

اثرات دراز مدت چوبکشی زمینی بر ساختار جوامع ماکروفون خاک در جنگل‌های راش منطقه هیرکانی

داود کرتولی نژاد^{۱*}، اکبر نجفی^۲، معصومه شایان مهر^۳

۱- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان

۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشگاه تربیت مدرس مازندران، نور

۳- استادیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی ساری، مازندران، ساری

چکیده

در این پژوهش اثر چوبکشی زمینی با استفاده از اسکیدر چرخ لاستیکی بر تغییرات جوامع ماکروفون خاک در مسیرهای چوبکشی با سنین ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال در جنگل‌های هیرکانی مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه ویژگی‌های ساختاری و شاخص‌های زیستی جوامع بی‌مهرگان خاک بستر مسیرها نشان داد تعداد گونه‌ها، تراکم و فراوانی فون در مسیر ۵ ساله کاهش چشم‌گیری یافته است. بایوماس ماکروفون‌ها اختلاف معنی داری نداشت، اما در مسیر ۵ ساله حداقل میانگین را نشان داد. شاخص‌های تنوع شانون و غنای مارگالف نیز کم‌ترین مقدار را در مسیر ۵ ساله و بیشترین را در مسیر ۲۰ ساله و جنگل شاهد داشته است. همچنین در تردهای مسیرهای چوبکشی کم‌ترین مقدار این متغیرها مربوط به تردد زیاد و بیشترین آن‌ها در تردد کم به دست آمد. نتایج این تحقیق بیانگر اثرات شدید اسکیدر بر ساختار جوامع بی‌مهرگان خاک سطح مسیرها حتی تا ۲۰ سال بوده است. اما اثرات ایجاد شده در جوامع ماکروفون با گذشت زمان به طور پویا در حال بهبودی و احیا بوده است.

واژه‌های کلیدی: چوبکشی زمینی، جوامع ماکروفون، شاخص تنوع و غنا، اسکیدر چرخ لاستیکی، راش

مقدمه

ماکروفون‌های خاک ارگانسیم‌هایی با اندازه بیش از ۲ میلی‌متر (Kalisz & Powell, 2000; Bautista *et al.*, 2009) را شامل می‌شوند. این موجودات در ایجاد هوموس (Bertrand & Lumaret, 1992; Morón-Ríos & Huerta-Lwanga, 2006)، آزادسازی عناصر غذایی مهم برای گیاهان طی معدنی کردن مواد آلی (Aquino *et al.*, 2008; Battigelli *et al.*, 1994; Morón-Ríos & Huerta-Lwanga, 2006) نقش دارند. آنان مواد معدنی و آلی را همچون میکروارگانسیم‌ها در سراسر نیم‌رخ خاک‌ها پراکنده کرده و مخلوط می‌نمایند (Powell, 2000; Morón-Ríos & Huerta-Lwanga, 2006; Aquino *et al.*, 2008; Battigelli *et al.*, 1994; Kalisz & Bengtsson *et al.*, 1997; Bertrand & Lumaret, 1992). خرد شدن لاشبرگ و مواد ارگانیک توسط ماکروفون‌ها برای فرایندهای تجزیه و چرخه عناصر بسیار حیاتی و مهم است (Powell, 2000; Morón-Ríos & Huerta-Lwanga, 2006; Aquino *et al.*, 2008; Battigelli *et al.*, 1994; Kalisz & Bengtsson *et al.*, 1997; Bertrand & Lumaret, 1992).

* نویسنده رابط، پست الکترونیکی: kartooli58@profs.semnan.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله (۹۰/۱۲/۱۵) - تاریخ پذیرش مقاله (۹۱/۸/۱۵)



Morón-Ríos & Huerta-Lwanga, 2006; Tsukamoto & Sabang, 2005). همچنین تولید پایدار محصول در اکوسیستم‌های وابسته به خاک نظیر جنگل، مرتع و اراضی زراعی، علاوه بر درختان، درختچه‌ها و گیاهان غیر چوبی، به تنوع زیستی و فراوانی این جانداران خاک زی وابسته است (Lavelle *et al.*, 2006; Brévault *et al.*, 2007). تحقیقات اخیر مشخص نموده است که کاهش تنوع زیستی بی‌مهرگان خاک، به دلیل اهمیت آن‌ها در حفظ ساختار خاک نقش مهمی در سیر قهقرایی خاک دارد (Barros *et al.*, 2003). جوامع ماکروفون به شدت تحت تاثیر عملکرد و فعالیت انسان هستند (Lavelle, 1996). عملیات جنگل نظیر بهره‌برداری و چوبکشی پتانسیلی برای تغییر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک دارند که پیامد آن تاثیر بر ترکیب و مقدار مواد آلی خاک جنگل، خلل و فرج، درجه حرارت و رطوبت خاک است که در نهایت به تغییر جوامع ماکروفون‌ها، تراکم، وفور، غنا و تنوع زیستی آنان منجر می‌شود (Pontégnie *et al.*, 2005; Negrete-Yankelevich *et al.*, 2007).

مطالعات زیادی اثرات عملیات مختلف مدیریت جنگل نظیر بهره‌برداری، قطع یکسره، برش‌گزینشی، تبدیل جنگل، آتش‌سوزی تجویز شده و کوبیدگی خاک را بر تراکم و تنوع زیستی جوامع ماکروفون خاک بررسی نموده‌اند (Bengtsson *et al.*, 1997; Theenhaus & Schaefer, 1995; Saint-Germain *et al.*, 2005). اما اثرات درازمدت عملیات چوبکشی زمینی بر جانداران خاک‌زی کمتر شناخته شده است. این مطالعه فرایند احیای طولانی مدت جوامع ماکروفون را بر سطح مسیرهای چوبکشی در طی مدت ۵ تا ۲۰ سال پس از چوبکشی دنبال می‌کند. تغییرات در بایوماس، وفور، تراکم و شاخص‌های تنوع زیستی، غنا و غلبه در این مسیرها و در بخش‌های دارای ترافیک شدید، متوسط و کم که بیانگر درجات متفاوتی از کوبیدگی خاک هستند بررسی شده و با جنگل شاهد مقایسه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه: پژوهش حاضر، در بخشی از جنگل‌های هیرکانی شمال کشور یعنی جنگل‌های تحت مدیریت شرکت نکاچوب، واقع در ارتفاعات روستای سیکا در محدوده طول جغرافیایی ۲۴ ۳۱ ۵۳ تا ۱۵ ۳۳ ۵۳ و عرض ۱۰ ۲۱ ۳۶ تا ۲۳ ۲۲ ۳۶، در بهار و تابستان سال ۱۳۸۹ انجام شده است.

پس از جنگل‌گردشی و به کمک قرقبانان و اهالی مسن روستای سیکا، چهار مسیر که مدت زمان ۱ تا ۵ سال، ۵ تا ۱۰ سال، ۱۰ تا ۱۵ سال و ۱۵ تا ۲۰ سال از زمان بهره‌برداری و عبور اسکیدر چرخ لاستیکی طی عملیات چوبکشی از آن‌ها گذشته بود انتخاب شد. مسیرهای منتخب به اختصار با عناوین مسیر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ساله از آن‌ها یاد شده است. این مسیرها دارای شرایط تقریباً یکسان از نظر جهت چوبکشی رو به پایین و دامنه جغرافیایی شمالی و شمال شرقی، شیب عمومی دامنه، نوع خاک و تیپ جنگل (راشستان)، با داشتن حداقل فاصله جغرافیایی ممکن از یکدیگر (جهت اجتناب از بروز سایر عوامل تاثیرگذار) بودند. از نظر بافت خاک نیز تفاوتی نداشته و هر چهار مسیر دارای بافت لومی - رسی بودند. لازم به ذکر است که سایر شرایط (گونه غالب توده، تیپ خاک، پوشش گیاهی و میزان بارندگی و شرایط اقلیمی) چهار پارسل یکسان بود.

