معنی‌داری در ویژگی‌های خاک نداشته، بلکه بر حضور نوع ماکروفون خاک نیز تأثیر معنی‌داری نداشته است. این در حالی است که Lin et al. (2003) دریافتند که مادهٔ آلی خاک و نیتروژن کل تأثیر زیادی بر نماتدها، کنه‌ها و سوسک‌ها دارند. Li Wei et al. (2013) نیز بیان داشتند که فسفر کل اثر به نسبت قوی بر لارو سخت بال‌پوشان دارد. Yin et al. (2015) نیز به این نتیجه دست یافتند که لارو Curculionidae ،Scarabaeidae و Formicidae همبستگی مثبتی با نیتروژن کل، pH، فسفر، پتاسیم و نیتروژن در دسترس دارند. درحالی‌که Staphylinidae همبستگی مثبتی با رطوبت خاک دارد. همچنین شاید یکی از دلایل کاهش فراوانی ماکروفون خاک در سال ۱۳۹۳ نسبت به سال‌های دیگر، قلیایی شدن زیاد باشد، به‌طوری‌که ممکن است این افزایش اثر سمی بر موجودات زندهٔ خاک داشته باشد و با کاهش مقدار قلیایی بودن خاک در سال‌های بعد، شاهد بازگشت دوبارهٔ ماکروفون خاک به زیستگاه خود خواهیم بود. Yin et al. (2015) نیز دریافتند که

رطوبت و pH خاک فاکتورهای اساسی تأثیرگذار بر ماکروفون خاک هستند.

با توجه به نتایج جدول ۱ می‌توان دریافت که تنوع در مناطق شاهد نسبت به مناطق سوخته‌شده با وجود معنی‌دار نبودن اختلاف‌ها، بیشتر بوده است که دلیل این امر را می‌توان علاوه بر شدت کم آتش‌سوزی، نقص فرمول‌های تنوع در محاسبهٔ تنوع گونه‌هایی با فراوانی کم دانست. Garcia-Dominguez et al. (2010) نیز در بررسی آتش‌سوزی ضعیف بر ماکروفون خاک و رابطهٔ آن با عوامل محیطی بیان کردند که آتش‌سوزی ضعیف تأثیر معنی‌داری بر تنوع ماکروفون خاک ندارد.

همان‌طور که انتظار می‌رفت، حشرات جمع‌آوری‌شده در رویشگاه تازه‌سوخته (۱۳۹۳)، نشان داد که آتش‌سوزی، بلافاصله سبب کاهش چشمگیر تعداد حشرات کل و تعداد زیادی از گروه‌های بندپایان می‌شود که این کاهش احتمالاً به‌علت از بین رفتن ماکروفون‌های سطحی‌زی در آتش یا مهاجرت به محیط‌های اطراف است که این مشاهدات منطبق با برخی تحقیقات است (Louppe et al., 1998; Malmström et al., 2009; Doamba-Sabine et al., 2014). گونه‌های ماکروفون خاک ممکن است واکنش‌های مختلفی به حریق از خود نشان دهند، به‌طور مثال بعضی از حشرات و بندپایان مثل مورچه‌ها می‌توانند با حفر زمین، مهاجرت به عمق‌های پایین‌تر یا مثل حشرات پروازی با پرواز کردن از حریق بگریزند، اما گونه‌هایی با مراحل زندگی ثابت (لارو و شفیره) که در لاشبرگ‌های سطحی یا در عمق‌های سطحی خاک قرار دارند، نسبت به وقوع آتش بسیار آسیب‌پذیرند (Malmström et al., 2009; Gongalskya et al., 2012). نظر به اینکه آتش‌سوزی می‌تواند بر رقابت زیستگاهی، تأمین مواد غذایی و دیگر تغییرات نامحسوس بسیار در میکروکلیمای محیطی (تخریب وضعیت مواد آلی خاک، دما، pH) تأثیر بگذارد، بنابراین می‌تواند روی استقرار مجدد و توالی گیاهان و موجودات زنده اثرگذار باشد (Debouzie et al., 2002). از این‌رو این تحقیق نشان داد که بازگشت مجدد حشرات به زیستگاه خود نیاز به سپری شدن مدت زمانی حدود یک تا دو سال (شکل‌های ۲ تا ۴ و جدول ۴) به‌واسطهٔ بهبود شرایط میکروکلیمایی محیط و رویش مجدد گیاهان دارد.

