مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال دهم، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۷
ص ۳۰۶-۲۹۳

فراوانی و تنوع کرم‌ها در خاک سطحی رویشگاه‌های جنگلی تخریب و احیاشدهٔ ناحیهٔ خزری

محمود توکلی فیض‌آبادی[۱]، یحیی کوچ[۲]* و مسلم اکبری‌نیا[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
[۲]استادیار گروه مرتعداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
[۳]دانشیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۹)

چکیده

کرم‌های خاکی، مهم‌ترین مشخصه در ارزیابی کیفیت و سلامت خاک اکوسیستم‌های جنگلی به‌شمار می‌آیند. وضعیت رویشگاه‌های جنگلی (تخریب‌یافته یا حفاظت‌شده) و نوع پوشش درختی از جمله عوامل مؤثر بر فراوانی و تنوع کرم‌های خاکی معرفی شده‌اند. با هدف بررسی اثر رویشگاه‌های جنگلی تخریب‌شده و احیاشدهٔ ناحیهٔ خزری بر فراوانی و تنوع این موجودات خاک‌زی، نمونه‌برداری از لاشبرگ و خاک (سطح ۲۰ ×۲۰ سانتی‌متر، عمق ۱۵ سانتی‌متر) جنگل طبیعی کمتردست‌خوردهٔ ممرز- انجیلی، جنگل طبیعی تخریب‌یافتهٔ پوشیده‌شده با تک‌درختانی از ممرز و انجیلی، و جنگلکاری‌های توسکا، بلندمازو و زربین در منطقهٔ نوشهر انجام گرفت. کرم‌های خاکی، با توجه به شکل و مشخصه‌های ظاهری، شناسایی شده و زی‌تودهٔ آنها به تفکیک هر گونه در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. به‌منظور مطالعهٔ تنوع زیستی کرم‌های خاکی از شاخص‌های تنوع سیمپسون، غنای مارگالف و یکنواختی کامارگو استفاده شد. در مجموع پنج گونهٔ مختلف کرم خاکی در رویشگاه‌های تحت مطالعه شناسایی شد. براساس نتایج، همهٔ کرم‌های خاکی شناسایی‌شده به یک خانواده (*Lumbricidae*)، چهار جنس (Lumbricus، Dendrobaena، Aporrectodea و Octolasion) و سه گروه اکولوژیک (Epigeic، Anecic و Endogeic) تعلق دارند. کرم خاکی *Dendrobaena octaedra* از گروه اکولوژیک *Epigeic* در همهٔ رویشگاه‌های تحت مطالعه در این تحقیق مشاهده شد و دارای بیشترین فراوانی بود. گونه‌های کرم خاکی متعلق به گروه‌های اکولوژیک Anecic و Endogeic در رویشگاه‌های بلندمازو، زربین و عرصهٔ تخریب‌شده یافت نشدند. در مجموع گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی تحت رویشگاه‌های جنگل طبیعی کمتردست‌خورده و توسکا، بیشترین فراوانی را داشتند که با مشخصه‌های نیتروژن لاشبرگ و خاک و همچنین pH خاک رابطهٔ مثبت معنی‌دار و با مشخصه‌های کربن و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ و خاک رابطهٔ منفی معنی‌دار نشان دادند. می‌توان نتیجه گرفت که تخریب رویشگاه‌های جنگلی، سبب کاهش فراوانی و تنوع کرم خاکی شده، درحالی که جنگلکاری عرصه‌های تخریب‌یافته، به‌ویژه با گونهٔ توسکا، تنوع و فراوانی کرم‌های خاکی را افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: جنگل طبیعی، جنگلکاری، کیفیت لاشبرگ، گروه‌های اکولوژیک کرم خاکی، منطقهٔ نوشهر.

مقدمه

احیای سطوح جنگلی تخریب‌یافته، به‌واسطهٔ جنگلکاری، اثرهای معنی‌داری بر تغییرپذیری مشخصه‌های خاک ایجاد می‌کند (Kang et al., 2018) و برخی از خدمات اکوسیستم شامل فرایندهای بیولوژیکی و بیوشیمیایی را بهبود می‌بخشد (Li et al., 2012). در این زمینه، بین گونه‌های بومی و غیربومی و همچنین گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ

* نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۲۹۳۲۳۱۳ ایمیل: yahya.kooch@modares.ac.ir