شیب عمومی مسیرها ملایم و در حدود ۱۵٪ بوده است. روش استخراج چوب در جنگل‌های مزبور چوبکشی زمینی با استفاده از اسکیدرهای چرخ لاستیکی بوده که در گذشته از TAF و سال‌های اخیر Timberjack 450 C استفاده شده است. مشخصات و ویژگی‌های ۴ مسیر نام‌برده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات مسیرهای مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of studied trails

Skid trails	Elevation from sea level (m)	Trail's length (m)	District name	Series name	Parcel number	
					New	Old
5-year trail	1567 m	404 m	Haftkhal 2	Mouzisa 4	9	9
10-year trail	1418 m	663 m	7	2	4	69
15-year trail	1400 m	644 m	7	2	9	73
20-year trail	1160 m	403 m	7	5	42	51

روش نمونه‌برداری: پس از یافتن مسیرهای مناسب، سراسر هر مسیر به‌همراه GPS پیمایش شده و در فواصل کوتاه ۲ تا ۵ متری امتداد و طول مسیر نقطه‌گذاری و ثبت شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Google Earth Plus خطوط بین نقاط (Way points) ترسیم و طول مسیرها به‌دست آمد.

نمونه‌برداری از بی‌مهرگان خاک سطح ۴ مسیر متروکه، در اواخر اردیبهشت سال ۱۳۸۹ انجام شد. تیمار مورد اندازه‌گیری در هر مسیر، تردد بوده که سه سطح کم، متوسط و زیاد داشته است. در هر مسیر ۹ نمونه برداشت گردید (۳ کوادرات در هر تردد). کوادرات‌ها دارای ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌متر (1600cm^2) در سطح و ۳۰ سانتی‌متر در عمق جهت بررسی اثر کوبیدگی اسکیدر در داخل رد چرخ‌های اسکیدر برداشت شد. تعداد ۳ کوادرات نیز از نزدیک‌ترین جنگل شاهد در مجاورت هر مسیر، که فاقد هر گونه اثری از تردد اسکیدر باشد با رعایت حداقل فاصله ۲ برابر ارتفاع بلندترین درخت توده و در زیر درختانی با همان تیپ رویشی برداشت شد. کلیه کوادرات‌ها به‌صورت تصادفی و بدون پیش‌زمینه ذهنی در طول مسیر و از داخل جنگل جمع‌آوری شد. جانداران به روش Hand-sorting یا دستی جمع‌گردیدند، بدین طریق که خاک داخل کوادرات‌ها به‌سرعت از محدوده مشخص شده به داخل تشت‌های فلزی تخلیه شده و پس از جداسازی در داخل کیسه‌های برچسب‌دار پلاستیکی قرار گرفته و به آزمایشگاه انتقال یافتند. بایوماس بی‌مهرگان خاک (وزن تر کلیه ماکروفون‌های موجود در پلات‌ها) هر مسیر در آزمایشگاه با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و محاسبه شده و با مقادیر مشابه شاهد در هر مسیر چوبکشی مقایسه می‌گردند. از تمامی گونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ دستی Dino-Lite Digital Microscope (ساخت کشور تایوان) تصاویر دیجیتال با بزرگ‌نمایی زیاد جهت شناسایی دقیق‌تر تهیه گردید. سپس نمونه‌های هر کوادرات به‌طور مجزا در داخل محلول اتانول ۷۰٪ قرار گرفت.

هزارپایان، صدپایان، سخت‌بال‌پوشان، کرم‌های خاکی، حلزون‌ها و لیسک‌ها غالب‌ترین جانداران جمع‌آوری شده بودند. شکم‌پایان (Gastropoda) در سطح جنس، سخت‌بال‌پوشان (Coleoptera) در سطح خانواده و زیرخانواده، عنکبوتیان (Aranea)، صدپایان (Chilopoda) و هزارپایان (Diplopoda)، مورچه‌ها (Formicidae)، مساوی‌پایان (Isopoda) و کرم‌های خاکی (Lumbricina) نیز در سطح راسته و زیرراسته شناسایی شدند. در نهایت، کلیه تاکسون‌های جمع‌آوری شده در چهار گروه یا سطح تغذیه‌ای: خرده ریزخوار (detritivore)، شکارگر (predator)، همه‌چیزخوار (omnivore) و گیاه‌خوار (phytophagous) طبقه‌بندی شدند (Pontégnie et al., 2005; Malmström et al., 2009; Doblas-Miranda et al., 2007).

روش تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: برای محاسبه شاخص‌های غلبه، تنوع زیستی و غنای جوامع ماکروفون‌های خاک، آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار PAST (PAleontological STatistics) نسخه 2.08b و بر اساس معادلات و فرمول‌های زیر انجام شد (Hammer *et al.*, 2001):

الف) شاخص تنوع زیستی شانون: بر اساس معادله زیر که در آن n_i تعداد پایه‌های تاکسون i و n تعداد کل افراد است:

$$H = -\sum_i \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n}$$

ب) شاخص غنای مارگالف: بر اساس معادله زیر که S تعداد تاکسون‌ها و n تعداد افراد می‌باشد:

$$(S-1)/\ln(n)$$

ج) شاخص غلبه سیمپسون: اساس این شاخص عبارت است از:

شاخص تنوع سیمپسون-1 = غالبیت (Dominance)

$$D = \sum_i \left(\frac{n_i}{n} \right)^2$$

یا به عبارتی:

کلیه محاسبات آماری پس از استخراج مقدار ضرایب هر نمونه، با استفاده از نرم‌افزار SPSS 13.0 در غالب طرح بلوک کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از آنالیز GLM (General Linear Model) مقایسه‌های کلی انجام شده و سپس به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن و تی غیر مرتبط، مقایسه‌های درون گروهی در سطح احتمال ۰.۰۵٪ صورت پذیرفت. قابل ذکر است که کلیه مقادیر ارائه شده در نمودارهای ستونی و جدول‌های مربوطه بر اساس میانگین \pm خطای میانگین می‌باشد.

نتایج ارزیابی ماکروفون

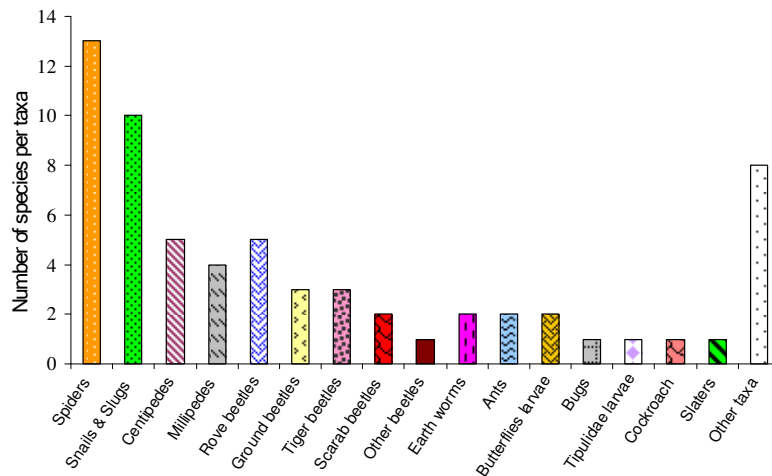
فراوانی و بایوماس ماکروفون‌های جمع‌آوری شده از نمونه‌ها پس از شمارش و وزن‌گیری به صورت کلی در جدول ۲ ارائه گردید.

جدول ۲- وفور (تعداد کل افراد) و بایوماس کل (g m^{-2}) و درصد هر یک از تاکسون‌ها در کل کوادرات‌ها

Table 2- The abundance (total number of individuals) and total biomass (g m^{-2}) and also the percentage of each taxon in all quadrates

Macrofauna taxa	Abundance		Biomass	
	N.	Percent	g m^{-2}	Percent
Millipedes (Diplopoda)	342	35.8	95.9	18.5
Snails and slugs (Gastropoda)	163	17.1	133.4	25.7
Ants (Formicidae)	96	10	2.9	0.6
Earth worms (Lumbricidae)	89	9.3	191.1	36.8
Centipedes (Chilopoda)	86	9	26.5	5.1
Coleoptera (Beetles)	68	7.1	5.8	1.1
Woodlice (Isopoda)	64	6.7	27.6	5.3
Spiders (Aenea)	32	3.3	10.1	2
Other taxa	16	1.7	25.4	4.9
Total	956	100	518.7	100

بیشترین وفور مربوط به هزارپایان و حلزون‌ها بوده و بیشترین بایوماس نیز به ترتیب مربوط به کرم‌های خاکی و حلزون‌ها بوده که بیش از ۶۲٪ از کل بایوماس را در برمی‌گیرند. پس از محاسبه وفور و بایوماس، تعداد هر گونه در تاکسون‌های شناسایی شده بر اساس مجموع کوادرات‌ها در شکل ۱ خلاصه گردید.