شایان ذکر است که موجودات زنده (یا بیوتا) خاک عامل مهمی در تشکیل خاک هستند و اثرهای آنها تفاوت‌های بسیاری را در بین خاک‌ها ایجاد می‌کند و نیز ارگانیسم‌های مختلف خاک به روش‌های مختلفی فرایندهای خاص خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین ماکروفون‌های خاک نقش مهمی در انجام چرخهٔ مواد غذایی خاک، کنترل آفات، گرده‌افشانی، دفع زباله (Frost & Robertson,1987)، تجمع و تخلخل خاک در نتیجهٔ فعالیت‌های ترکیبی و زیر و رو کردن و حفر خاک بازی می‌کنند که این خود محیط زیست (هوادهی، رطوبت خاک و غیره) را برای دیگر موجودات زنده خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ruiz et al, 2008). بنابراین با توجه به اهمیت نقش عملکردی ماکروفون خاک و کاهش حشرات بعد از وقوع آتش‌سوزی و در نتیجه تأثیر منفی حضور نداشتن آنها بر خواص فیزیکوشیمیایی خاک، ضرورت دارد در زمینهٔ مبارزه و پیشگیری از وقوع آتش‌سوزی‌ها به‌خصوص در مناطق جنگلی اقدام‌های لازم انجام پذیرد و برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی ویژه‌ای در این خصوص مدنظر قرار گیرد.

References

Ayuke, F., Karanja, N., Muya, E., Kibberenge, M., Mungatu, J., & Nyamasyo, G. (2009). Macrofauna diversity and abundance across different land use systems in Embu, Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *11*(2), 371-384.

Banj- Shafiei, A., Akbarinia, M., Jalali, S.G.A., P.Azizi, & S.M. Hosseini, (2007). The effects of fire on forest structure; a case study, in Chelir, Kheyroudkenar, (Watershed number 45 Golband, Nowshahr). *Pajouhesh & Sazandegi*, *76*, 105-112.

Beaumont, K. P., Mackay, D. A., & Whalen, M. A. (2012). The effects of prescribed burning on epigaeic ant communities in eucalypt forest of South Australia. *Forest ecology and management*, *271*, 147-157.

Behan-Pelletier, V., & Newton, G. (1999). Computers in biology: linking soil biodiversity and ecosystem function—the taxonomic dilemma. *BioScience*, *49*(2), 149-153.

Brown, G.G., Pasini, A., Benito, N.P., de Aquino, A.M., & Correia, M.E.F. (2001). Diversity and functional role of soil macro fauna communities in Brazilian no-tillage agro ecosystems: a preliminary analysis. *International symposium on managing biodiversity in agricultural ecosystems*, (pp.1-20). Montreal, Canada.

Collett, N.G. (1998). Effects of two short rotation prescribed fires in autumn on surface-active arthropods in dry sclerophyll eucalypt forest of west-central Victoria. *Forest Ecology and Management*, *107*(1), 253-273.

Debouzie, D., Desouhant, E., Oberli, F., & Menu, F. (2002). Resource limitation in natural populations of phytophagous insects. A long-term study case with the chestnut weevil. *Acta Oecologica*, *23*(1), 31-39.

Dindal, D.L. (1990). *Soil Biology Guide*. New York: Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons.

Doamba, S.W., Savadogo, P., & 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.

Elia, M., Lafortezza, R., Tarasco, E., Colangelo, G., & Sanesi, G. (2011). Influence of forest fires on biodiversity entomofauna; a case study: Puglia, *Silviculture and Forest Ecology, 8*(1), 13–21.

Elia, M., Lafortezza, R., Tarasco, E., Colangelo, G., & Sanesi, G. (2012). The spatial and temporal effects of fire on insect abundance in Mediterranean forest ecosystems, *Forest Ecology and Management*, *263*, 262–267.

Ewers, R.M., Kapos, V., Coomes, D. A., Lafortezza, R., & Didham, R. K. (2009). Mapping community change in modified landscapes. *Biological Conservation*, *142*(12), 2872-2880.

Frost, P.G.H., & Robertson, F. (1987). The Ecological Effects of Fire in savannas. In B.H. Walker (ED), *Determinants of Tropical savannas*. (pp. 93–140). Oxford: IRL Press.