تفاوت اساسی وجود دارد و گونه‌های مختلف اثرهای متفاوتی بر خصوصیات خاک می‌گذارند (Hoogmoed et al., 2014; Kang et al., 2018). در نتیجه، ارزیابی جنگلکاری‌های انجام‌گرفته با گونه‌های مختلف جنگلی و چگونگی تأثیر آنها بر مشخصه‌های خاک از اهمیت زیادی برخوردار است (Abdul et al., 2008). به‌منظور ارزیابی روند بازسازی مناطق تخریب‌شده، از موجودات خاک‌زی به‌عنوان شاخص‌های زیستی استفاده می‌شود (Castillo et al., 2018) که در این خصوص، فراوانی و تنوع کرم‌های خاکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Menta et al., 2018). کرم‌های خاکی، گروهی از بی‌مهرگان خاک‌زی متعلق به راستهٔ Annelida و ردهٔ Oligochaeta هستند که در حدود ۳۷۰۰ گونه از آنها در جهان شناخته شده است. این جانداران از نظر فیلوژنتیکی به نه گروه اصلی شامل Megascolecidae، Acanthodrilidae، Ocnerodrilidae، Lumbricoidae، Hormogastridae، Lumbricidae، Microchaetidae، Eudrilidae و Glossoscolecidae تقسیم می‌شوند (Bayranvand & Kooch, 2016). کرم‌های خاکی از مهم‌ترین موجودات خاک‌زی هستند که در بیشتر اکوسیستم‌های زمینی یافت می‌شوند و تأثیر تعیین‌کننده‌ای در چرخهٔ مواد غذایی دارند (Wang et al., 2017). این موجودات جزء ماکروفون خاک به‌شمار می‌آیند که در تجزیهٔ اولیهٔ مواد آلی خاک دخالت ندارند، ولی در مخلوط کردن مواد آلی و ذرات معدنی در خاک از اهمیت زیادی برخوردارند. عبور مکرر مواد از بدن این جانداران سبب خرد شدن آنها می‌شود و بدین وسیله تجزیه و تبدیل آن توسط میکروارگانیسم‌ها، آسان‌تر انجام می‌گیرد و قابلیت دسترسی گیاهان به مواد غذایی را افزایش می‌دهند (Kooch et al., 2017). در رویشگاه‌های جنگلی، الگوی توزیع و تنوع کرم‌های خاکی از مشخصه‌های کیفی لاشبرگ و خاک تأثیر می‌پذیرد (Castillo et al., 2018)؛ به‌طوری که تخریب جنگل‌های طبیعی به‌شدت بر تنوع این جانداران اثرگذار است (Moghimian et al., 2013). درختان با تغییر دادن ویژگی‌های خاک از طریق تغییر در کمیت و کیفیت شیمیایی لاشبرگ، مواد آلی، نسبت کربن به نیتروژن، رطوبت و اسیدیتهٔ خاک، فراوانی و ساختار جمعیت کرم خاکی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Holdsworth et al., 2012). در این زمینه Neirynck et al (2000) بیان داشتند که افزایش زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی در بخش تحتانی گونه‌های نمدار و افرا به‌علت کوچک بودن نسبت کربن به نیتروژن خاک، در مقایسه با گونه‌های زبان‌گنجشک، بلوط و راش است. این ارتباط متقابل بین کرم‌های خاکی و پوشش گیاهی حاصلخیزی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

شناسایی کرم‌های خاکی و بررسی تنوع آنها در خصوص مطالعهٔ سلامت خاک و ارزیابی رویشگاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Menta et al., 2018). کرم‌های خاکی براساس محل زندگی در خاک، تغذیه، حفار بودن و رفتار به سه گروه اکولوژیک اپی‌ژئیک، آنسئیک و اندوژئیک دسته‌بندی می‌شوند. در زمینهٔ فعالیت و تنوع کرم‌های خاکی در مناطق مختلف جهان پژوهش‌های زیادی انجام گرفته است. در پژوهشی Rombke et al (2005)، با هدف کلاسه‌بندی اکولوژیکی خاک رویشگاه، به بررسی اثر پوشش‌های مختلف اراضی (زمین‌های زراعی، اراضی مرتعی، توده‌های جنگلکاری و طبیعی پهن‌برگ) بر فعالیت کرم‌های خاکی پرداختند و بیان کردند که فعالیت‌های زراعی سبب کاهش تراکم و زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی شد، درحالی که کرم‌های خاکی در پوشش‌های طبیعی اراضی فعالیت بیشتری داشتند. همچنین Schelfhout et al (2017) نشان دادند که گونه‌های درختی (افرا، راش، زبان‌گنجشک، کاج نوئل، بلوط و نمدار) با تغییر ویژگی‌های لاشبرگ و خاک، تأثیرات چشمگیری بر حضور و فعالیت کرم‌های اپی‌ژئیک، آنسئیک و اندوژئیک می‌گذارند. در تحقیقی دیگر،