شکل ۱- تعداد گونه‌های شناسایی شده از هر تاکسون در کلیه کوادرات‌ها

Fig. 1- Number of identified species in each taxon of quadrates

در مجموع ۶۳ گونه در کلیه کوادرات‌ها جمع‌آوری و شناسایی شد. نتایج نشان داد که تعداد گونه‌های شناسایی شده از عنکبوتیان و شکم‌پایان (حلزون‌ها و لیسک‌ها) به تنهایی ۳۶/۵ درصد از کل گونه‌های شناسایی شده را شامل می‌گردد. در کل اکثر تاکسون‌ها نظیر حلزون‌ها، مورچه‌ها، صدپایان، سوسک‌ها و عنکبوت‌های خاک‌زی (soil-dwelling spiders) در جنگل شاهد از فراوانی بیشتری نسبت به مسیرها برخوردار بودند. در مسیر ۵ ساله حداکثر مقدار بایوماس وزنی متعلق به کرم‌های خاکی، در ۱۰ ساله، صدپایان، در مسیر ۱۵ ساله سوسک‌ها و ۲۰ ساله حلزون‌ها می‌باشد. نسبت درصد بایوماس از مسیر ۵ ساله (۱۳/۴٪) تا مسیر ۲۰ ساله و جنگل شاهد افزایش پیدا کرده است (به ترتیب ۲۰/۲ و ۲۲/۶ درصد). میانگین برخی از ویژگی‌های ساختاری جوامع ماکروفون نظیر بایوماس کل ($g\ m^{-2}$)، تراکم تاکسون‌ها، تعداد تاکسون و وفور ماکروفون‌ها برای کلیه مسیرها محاسبه و در میان مسیرهای با سنین مختلف مقایسه گردید که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین بایوماس کل، تراکم، تعداد تاکسون و وفور ماکروفون‌ها در میان مسیرهای با سن مختلف

Table 3- Mean comparison of total biomass, density, number of taxa and abundance of macrofauna among skid trails with different age

	5-year trail	10-year trail	15-year trail	20-year trail
Total biomass	7.63 ± 2.7 ^a	11.31 ± 1.9 ^a	89.11 ± 3.8 ^a	12.28 ± 3.6 ^a
Density*	52.08 ± 11.7 ^b	222.92 ± 32.7 ^a	91.67 ± 13.0 ^b	101.39 ± 19.5 ^b
Number of taxa	5.11 ± 1.1 ^b	9.11 ± 0.7 ^a	7.22 ± 0.9 ^{ab}	8.67 ± 1.0 ^a
Abundance	8.11 ± 2.0 ^c	35.33 ± 5.2 ^a	14.67 ± 2.1 ^{bc}	19.33 ± 4.0 ^b

* Means with similar letters in each row, have no statistical significant difference ($P < 0.05$, Duncan)

با استفاده از آنالیز GLM اختلاف معنی داری آماری میان بایوماس کل در بین مسیرها ($F=0.478, P=0.700, df=3$) مشاهده نگردید (جدول ۴). اما تراکم تاکسون‌ها در میان مسیرهای با سنین مختلف اختلاف معنی دار نشان داد (بیشترین میانگین تراکم در مسیر ۱۰ ساله و کم‌ترین آن در مسیر ۵ ساله مشاهده شد. $F=12.359, P=0.000, df=3$). از طرفی میانگین تعداد تاکسون‌ها در بین چهار مسیر اختلاف آماری نشان داد ($F=3.102, P=0.040, df=3$) که باز هم بیشترین میانگین در مسیر ۱۰ ساله و کم‌ترین آن در مسیر ۵ ساله به دست آمد. وفور نیز در بین مسیرهای مختلف اختلاف معنی دار آماری نشان داد ($F=12.395, P=0.000, df=3$) که همچون دو متغیر اخیر حداقل آن در مسیر ۵ ساله و حداکثر آن در مسیر ۱۰ ساله مشاهده گردید. میانگین هر یک از متغیرهای نام برده میان مسیرها و جنگل شاهد خود با استفاده از آزمون تی مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

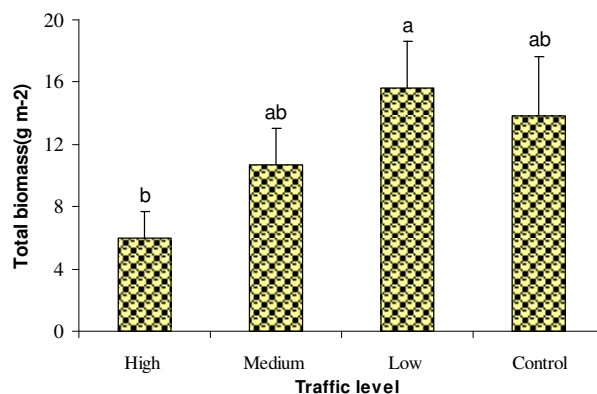
جدول ۴- مقایسه میانگین بایوماس کل، تراکم، تعداد تاکسون و وفور ماکروفون‌ها در مسیرهای مختلف با جنگل شاهد مجاور

Table 4- Mean comparison of total biomass, density, number of taxa and abundance of macrofauna between different trails with their adjacent control forest

	5-year trail		10-year trail		15-year trail		20-year trail	
	Control	trail	Control	trail	Control	trail	Control	trail
Total biomass	11.9 ± 0.7 ^a	7.6 ± 2.7 ^a	13.9 ± 1.7 ^a	11.3 ± 1.9 ^a	12.9 ± 2.7 ^a	11.9 ± 3.8 ^a	13.6 ± 3.9 ^a	12.3 ± 3.6 ^a
Density	204.2 ± 23.5 ^a	52.1 ± 11.7 ^b	131.3 ± 45.2 ^a	222.9 ± 32.7 ^a	179.2 ± 51.6 ^a	91.7 ± 13.0 ^a	187.7 ± 41.3 ^a	101.4 ± 19.5 ^a
Number of taxa	15.3 ± 0.9 ^a	5.2 ± 1.1 ^b	10.0 ± 3.2 ^a	9.3 ± 0.9 ^a	10.0 ± 1.2 ^a	8.0 ± 1.1 ^a	10.3 ± 0.9 ^a	8.8 ± 1.0 ^a
Abundance	32.0 ± 3.8 ^a	8.1 ± 1.8 ^b	20.7 ± 6.9 ^a	35.3 ± 5.1 ^a	32.3 ± 11.3 ^a	14.7 ± 2.1 ^a	32.0 ± 7.1 ^a	19.3 ± 4.0 ^a

* Means with similar letters in each row, have no statistical significant difference

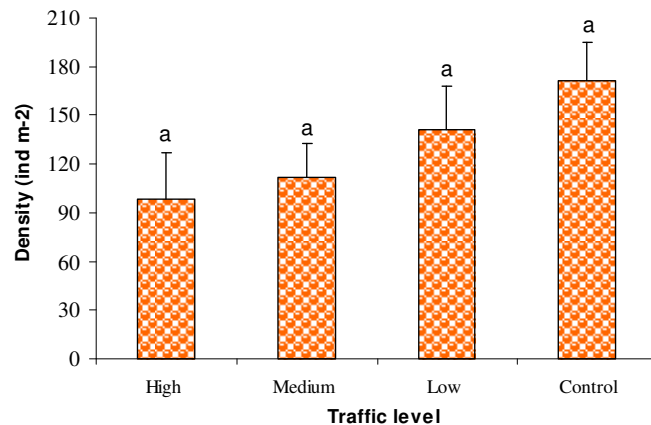
بر اساس جدول ۴ بایوماس کل در هیچ یک از مسیرها با جنگل شاهد خود اختلاف معنی داری را نشان نداد. میانگین تراکم، تعداد تاکسون‌ها و وفور ماکروفون‌ها اگرچه تنها در مسیر ۵ ساله نسبت به شاهد خود اختلاف معنی داری را نشان داد ($t=4.550, P=0.001$) اما مقادیر این متغیرها در کلیه مسیرها از میانگین کمتری نسبت به جنگل شاهد خود برخوردار بودند. بنابراین با توجه به یافته‌های اخیر حداقل بایوماس، تعداد تاکسون، تراکم و وفور در مسیر ۵ ساله ثبت شد. در مقایسه دیگری چهار ویژگی ساختاری اخیر از جوامع ماکروفون در تیمار تردد مورد مقایسه آماری قرار گرفت. شکل ۲ نتایج مقایسه بایوماس کل را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مقایسه میانگین بایوماس کل ماکروفون در تردهای مختلف و جنگل شاهد