Gandhi, K.J., Spence, J.R., Langor, D.W., & Morgantini, L.E. (2001). Fire residuals as habitat reserves for epigaeic beetles (Coleoptera: Carabidae and Staphylinidae). *Biological Conservation*, *102*(2), 131-141.

Garcia-Dominguez, C., Arevalo, J.R., & Calvo, L. (2010). Short-term effects of low-intensity prescribed fire on ground-dwelling invertebrates in a Canarian pine forest. *Forest Systems*, *19*(1), 112-120.

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

Gongalsky, K.B., Malmström, A., Zaitsev, A.S., Shakhab, S.V., Bengtsson, J., & Persson, T. (2012). Do burned areas recover from inside? An experiment with soil fauna in a heterogeneous landscape. *Applied soil ecology*, *59*, 73-86.

Haslem, A., Avitabile, S.C., Taylor, R.S., Kelly, L.T., Watson, S.J., Nimmo, D.G., ... & Clarke, M.F. (2012). Time-since-fire and inter-fire interval influence hollow availability for fauna in a fire-prone system. *Biological Conservation*, *152*, 212-221.

Huebner, K., Lindo, Z., & Lechowicz, M.J. (2012). Post-fire succession of collembolan communities in a northern hardwood forest. *European Journal of Soil Biology*, *48*, 59-65.

Hylander, K. (2011). The response of land snail assemblages below aspens to forest fire and clear-cutting in Fennoscandian boreal forests. *Forest Ecology and Management*, *261*(11), 1811-1819.

Jamshidi Bakhtar, A., Marvie Mohadjer, M.R., Sagheb-Talebi, K., Namiranian, M., & Marouf, H. (2014). Alteration of plant diversity after fire in Zagros forest stands, case study: Marivan forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *21*(3), 529-541.

Jung, C., Kim, J.W., Marquardt, T., & Kaczmarek, S. (2010). Species richness of soil gamasid mites (Acari: Mesostigmata) in fire-damaged mountain sites. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *13*(3), 233-237.

Kalra, Y.P., & Maynard, D.G. (1991). *Methods manual for forest soil and plant analysis*. (319). Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre: Edmonton, Alberta.

Kim, J. W., & Jung, C. (2008). Abundance of soil microarthropods associated with forest fire severity in Samcheok, Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *11*(2), 77-81.

Lafortezza, R., Coomes, D. A., Kapos, V., & Ewers, R.M. (2010). Assessing the impacts of fragmentation on plant communities in New Zealand: scaling from survey plots to landscapes. *Global Ecology and Biogeography*, *19*(5), 741-754.

Li Wei, C.A.F., Cui Lijuan, C.A.F., & Wang Xiaowen, C.A.F. (2013). Relationship between Soil Animal Community Structure and Soil Physical and Chemical Properties in Lake Taihu Lakeshore, China. *Scientia Silvae Sinicae*. *49*(7), 106–115.

Lin, Y., Zhang, F., Yang, X., Bao, D., Shi, X., Wang, S., & Wang, B. (2003). Study on the relationship between agricultural soil fauna and soil physicochemical properties. *Zhongguo nongye kexue*, *37*(6), 871-877.

Loskova, J., Luptacik, P., Miklisova, D., & Kovac, L. (2013). The effect of clear-cutting and wildfire on soil Oribatida (Acari) in windthrown stands of the High Tatra Mountains (Slovakia). *European Journal of Soil Biology*, *55*, 131-138.

Louppe, D., Olivier, R., Ouattara, N., & Fortier, M. (1998). Impact of repeated fires on soil savannas of central Ivory Coast. *International said Seminar on Integrated Development of Natural Forest Tropical Dry Areas in West Africa, Ouagadougou, Burkina Faso*, 11 p.

Malmström, A., Persson, T., Ahlström, K., Gongalsky, K.B., & Bengtsson, J. (2009). Dynamics of soil meso-and macrofauna during a 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest. *Applied Soil Ecology*, *43*(1), 61-74.

Michaels, K.F. (2007). Using staphylinid and tenebrionid beetles as indicators of sustainable landscape management in Australia: a review. *Animal Production Science*, *47*(4), 435-449.

Moretti, M., Obrist, M.K., & Duelli, P. (2004). Arthropod biodiversity after forest fires: winners and losers in the winter fire regime of the Southern Alps. *Ecography*, *27*(2), 173-186.