Jacob et al. (2017) به بررسی تنوع کرم‌های خاکی در منطقهٔ پالاکاد کشور هند پرداختند و بیان کردند که در منطقهٔ تحت بررسی فقط چهار نوع کرم خاکی (*Eudrilus eugeniae*، *Lampito mauritii*، *Esinea foetida* و *Megascolex konkanensis*) فعالیت داشتند. در ایران نیز محققان مختلفی به مطالعهٔ تراکم و زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی رویشگاه‌های جنگلی پرداخته‌اند (Moghimian & Kooch, 2013; Moghimian et al., 2013; Kooch et al., 2017)، درحالی که تنها یک پژوهش (Bayranvand & Kooch, 2016) در خصوص بررسی تنوع جمعیتی کرم‌های خاکی در جنگل طبیعی (تحت پوشش شش گونهٔ درختی پهن‌برگ شامل بلوط بلندمازو، ممرز، اوجا، سفیدپلت، توسکای قشلاقی و لرگ) انجام گرفته است که براساس آن، کرم‌های خاکی شناسایی‌شده متعلق به یک خانواده (Lumbricidae)، شش جنس (Dendrobaena، Bimasto، Lumbricus، Eisenia، Aporrectodea و Octolasion) و سه گروه اکولوژیک (Epigeic، Anecic و Endogeic) بودند. گونه‌های درختی توسکا، بلوط بلندمازو و ممرز به‌ترتیب دارای بیشترین فراوانی کرم خاکی *Dendrodrilus rubidus* و گونه‌های لرگ و اوجا دارای بیشترین فراوانی کرم خاکی *Dendrobaena octaedra* بودند. با توجه به پژوهش‌های انجام‌گرفته و اهمیت شناخت و مطالعهٔ جمعیت کرم‌های خاکی در رویشگاه‌های طبیعی و دست‌کاشت جنگلی، در این تحقیق، فراوانی و تنوع گونه‌های کرم خاکی در زمینهٔ برخی مشخصه‌های کیفی لاشبرگ و خاک در رویشگاه‌های جنگلی تخریب و احیاشده بررسی می‌شود. از نتایج این تحقیق می‌توان در ارزیابی کیفیت رویشگاه‌ها و تأثیر گونه‌های درختی مختلف بر جمعیت و تنوع کرم‌های خاکی به‌عنوان شاخص‌های زیستی، استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

محدودهٔ تحقیق، طرح جنگلداری نیرنگ، با عرض جغرافیایی "۴۰، '۳۰،°۳۶ و "۳۰،'۳۷،°۳۶ و طول جغرافیایی "۲۵،'۲۸،°۵۱ و "۳۰،'۲۶،°۵۱ به مساحت ۲۵۴۴ هکتار با حداقل ارتفاع ۵۰ متر و حداکثر ارتفاع ۱۴۲۰ متر از سطح دریا، در ۵ کیلومتری شهرستان نوشهر واقع شده است. تیپ جنگلی غالب عرصه در بخش پایین‌بند، ممرز- انجیلی است که در سطوح گسترده‌ای تخریب شده است. بخشی از سطوح تخریب-یافته در قالب برنامه‌های جنگلکاری احیا شد. عرصهٔ جنگلکاری تحت مطالعه در منطقهٔ پایین‌بند ناحیهٔ خزری و در ارتفاع ۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته و جنگلکاری در سال ۱۳۶۵ با گونه‌های زربین (حدود ۶ هکتار)، بلندمازو (حدود ۸ هکتار)، توسکا (حدود ۵ هکتار) نهالکاری (فاصلهٔ کاشت ۲×۲ متر) انجام گرفته است. براساس گزارش ایستگاه کلیماتولوژی نوشهر، مقدار بارندگی سالیانه در این محدوده ۱۳۰۰ میلی‌متر است که حداقل آن در تیر و حداکثر آن در مهر است. گرم‌ترین ماه‌های سال، تیر و مرداد با میانگین دمای ۲۹/۲ درجهٔ سانتی‌گراد و سردترین ماه سال، بهمن با میانگین دمای ۲/۶ درجهٔ سانتی‌گراد است. همچنین میانگین دمای سالانه ۱۵/۹ درجهٔ سانتی‌گراد ثبت شده است (Anonymous, 2009). در تحقیق حاضر، ۴ هکتار (۲۰۰ ×۲۰۰ متر) از توده‌های ۳۱سالهٔ جنگلکاری‌شدهٔ زربین (*Cupressus sempervirens* var. horizontalis)، بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A. M.)، توسکا (*Alnus subcordata* C. A. M.) و جنگل طبیعی کمتردست‌خوردهٔ ممرز (*Carpinus betulus* L.) – انجیلی (*Parrotia persica* C. A. M.) و همچنین جنگل طبیعی تخریب‌یافته پوشیده‌شده با تک‌درختانی از ممرز و انجیلی که به‌صورت پیوسته با هم بودند و حداقل اختلاف ارتفاع از سطح دریا، حداقل تغییر درصد و جهت شیب را داشتند بررسی شد. مطابق گزارش Sheikholeslami (2016)،