Fig. 2- Mean comparison of total biomass of macrofauna among different traffic levels and control forest

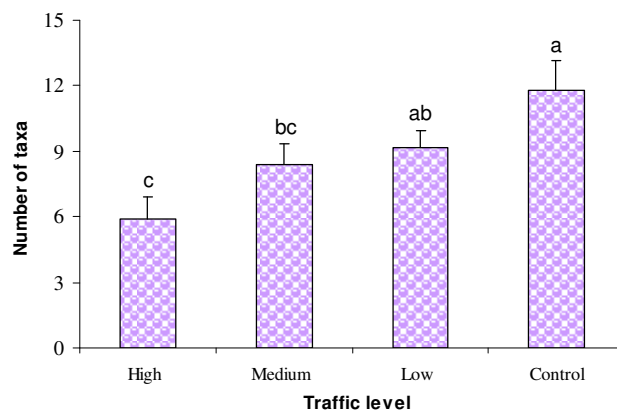
نتایج حاکی از وجود اختلاف در بین تیمارهاست ($F=2/561$, $P=0/048$, $df=3$). تردد کم بیشترین بایوماس و تردد زیاد کم‌ترین بایوماس را داشته است. میانگین تراکم نیز در تردهای کم، متوسط، زیاد و جنگل شاهد با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- مقایسه میانگین تراکم ماکروفون در تردهای مختلف و جنگل شاهد

Fig. 3- Mean comparison of density of macrofauna among different traffic levels and control forest

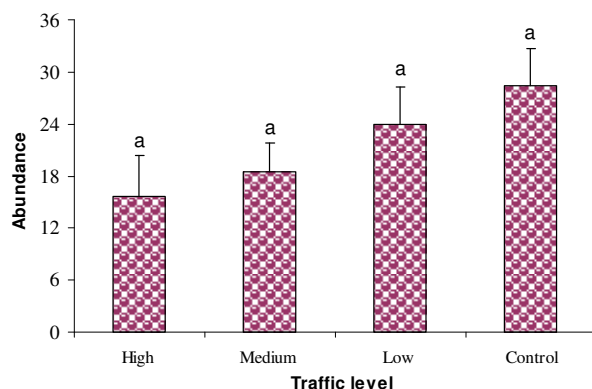
تراکم ماکروفون‌ها اختلاف معنی‌دار آماری در بین تیمارها نشان نداد ($F=1/500$, $P=0/229$, $df=3$)؛ اما بیشترین میانگین در جنگل شاهد و تردد کم و کم‌ترین آن در تردد زیاد وجود داشته است. نتایج مقایسه میانگین تعداد تاکسون در هر نمونه در تردهای مختلف مسیرهای چوبکشی با یکدیگر و جنگل شاهد مقایسه گردید که نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- مقایسه میانگین تعداد تاکسون ماکروفون‌ها در تردهای مختلف و جنگل شاهد

Fig. 4. Mean comparison of number of macrofauna taxa among different traffic levels and control forest

از نظر تعداد تاکسون‌ها جنگل شاهد بیشترین و پس از آن با افزایش تردد میانگین کاهش یافته و کم‌ترین آن در بخش پر تردد مشاهده شده است ($F=5/381$, $P=0/003$, $df=3$). شکل ۵ نیز نتایج مقایسه فوور ماکروفون‌ها را در بین بخش‌های تردد و جنگل شاهد نشان می‌دهد.



شکل ۵- مقایسه میانگین وفور ماکروفون‌ها در تردهای مختلف و جنگل شاهد

Fig. 5- Mean comparison of abundance of macrofauna among different traffic levels and control forest

وفور اگرچه اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($F= 1/666$, $P=0/189$, $df=3$)؛ اما همچون سه متغیر قبلی مقدار آن با افزایش تردد به‌طور منظم کاهش یافته است. شاخص تنوع زیستی شانون، غنای مارگالف و غالبیت سیمپسون برای کلیه مسیرها محاسبه و با یکدیگر و جنگل شاهد مورد مقایسه آماری قرار گرفت. جدول ۵ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقایسه میانگین شاخص‌های غنای مارگالف، تنوع شانون و غالبیت سیمپسون در میان مسیرهای با سن مختلف

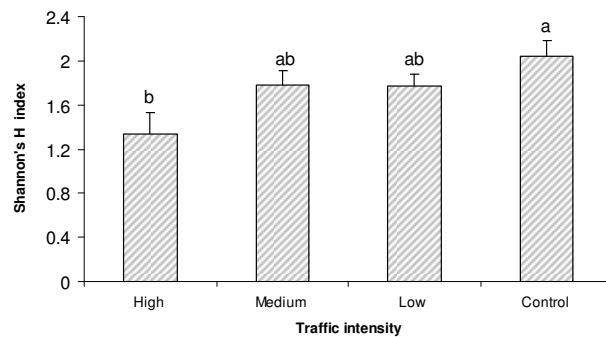
Table 5- Mean comparison of Margalef's richness, Shannon's biodiversity and Simpson's dominance indices among trails with different age

Indices	5-year trail	10-year trail	15-year trail	20-year trail	Control forests
Shannon's biodiversity	1.23±0.3 ^b	1.70±0.1 ^{ab}	1.72±0.2 ^{ab}	1.86±0.1 ^a	2.05±0.1 ^a
Margalef's richness	1.84±0.4 ^b	2.42±0.2 ^{ab}	2.47±0.3 ^{ab}	2.66±0.2 ^{ab}	3.23±0.3 ^a
Simpson's dominance	0.43±0.11 ^a	0.27±0.03 ^{ab}	0.25±0.05 ^b	0.20±0.02 ^b	0.18±0.03 ^b

* Means with similar letters in each row, have no statistical significant difference

مقایسه شاخص تنوع شانون اختلاف آماری در بین تیمارهای مورد مقایسه نشان داد ($F= 3/306$, $P=0/020$) که کم‌ترین مقدار آن مربوط به مسیر ۵ ساله و بیشترین آن جنگل شاهد بوده است. شاخص غنای مارگالف نیز میان مسیرها و جنگل شاهد اختلاف معنی‌دار نشان داد ($F= 2/688$, $P=0/045$) که بیشترین میانگین این متغیر نیز در جنگل شاهد و کم‌ترین در مسیر ۵ ساله مشاهده شد. شاخص غالبیت سیمپسون نیز اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($F= 2/839$, $P=0/037$). برخلاف سایر شاخص‌ها بیشترین مقدار میانگین در مسیر ۵ ساله و کم‌ترین آن در جنگل شاهد مشاهده شده است.

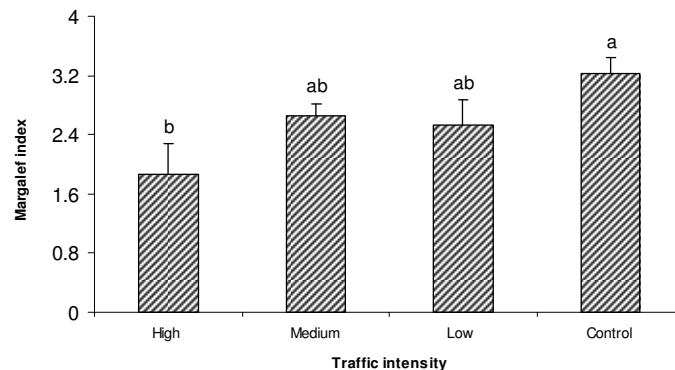
شاخص تنوع زیستی شانون برای تردهای مختلف مسیرها محاسبه و با یکدیگر و جنگل شاهد مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۶). مقایسه این شاخص اختلاف آماری در بین تیمارهای مورد مقایسه نشان داد ($F= 3/682$, $P=0/019$) که کم‌ترین مقدار آن مربوط به تردد کم و بیشترین آن جنگل شاهد بوده است.