Nunes, L.F., Leather, S.R., & Rego, F.C. (2000). Effects of fire on insects and other invertebrates. A review with particular reference to fire indicator species. *Silva Lusitana*, *8*(1), 15-32.

Pourreza, M., Hosseini, S.M., Safari Sinegani, A.A., Matinizadeh, M., & 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.

Rousseau, G.X., Santos Silva, P.R.D., & Reis de CaRvalho, C.J. (2010). Earthworms, Ants and other arthropods as soil health indicators in traditional and no-fire agro-ecosystems from eastern Brazilian Amazonia. *Acta Zoologica Mexicana*, *26*(2), 117-134.

Ruiz, N., Lavelle, P., & Jiménez, J. (2008). *Soil Macrofauna Field Manual*, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy: (FAO).

Schowalter, T. (1996). *Insect ecology*. Oregon: University Press.

Tanentzap, A. J., Bazely, D. R., & Lafortezza, R. (2010). Diversity–invasibility relationships across multiple scales in disturbed forest understoreys. *Biological Invasions*, *12*(7), 2105-2116.

Villa-Castillo, J., & Wagner, M. R. (2002). Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) species assemblage as an indicator of forest condition in northern Arizona ponderosa pine forests. *Environmental Entomology*, *31*(2), 242-252.

West Azerbaijan department of Natural Resources, (2013). *Multipurpose forestry plan of Sardasht forests*, *Climatology Report* (2). West Azerbaijan: West Azerbaijan department of Natural Resources.

Yin, X., Qiu, L., Tu, Y., Tao, Y., An, J., Xin, W., & Jiang, Y. (2015). Characteristics of soil macrofauna community and CCA analysis between soil macrofauna and soil properties in the wetlands of the Lhasa River basin. *Acta Ecologica Sinica*, *35*(6), 210-215.

York, A. (1999). Long-term effects of frequent low-intensity burning on the abundance of litter-dwelling invertebrates in coastal blackbutt forests of southeastern Australia. *Journal of Insect Conservation*, *3*(3), 191-199.

Zhang, Q.F., & Chen, W.J. (2007). Fire cycle of the Canada's boreal region and its potential response to global change. *Journal of forestry research*, *18*(1), 55-61.

Iranian Journal of Forest
Vol. 9, No. 2, Summer 2017
pp. 215-231

The Effect of Wildfire on the Species Diversity of Soil Macro fauna (Case Study: Sardasht Forests, West Azerbaijan)

M. Bakhshandeh Savadroodbari[1], R. Maleknia[2*], A. Banj Shafiei[3], M. Zargaran[4], and Z. Badehian[2]

[1] PhD student of forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, I. R. Iran
[2]Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, I. R. Iran
[3]Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, I. R. Iran
[4]Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, I. R. Iran

(Received: 22 June 2016, Accepted: 3 June 2017)

Abstract

Among ecological communities, insects are important bio-indicators of wildfire disturbance due to their sensitivity to environmental changes and habitat requirements. In this research, we studied the relationship between the temporal effect of wildfire and macro-fauna abundance and biodiversity in an oak forest located in Sardasht, West Azerbaijan. We compared three sites differing in fire history as well as three control sites. Fifteen samples (0.5× 0.5× 0.3 m) were selected for each above-mentioned treatment along transects in both burned and control plots. Totally, 210 insect specimens belonging to 18 orders and 27 families were collected. We applied analysis of variance and Duncan test for the analysis of normal continuous data and chi-square test for the analysis of discrete data or abundance. Results indicated that the occurrence of fire reduced the richness of macro-fauna in the burned areas compared to the control areas, but the temporal effect of fire on the macro-fauna resulted in increasing of the richness of the macro-fauna in years after fire occurrence. Both Coleoptera and Diplura were also present in all study area and wildfire had no effect on Diplura. But the temporal effect of fire on Coleoptera was evident and the abundance of this order was added by passing the time of the fire. Diptera and Ants (Hymenoptera) also, over time, had been returned to the burned areas and their frequency has been increased. So the return of insects to their habitat needs over a period of time about 1 to 2 years by improving the microclimatic environment and the regrowth of plants.

Keywords: Coleoptera, Diversity, Insects orders, *Quercus brantii*

∗Corresponding author Tel: 09126806297 Email: maleknia.r@lu.ac.ir