تغییرات اجزای بافت: درصد شن (۲۵/۲۰-۲۰/۴۰)، درصد سیلت (۴۸/۲۰-۳۸/۶۰) و درصد رس (۳۶/۴۰-۲۹/۲۰) در خاک رویشگاه‌های تحت مطالعه تفاوت آماری معنی‌داری نداشت.

روش پژوهش

روش نمونه‌برداری، شناسایی کرم‌های خاکی و تجزیهٔ آزمایشگاهی

در اردیبهشت ۱۳۹۶، در هر یک از عرصه‌های تحت بررسی، چهار ترانسکت به طول ۲۰۰ متر پیاده و روی هر ترانسکت چهار نمونه خاک (سطح ۲۰ × ۲۰ سانتی‌متر تا عمق ۱۵ سانتی‌متری) انتخاب و در مجموع ۱۶ نمونه (با فاصلهٔ ۶۰ متر از یکدیگر) از هر رویشگاه جمع‌آوری شد. همزمان و در محل‌های نمونه‌برداری خاک از رویشگاه‌ها، نمونه‌های لاشبرگ (سطح ۲۰ × ۲۰ سانتی‌متری) نیز جمع‌آوری و همراه با نمونه‌های خاک به آزمایشگاه انتقال داده شدند (Sanji, 2017). همزمان با نمونه‌برداری در عرصه، برای شناسایی کرم‌های خاکی از روی شکل ظاهری، هر یک از آنها ابتدا به‌صورت دستی از خاک جدا و پس از شست‌وشو در آب، در ظروف حاوی محلول فرمالین ۴ درصد (Jacob et al., 2017) نگهداری شدند. کرم‌های خاکی، با توجه به شکل ظاهری (رنگ، قطر و طول بدن) و همچنین مشخصه‌هایی نظیر شکل و محل قرارگیری گلیتیلوم، محل قرارگیری اندام‌های جنسی روی سگمنت‌ها و گلیتیلوم، شکل و نوع اندام‌های جنسی و سایر مشخصات ظاهری شناسایی شدند. برای شناسایی کرم‌های خاکی از منابع مختلف (Plisko & Nxele, 2015; Saxena & Rao, 2015; Bayranvand & Kooch, 2016) استفاده شد. زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی به تفکیک هر گونه با توجه به وزنشان بعد از ۴۸ ساعت خشک شدن روی کاغذهای فیلتر در آزمایشگاه مشخص شد (Kooch et al., 2017). مقدار کربن آلی لاشبرگ به روش احتراق (Ghazanshahi, 2006) و مقدار نیتروژن آن به روش معدنی‌سازی نمونه‌ها و سپس با عمل تقطیر (Ghazanshahi, 2006) در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. رطوبت خاک به روش توزین، اسیدیته به روش پتانسیومتری از طریق دستگاه pH متر الکتریکی، کربن آلی به روش والکلی‌بلاک و نیتروژن کل به روش کجلدال اندازه‌گیری و نسبت کربن به نیتروژن نیز محاسبه شد (Ghazanshahi, 2006).