شکل ۶- مقایسه آماری شاخص تنوع شانون در تردهای مختلف مسیرها و جنگل شاهد

Fig. 6- Statistical comparison of Shannon's biodiversity index among different traffic levels and control forest

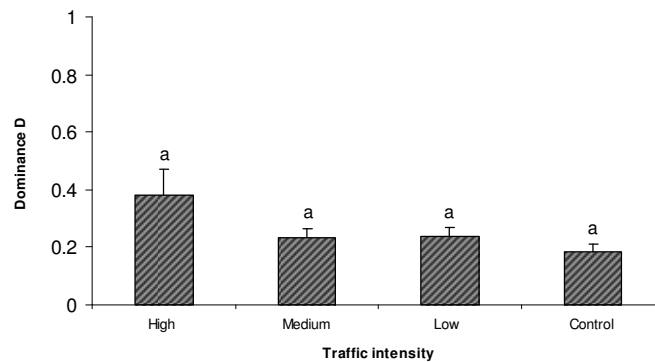
شاخص غنای مارگالف نیز در تردهای مختلف مسیرها و جنگل شاهد با یکدیگر مقایسه شد (شکل ۷). مقایسه این شاخص اختلاف آماری در بین تیمارها نشان داد ($F=۴/۲۱۷$, $P=۰/۰۱۱$) که باز هم کم‌ترین مقدار در تردد کم و بیشترین آن در جنگل شاهد بوده است.



شکل ۷- مقایسه آماری شاخص غنای مارگالف در تردهای مختلف و جنگل شاهد

Fig. 7- Statistical comparison of Margalef's richness index among different traffic levels and control forest

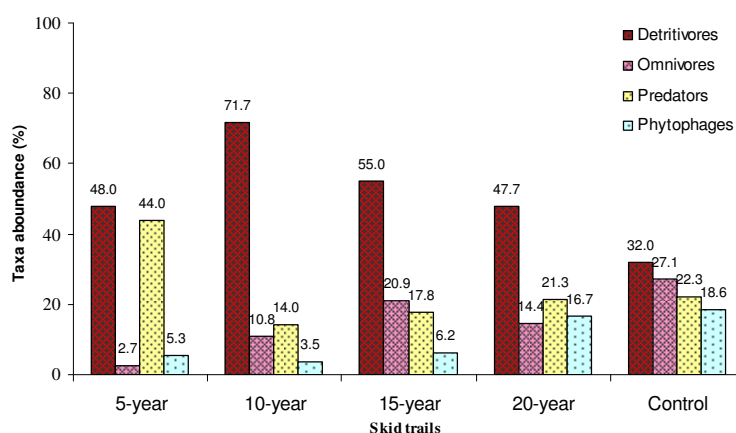
شاخص غالبیت سیمپسون اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($F=۲/۶۰۹$, $P=۰/۰۶۴$). اما بیشترین مقدار میانگین در مسیر ۵ ساله و کم‌ترین آن در جنگل شاهد ثبت شد (شکل ۸).



شکل ۸- مقایسه آماری شاخص غالبیت سیمپسون در تردهای مختلف و جنگل شاهد

Fig. 8- Statistical comparison of Simpson's dominance index among different traffic levels and control forest

ترکیب سطوح تغذیه‌ای ماکروفون‌های جمع‌آوری شده در جنگل‌های شاهد و سطح مسیرها در شکل ۹ نمایش داده شده است.



شکل ۹- فراوانی سطوح تغذیه‌ای ماکروفون‌ها میان مسیرها

Fig. 9- The abundance of macrofauna trophic levels among skid trails

چنانچه مشاهده می‌شود فراوانی فون شکارگر در مسیر ۵ ساله بسیار زیاد است. از طرف دیگر جمعیت خرددریزخواران در کلیه مسیرها بیش از سایر سطوح تغذیه‌ای است. جمعیت همه‌چیزخواران و گیاه‌خواران نیز از مسیر ۵ تا ۲۰ ساله رو به افزایش بوده و در حال نزدیک شدن به شرایط جنگل شاهد است.

بحث

ماکروفون‌ها اساساً فرایندهای بسیار مهمی که در خاک سطحی رخ می‌دهد نظیر خرد کردن و آمیختن لاشبرگ با خاک، معدنی کردن مواد آلی و چرخه عناصر قابل دسترس گیاهان را تحت تاثیر قرار داده و باعث کنترل فعالیت‌های میکروبی و ایجاد و حفظ خلل و فرج ساختاری در طی فعالیت‌های حفاری، فشرده‌سازی و لانه‌سازی می‌گردند (Cole et al., 2006; Laossi et al., 2008). فعالیت، ساختار و عملکرد آنان شدیداً تحت تاثیر مدیریت جنگل قرار می‌گیرد (Theenhaus & Schaefer, 1995; Morón-Ríos & Huerta-Lwanga, 2006). به‌طور کلی مدیریت توده جنگلی نفوذ نور، درجه حرارت و رطوبت را در سطح خاک تغییر داده و دگرگونی‌هایی در خاک ایجاد می‌نماید که محیط زنده آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Morón-Ríos & Huerta-Lwanga, 2006; Theenhaus & Schaefer, 1995). یکی دیگر از تغییراتی که در محیط موجودات خاک‌زی در اثر بهره‌برداری ایجاد می‌گردد کاهش نیتروژن قابل جذب و تغییر نسبت کربن/ نیتروژن است که بر موجودات خاک‌زی اثرات منفی فراوانی ایجاد می‌کند (Hazletta et al., 2007; Laossi et al., 2008).

نتایج این بخش از تحقیق نشان داد که بهره‌برداری و خروج چوب با استفاده از اسکیدر چرخ لاستیکی در جنگل‌های راش هیرکانی اثرات دراز مدتی بر ویژگی‌های جوامع بی‌مهرگان خاک مسیرها دارد. این عامل بیشتر از جنبه کمی بر جوامع ماکروفون اثرگذار است تا کیفی، چرا که تقریباً هیچ گروهی از جانداران از سطح مسیرها حذف نشده و در سال‌های پس از چوبکشی دوباره به سطح مسیرها بازگشته‌اند. اما اگر بخواهیم بخش‌های تردد را در نظر بگیریم بسیاری از گونه‌ها در سطح تردد شدید به خصوص در مسیر ۵ ساله وجود نداشتند.

حدود ۴۴/۲٪ از بایوماس و ۵۲/۸٪ از وفور کلیه جانداران جمع‌آوری شده، به هزارپایان و حلزون‌ها اختصاص داشت. این گونه‌ها چه از لحاظ فراوانی در جنگل‌های معتدله هیرکانی و چه از نظر ابعاد بدن بزرگ‌تر بوده و در تغییر شرایط هوموس و خاک بسیار حایز اهمیت می‌باشند (جدول ۲). بنا بر گزارش محققین این گروه از جانداران طیف اصلی جنگل‌های معتدله دنیا را نیز تشکیل می‌دهند (Siira-Pietikäinen & Haimi, 2009). این در حالی است که Irmeler بایوماس و فراوانی ناچیزی از هزارپایان را در جنگل‌های خالص راش اروپایی در شمال آلمان گزارش نموده است (Irmeler, 2000). مورچه‌ها علی‌رغم فراوانی بالایی که داشتند اما به دلیل ابعاد و جثه کوچک خود کم‌ترین بایوماس را نسبت به کل تاکسون‌ها به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

در کل ۶۳ گونه در محدوده مورد مطالعه تفکیک و شناسایی شد که برای جنگل‌های راش که عموماً به غنا و تنوع زیستی فون اندک مشهورند قابل قبول می‌باشد (Pontégnie *et al.*, 2005). بر اساس اظهارات Ampoorter و همکاران جنگل‌های راش به دلیل کیفیت کم لاشبرگ و اسیدینه بالای هوموس که منجر به تعویق افتادن و کند شدن فرآیند تجزیه لاشبرگ می‌شود باعث کاهش فراوانی و تنوع میکروارگانیسم‌ها و ماکروفون خاک می‌گردد (Ampoorter *et al.*, 2011). از کلیه تاکسون‌های جمع‌آوری شده، عنکبوت‌ها به‌همراه حلزون‌ها و لیسک‌ها بیش از ۳/۸٪ غنا را به خود اختصاص دادند که رقم آن حدود ۳۶/۵٪ می‌باشد. سایر فون شکارگر نظیر صدپایان و به‌ویژه سوسک‌های شبگرد، زمینی و ببری نیز غنای بالا (یعنی حدود ۲۸٪ از گونه‌ها) و فراوانی زیادی نسبت به سایرین داشتند.

وفور اغلب گونه‌ها در مسیر ۵ ساله حداقل و در جنگل شاهد حداکثر بوده است. تنها وفور کرم‌های خاکی و سوسک‌ها در مسیر ۵ ساله نسبت به سایر تیمارها حداکثر بوده است که می‌توان اظهار داشت به دلیل تغییراتی که در اثر چوبکشی در سطح مسیرها ایجاد می‌شود شرایط زیستی و تغذیه‌ای برای این گروه از جانداران بهتر شده و از طرف دیگر عرصه رقابت با سایر گونه‌ها در این شرایط برای آن‌ها مساعدتر شده است. بنا بر گزارش Barros و همکاران هنگامی که خاک کوبیده می‌شود و گروه‌های فون خاک را تحت فشار قرار می‌دهد گونه‌های خاصی همچون کرم‌های خاکی غالب می‌شوند (Barros *et al.*, 2003).

در زمینه بایوماس نیز مقادیر حداقل و یا نزدیک به حداقل متعلق به مسیر ۵ ساله بوده و مقادیر حداکثر و یا نزدیک به حداکثر نیز مربوط به جنگل شاهد بوده است. به استثنای کرم‌های خاکی، هزارپایان، صدپایان و عنکبوت‌های خاکی که سهم زیادی در بایوماس مسیر ۵ ساله دارند، سایر گونه‌ها، اغلب حداقل درصد بایوماس را نسبت به دیگر تیمارها داشتند. هر تیمار (مسیر) با داشتن بیشترین مقدار از یک یا دو تاکسون نقصان کاهش سایر تاکسون‌ها را جبران نمود. به‌عنوان مثال مسیر ۵ و ۱۵ ساله با داشتن بایوماس بیشتر کرم‌های خاکی، مسیر ۱۰ ساله هزارپایان و مسیر ۲۰ ساله با داشتن مقادیر زیاد بایوماس حلزون‌ها کمبود حضور سایر گونه‌ها را جبران نموده و اختلاف میانگین بایوماس را در بین کل مسیرها کاهش داده و موجب شدند که این مقایسه در میان مسیرها معنی‌دار نگردد (جدول ۳). از طرفی بایوماس هیچ‌یک از مسیرها با جنگل شاهد خود اختلاف معنی‌داری نداشت که نشان می‌دهد این عامل پس از گذشت حدود ۵ سال از چوبکشی به حالت احیا درآمده است (جدول ۴). اما در هر صورت مقدار میانگین بایوماس کل از مسیر ۵ ساله تا ۲۰ ساله سیر صعودی داشته و حداکثر مقدار آن در مسیر ۲۰ ساله مشاهده می‌گردد.

حداکثر مقادیر تراکم، تعداد تاکسون و وفور ماکروفون‌ها مربوط به مسیر ۱۰ ساله بوده است. اما بدون در نظر گرفتن مقادیر این مسیر، سه متغیر نام برده روندی صعودی را با افزایش سن مسیرها نشان دادند که در حال نزدیک شدن به مقادیر مربوط به جنگل شاهد می‌باشد (جدول ۳).

شرایط اقلیمی، به‌ویژه رطوبت و بارندگی در بسیاری از مطالعات به‌عنوان اصلی‌ترین عوامل در تنظیم ساختار و ترکیب جوامع ماکروفون‌های خاک از آن‌ها یاد شده است (Theenhaus & Schaefer, 1995; Morón-Ríos & Huerta-Lwanga, 2006; Siira-Pietikäinen *et al.*, 2003). اما از آن‌جا که شرایط اقلیمی حاکم بر مسیرها یکسان بوده و هیچ اختلافی بین ۴ مسیر از این نظر وجود نداشته است نمی‌توان عامل اقلیم را در این زمینه اثرگذار دانست. اما دلیل مقادیر بالایی که برای مسیر ۱۰ ساله ثبت شده رطوبت بیشتر خاک سطحی و لایه لاشبرگی و هوموس است، چرا که این مسیر مشرف به دره‌ای با شیب ملایم بوده که اغلب اوقات سال از شرایط مه‌گیر برخوردار می‌باشد. به‌همین دلیل رطوبت سطح هوموس این مسیر بیشتر است.

مسیر ۱۰ ساله بیشترین وفور و بایوماس هزارپایان را داشت. هزارپایان حفارهای قدرتمندی هستند. آن‌ها خرده‌ریزخوار بوده و از برگ‌های در حال پوسیدن و سایر مواد گیاهی مرده تغذیه می‌نمایند. اما از آن جایی که این مخلوقات فاقد موم‌های کوتیکولی بر سطح اسکلت خود هستند و این موم‌ها به‌عنوان سدی در برابر کاهش رطوبت بدن عمل می‌کنند، این موجودات در نواحی مرطوب‌تر و زیر لاشبرگ‌های دارای سایه و رطوبت زیست می‌نمایند (David, 2009; O'Neill, 1969; Topp *et al.*, 2006). حضور و بایوماس بیشتر هزارپایان در مسیر ۱۰ ساله اثباتی بر این موضوع می‌باشد (جدول ۳ و ۴). اما از طرف دیگر این رطوبت مازاد باعث حضور بیشتر پوشش علفی کف توده شده و این دو موضوع فراوانی بیشتر هزارپایان و سایر تاکسون‌ها را نیز موجب شده (Mathieu *et al.*, 2009; Morón-Ríos & Huerta-Lwanga, 2006; Theenhaus & Schaefer, 1995; Siira-Pietikäinen *et al.*, 2003). مقادیر بیشتر وفور، تراکم و تعداد تاکسون‌ها در پلات‌های نمونه‌برداری این مسیر شده است. در پژوهش دیگری همبستگی زیادی میان بایوماس هزارپایان با محتوای نیتروژن و نسبت کربن/ نیتروژن لایه سطحی خاک وجود داشته است (Warren & Zou, 2002).

از آن جایی که مقادیر میانگین تراکم، تعداد تاکسون‌ها و وفور در مسیر ۵ ساله اختلاف معنی‌داری را با جنگل شاهد خود نشان داد می‌توان نتیجه گرفت که این پارامترها هنوز با گذشت حدود ۵ سال از چوبکشی نتوانسته اند احیا شوند (جدول ۳ و ۴).

مقادیر میانگین بایوماس کل، تراکم، تعداد تاکسون‌ها و وفور بی‌مهرگان در تردهای مسیرها اختلاف معنی‌داری را نشان داد (شکل‌های ۲ تا ۵). این نتایج کم‌ترین مقادیر را برای تردد شدید نشان داد (بخش نزدیک دپو). در حقیقت با حرکت به سمت انتهای مسیر یا بخش کم تردد، میانگین این متغیرها افزایش می‌یابد. این گرایش با تغییر کوبیدگی خاک ناشی از حرکت اسکیدر همسو است. در حقیقت افزایش کوبیدگی ناشی از تردد که در بخش قبلی به تفصیل به اثرات آن پرداخته شد ساختار جوامع ماکروفون خاک را تحت فشار قرار می‌دهد (Ampoorter *et al.*, 2011; Barros *et al.*, 2003; Mathieu *et al.*, 2005; Radford *et al.*, 2001).

تردد، خلل و فرج خاک را کاهش داده و خاک را سخت‌تر می‌کند. بدین ترتیب علاوه بر این که تنفس و تغذیه ماکروفون‌ها را در خاک مانع می‌شود جلوی حرکت برخی از آنان را نیز می‌گیرد چرا که بسیاری از بی‌مهرگان خاک فعالانه در حفر کانال‌های خاک عمل نکرده و از مسیرهای حفر شده توسط سایرین جهت جابجایی در خاک بهره می‌برند. از طرف دیگر خلل و فرج خاک مستقیماً بر خواص فیزیکی خاک نظیر ذخیره آب، هوادهی، نفوذپذیری و ایجاد رواناب اثر می‌گذارد (Kalisz & Powell, 2000; Lavelle *et al.* 1997; Ampoorter *et al.*, 2011).

مقایسه شاخص‌های تنوع شانون و غنای مارگالف میان مسیرهای چوبکشی روند صعودی را با افزایش سن مسیرها نشان داد (جدول ۵). کم‌ترین مقدار میانگین این ضرایب در مسیر ۵ ساله و بیشترین آن‌ها در مسیر ۲۰ ساله و جنگل‌های شاهد مشاهده شد. تحقیق حاضر نشان داد که خروج چوب، کوبیدگی خاک و تخریب آن به واسطه حرکات اسکیدر، بر تنوع و غنای جوامع فون خاک تا ۲۰ سال پس از چوبکشی باقی می‌ماند. نکته امیدوار کننده این است که اگرچه میانگین این ضرایب در تمامی مسیرها از جنگل شاهد یعنی جایی که اسکیدر هرگز از آن عبور نکرده کمتر بوده است اما فعالیت جوامع بی‌مهرگان خاک افزایشی بوده تا جایی که ساختار جمعیت را به شرایط اولیه رانده به طوری که از بین مسیرها نزدیک‌ترین شرایط جوامع به جنگل شاهد همواره مسیری بوده که ۲۰ سال از زمان آخرین تردد در آن گذشته است. ضرایب تنوع زیستی و غنا نیز روند صعودی را با کاهش تردد در میان مسیرها نشان داد (شکل ۶ و ۷). یعنی مقدار آن‌ها در بخش‌هایی که ترددشان حداقل بوده، حداکثر است. اما مقادیر آن‌ها همواره در تمامی بخش‌های مسیرها کمتر از جنگل شاهد بوده است.

از آنجایی که توزیع افراد گونه‌های مختلف در مسیر ۵ ساله غیر یکنواخت بوده است، شاخص غالبیت سیمپسون بیشتر از سایر مسیرها بوده است (جدول ۵). این بدان معنی است که در مسیر ۵ ساله یک یا دو گونه بیش از بقیه تاکسون‌ها غلبه داشته‌اند. برعکس به دلیل توزیع یکنواخت افراد گونه‌های مختلف ماکروفون در جنگل شاهد، شاخص غلبه کاهش یافته است. اما با افزایش سن مسیرهای چوبکشی شاخص غالبیت در حال کاهش و نزدیک شدن به شرایط ایده‌آل جنگل شاهد می‌باشد. در این میان، بخش کم تردد از نظر شاخص غالبیت، شرایطی مشابه با جنگل شاهد داشته است (شکل ۸).

اختلاف میان درصد وفور هر یک از سطوح تغذیه‌ای در جنگل شاهد بسیار ناچیز بوده است، یعنی تعادلی میان کلیه سطوح تغذیه‌ای وجود دارد. اما در مسیر ۵ و ۱۰ ساله اختلاف بسیار زیاد است. به طوری که در مسیر ۵ ساله حداکثر وفور مربوط به خرده‌ریزخواران و جانداران شکارگر و برعکس حداقل آن مربوط به همه‌چیزخواران و گیاه‌خواران است. همان‌طور که فقدان جانداران شکارگر در بین جوامع ماکروفون تغییر یافته منجر به فراوانی بیشتر گونه‌های خاصی از طعمه می‌گردد، حضور بیشتر آنان به هر دلیلی می‌تواند مانع از تجمع سایر جانوران در سطوح تغذیه‌ای مختلف شود. بنابراین افزایش بیش از حد جانداران شکارگر در مسیر ۵ ساله می‌تواند مزیدی بر علت عدم حضور سایر گونه‌ها باشد (Malmström *et al.*, 2009).

اختلاف فراوانی میان هر یک از سطوح تغذیه‌ای با افزایش سن مسیرها در حال نزدیک شدن به شرایط تعادل است. به نظر می‌رسد علف‌خواران به‌ویژه حلزون‌ها و لیسک‌ها حساس‌ترین موجودات نسبت به تغییرات اعمال شده در سطح مسیرها هستند. چنانچه این موضوع توسط برخی دیگر از محققین نیز تایید شده است (Siira-Pietikäinen & Haimi, 2009). زیرا حتی ۲۰ سال پس از چوبکشی فقط در مسیر ۲۰ ساله کمی نزدیک به شرایط جنگل شاهد هستند و در مابقی مسیرها بسیار از وفور کمی برخوردارند. این احتمالاً به دلیل کاهش در منابع غذایی آن‌ها مربوط می‌شود. چون ریشه پوشش گیاهان زنده بستر مسیرها پس از چوبکشی و کوبیدگی خاک بسیار کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر تیپ گیاهان به‌طور کلی پس از ایجاد تنش عوض شده و برخی گونه‌های گیاهی دیگر با سیستم‌های ریشه‌ای متفاوت جایگزین آنان می‌گردند (Siira-Pietikäinen *et al.*, 2003).

جمعیت خرده‌ریزخوار بیشترین درصد وفور را در کل مسیرها داشتند که مقدار آنان کاملاً از جنگل شاهد نیز بیشتر بوده است. این نشان می‌دهد که تغییرات ایجاد شده توسط اسکیدر محیطی مطلوب برای حضور این ارگانیسم‌ها ایجاد می‌نماید. به هر جهت سازگاری خاص این گونه‌ها را نسبت به تغییر محیط اثبات می‌نماید.

در مجموع، تغییراتی در کیفیت و کمیت ورودی مواد آلی می‌تواند بر فعالیت ارگانیسم‌های خاک اثر بگذارد. به غیر از خرده‌ریزخواران جمعیت سایر گروه‌ها از ۵ تا ۲۰ سال پس از عملیات چوبکشی روبه افزایش بوده و در حال نزدیک شدن به وضعیت جنگل شاهد بوده است. اما مقادیر کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده همواره کمتر از جنگل شاهد بوده است.

در کل، نتایج مطالعات انجام شده در زمینه جانداران خاک‌زی نشان داد که جمعیت آن‌ها در چهار مسیر مورد آزمون دچار تغییرات زیادی شده است. مسیر ۵ ساله کم‌ترین مقادیر تراکم ماکروفون، تعداد تاکسون‌ها و وفور آن‌ها به همراه شاخص‌های تنوع زیستی و غنا داشته است. همواره یک گرایش افزایشی در این متغیرها از سنین پایین مسیر (۵ سال) به سنین بالا (۲۰ سال) مشاهده شده است. تنها یک استثنا وجود داشت آن هم مسیر ۱۰ ساله که علت آن برخورداری از شرایط و هوموس مرطوب‌تر نسبت به سایر مسیرها که محیط زندگی را برای برخی ارگانیسم‌ها به‌ویژه هزارپایان، صدپایان و حلزون‌ها مساعدتر نمود. علاوه بر این، متغیرهای نام‌برده در تردد شدید کلیه مسیرها حداقل مقادیر را به خود اختصاص داده بود. به دلیل تردد کمتر با بار و بدون بار اسکیدرها (از دپو به انتهای مسیر و برعکس) و در نتیجه کوبیدگی کمتر خاک، بخش کم تردد مسیرها شرایط مطلوب‌تری برای انواع مختلف تاکسون‌های این ارگانیسم‌ها داشته است. در کل بدترین شرایط برای ماکروفون‌های خاک در تحقیق حاضر، مسیر ۵ ساله و بخش‌های پر تردد بودند که احتمالاً به دلیل مقدار کمتر مواد ارگانیک و معدنی و نیز وضعیت بدتر کوبیدگی خاک می‌باشد.

این تحقیق اثبات کرد که حتی ۲۰ سال پس از اعمال تغییرات ناشی از چوبکشی بر سطح مسیرها، شرایط بیولوژیک جانوران خاک‌زی به‌طور کامل احیا نشده اما همواره در حال احیا و بهبود بوده است.

References

- Ampoorter, E., Schrijver, A. D., Frenne, P. D., Hermy, M. and Verheyen, K. 2011.** Experimental assessment of ecological restoration options for compacted forest soils. *Ecological Engineering*, 37: 1734-1746.
- Aquino, A. M., Silva, R. F., Mercante, F. M., Correia, M. E. F., Guimaraes, M. F. and Lavelle, P. 2008.** Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. *European journal of soil biology*, 44: 191-197.
- Barros, E., Neves, A., Blanchart, E., Fernandes, E. C. M., Wandelli, E. and Lavelle, P. 2003.** Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. *Pedobiologia*, 47: 273-280.
- Battigelli, J. P., Berch, S. M. and Marshall, V. G. 1994.** Soil fauna communities in two distinct but adjacent forest types on northern Vancouver Island, British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 24: 1557-1566.
- Bautista, F., Cecilia, D. C. and Marisol, G. R. 2009.** Change in soil macrofauna in agroecosystems derived from low deciduous tropical forest on leptosols from Karstic zones. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10: 185-197.
- Bengtsson, J., Persson, T. and Lundkvist, H. 1997.** Long-term effects of logging residue addition and removal on macroarthropods and enchytraeids. *Journal of Applied Ecology*, 34(4): 1014-1022.
- Bertrand, M. and Lumaret, J. P. 1992.** The role of diplopoda litter grazing activity on recycling processes in a mediterranean climate. *Vegetado*, 99-100: 289-297.
- Brévault, T., Bikay, S., Maldès, J. M. and Naudin, K. 2007.** Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil and Tillage Research*, 97(2): 140-149.
- Cole, L., Bradford, M. A., Shaw, P. J. A. and Bardgett, R. D. 2006.** The abundance, richness and functional role of soil meso- and macrofauna in temperate grassland-A case study. *Applied Soil Ecology*, 33(2): 186-198.
- David, J. F. 2009.** Ecology of millipedes (Diplopoda) in the context of global change. *Soil Organisms*, 81(3): 719-733.
- Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F. and González-Megías, A. 2007.** Soil macroinvertebrate fauna of a Mediterranean arid system: composition and temporal changes in the assemblage. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 1916-1925.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D. 2001.** PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 9 pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
- Hazletta, P. W., Gordonb, A. M., Voroneyc, R. P. and Sibley, P. K. 2007.** Impact of harvesting and logging slash on nitrogen and carbon dynamics in soils from upland spruce forests in northeastern Ontario. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 43-57.
- Irmiler, U. 2000.** Changes in the fauna and its contribution to mass loss and N release during leaf litter decomposition in two deciduous forests. *Pedobiologia*, 44: 105-118.
- Kalisz, P. J. and Powell, J. E. 2000.** Invertebrate macrofauna in soils under old growth and minimally disturbed second growth forests of the Appalachian mountains of Kentucky. *American Midland Naturalist*, 144: 297-307.
- Laossi, K. R., Barot, B., Carvalho, D., Desjardins, T., Lavelle, P., Martins, M., Mitja D., Rendeiro, A. C., Roussin, G., Sarazin, M., Velasquez, E. and Grimaldi, M. 2008.** Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. *Pedobiologia*, 51: 397-407.
- Lavelle, P. 1996.** Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. *Biology International*, 33: 3-16.
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O. W. and Dhillion, S. 1997.** Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33: 159-193.
- Lavelle, P., Decaens, T., Aubert, M., Barota, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P. and Rossic, J. P. 2006.** Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42: 3-15.
- Malmström, A., Persson, T., Ahlströma and Gongalsky, K. K. B. and 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: 61-74.

- Mathieu, J., Grimaldi M., Jouquet, P., Rouland, C., Lavelle, P., Desjardins T. and Rossi, J.P. 2009.** Spatial patterns of grasses influence soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 586-593.
- Mathieu, J., Rossi, J. P., Mora, P., Lavelle, P., Martins, P. F. 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.
- Morón-Ríos, A. and Huerta-Lwanga, E. 2006.** Soil macrofauna of two successional evergreen cloud forest stages from the Cerro Huitepec nature reserve, San Cristóbal De Las Casas, Chiapas, México. *Interciencia*, 31(8): 611-615.
- Negrete-Yankelevich, S., Fragoso, C., Newton, A. C. and Heal, O. W. 2007.** Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. *Applied Soil Ecology*, 35: 340-355.
- O'Neill, R. V. 1969.** Adaptive Responses to Desiccation in the Millipede, *Narceus americanus* (Beauvois). *American Midland Naturalist*, 81(2): 578-583.
- Pontégnie, M., de Warnaffe, G. D. and Lebrun, P. 2005.** Impacts of silvicultural practices on the structure of hemi-edaphic macrofauna community. *Pedobiologia*, 49: 199-210.
- Radford, B. J., Wilson-Rummenie, A. C., Simpson, G. B., Bell, K. L. and Fergusson, M. A. 2001.** Compacted soil affects soil macrofauna populations in a semi-arid environment in central Queensland. *Soil Biology and Biochemistry*, 33: 1869-1872.
- Saint-Germain, M., Larrivé, M., Drapeau, P., Fahrig, L. and Buddle, C. M. 2005.** Shortterm response of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) to fire and logging in a spruce-dominated boreal landscape. *Forest Ecology and Management*, 212: 118-126.
- Siira-Pietikäinen, A. and Haimi, J. 2009.** Changes in soil fauna 10 years after forest harvestings: Comparison between clear felling and green-tree retention methods. *Forest Ecology and Management*, 258: 332-338.
- Siira-Pietikäinen, A., Haimi, J. and Siitonen, J. 2003.** Short-term responses of soil macroarthropod community to clear felling and alternative forest regeneration methods. *Forest Ecology and Management*, 172: 339-353.
- Theenhaus, A. and Schaefer, M. 1995.** The effects of clear-cutting and liming on the soil macrofauna of a beech forest. *Forest Ecology and Management*, 77: 35-51.
- Topp, W., Kappes, H., Kulfan, J. and Zach, P. 2006.** Distribution pattern of woodlice (Isopoda) and millipedes (Diplopoda) in four primeval forests of the Western Carpathians (Central Slovakia). *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 43-50.
- Tsukamoto, J. and Sabang, J. 2005.** Soil macro-fauna in an *Acacia mangium* plantation in comparison to that in a primary mixed dipterocarp forest in the lowlands of Sarawak, Malaysia. *Pedobiologia*, 49: 69-80.
- Warren, M. W. and Zou, X. 2002.** Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 170: 161-171.

Long term impacts of ground skidding on structure of soil macrofauna associations in Hyrcanian Beech Forests

D. Kartoolinejad^{1}, A. Najafi², M. Shayanmehr³*

1- Assistant professor of Forestry, Faculty of Desert Studies of Semnan University, Semnan province, Iran

2- Associate professor of Forestry, Tarbiat Modares University, Nour, Mazandaran province, Iran

3- Assistant professor of Plant Protection, Sari Agricultural science and Natural Resource University, Sari, Mazandaran province, Iran

Abstract

In this study, the effect of ground based skidding using rubber-tired skidder in changing the soil fauna associations of surface of skid trails with the age of 5, 10, 15 and 20 years were investigated in Hyrcanian Forests, north of Iran. Comparison of structural features and biological indices of soil macro-invertebrate communities living on trails showed extreme decreasing of density, number of taxa, and abundance of macrofauna in 5-year trail. Total biomass of macrofauna had not significant difference; but 5-year trail showed lowest mean value. Shannon's biodiversity and Margalef's richness indices also had minimum mean value in 5-year and maximum in 20-year trail and control forest respectively. Moreover, comparison among traffic segments showed a minimum mean value of these variables related to high traffic and maximum to low traffic segments. The results of current publication demonstrated severe impacts of skidder on soil invertebrate communities on trails surface even until 20 years. But induced impacts at macrofauna communities was actively improving and recovering during times.

Keywords: Ground skidding, macrofauna associations, biodiversity and richness indices, rubber-tired skidder, beech tree

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

Received: 6 Mar. 2012 - Accepted: 6 Nov. 2012