روش مطالعهٔ تنوع زیستی کرم‌های خاکی

از شاخص‌های تنوع سیمپسون و غنای مارگالف (در قالب برنامهٔ نرم‌افزاری Past) و یکنواختی کامارگو (در قالب برنامهٔ نرم‌افزاری Ecological methodology) براساس رابطه‌های ۱ تا ۳ استفاده شد (Bayranvand & Kooch, 2016).

$$S = 1 - \sum_{i=1}^{s} \left[\frac{ni(ni-1)}{N(N-1)}\right]$$

رابطهٔ ۱

S، شاخص تنوع سیمپسون؛ s، تعداد گونه؛ ni، تعداد افراد مربوط به i امین گونه؛ و N، تعداد کل افراد جامعه است.

$$R = \frac{s-1}{LnN}$$

رابطهٔ ۲

R، شاخص غنای مارگالف؛ s، تعداد گونه؛ و N، تعداد افراد است.

$$E = 1 \cdot\cdot 0 - \left[\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=i+1}^{s}\left[|P_i - P_j|/S\right]\right]$$

رابطهٔ ۳

که E، شاخص یکنواختی کامارگو؛ P_i، نسبت گونهٔ i ام به کل نمونه؛ P_j، نسبت گونهٔ j ام به کل نمونه؛ و s، تعداد گونه در نمونه است.

روش تحلیل

داده‌های جمع‌آوری‌شده در نرم‌افزار اکسل به‌عنوان بانک اطلاعات ذخیره شد. سپس به‌منظور

تجزیه‌وتحلیل و مقایسهٔ داده‌ها ابتدا نرمال بودن آنها با استفاده از آزمون شاپیرو- ویلک و همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون بررسی شد. برای بررسی وجود یا نبود اختلاف مقادیر مشخصه‌های لاشبرگ و خاک در ارتباط با رویشگاه‌های مختلف جنگلی از آنالیز واریانس یکطرفه و برای مقایسهٔ چندگانهٔ میانگین‌ها از آزمون دانکن ($P<۰/۰۵$) استفاده شد. با توجه به نرمال نبودن داده‌های مربوط به کرم‌های خاکی، مقادیر تراکم و زی‌تودهٔ کرم‌ها آزمون کروسکال‌والیس و مقادیر شاخص‌های تنوع زیستی آنها با آزمون من‌ویتنی‌یو بررسی آماری شدند. همهٔ تجزیه‌وتحلیل‌های آماری در بستهٔ نرم‌افزاری SPSS نسخهٔ ۲۳ انجام گرفت. همچنین به‌منظور آنالیز چندمتغیره و تعیین ارتباط مقادیر وفور و شاخص‌های تنوع زیستی کرم‌های خاکی با مشخصه‌های کیفی لاشبرگ در رویشگاه‌های جنگلی تحت مطالعه، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) با ایجاد ماتریس حاصل در برنامهٔ PC - ORD تحت Windows بررسی شد.

نتایج

شناسایی کرم‌های خاکی

در مجموع پنج گونهٔ مختلف کرم خاکی در خاک تحتانی رویشگاه‌های مختلف تحت مطالعه شناسایی شد. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، همهٔ کرم‌های خاکی شناسایی‌شده به یک خانواده (Lumbricidae)، چهار جنس (Lumbricus، Dendrobaena، Aporrectodea و Octolasion) و سه گروه اکولوژیک (Epigeic، Anecic و Endogeic) تعلق دارند. گونهٔ کرم خاکی *Dendrobaena octaedra* از گروه اکولوژیک Epigeic در همهٔ رویشگاه‌های تحت مطالعه در این تحقیق مشاهده شد. همچنین این گونه دارای بیشترین تراکم و فراوانی در رویشگاه‌های جنگلی تحت مطالعه است. گونه‌های کرم خاکی متعلق به گروه‌های اکولوژیک Anecic و Endogeic در رویشگاه‌های بلندمازو، زربین و عرصهٔ تخریب‌شده یافت نشدند (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین تراکم (در متر مربع) و فراوانی (درصد) کرم‌های خاکی در ارتباط با رویشگاه‌های جنگلی تحت مطالعه

ردیف	نام گونه	نام جنس	نام خانواده	گروه اکولوژیک	جنگل طبیعی	توسکا	بلندمازو	زربین	تخریب شده
۱	*Lumbricus rubellus*	Lumbricus	Lumbricidae	Epigeic	۰/۳۱ (۴۱/۸۹)	۰/۳۷ (۵۰/۰۰)	۰/۰۶ (۸/۱۱)	۰/۰۰ (۰/۰۰)	۰/۰۰ (۰/۰۰)
۲	*Dendrobaena octaedra*	Dendrobaena	Lumbricidae	Epigeic	۱/۲۵ (۴۳/۷۰)	۱/۲۵ (۴۳/۷۰)	۰/۱۲ (۴/۱۹)	۰/۱۸ (۶/۲۹)	۰/۰۶ (۲/۰۹)
۳	*Aporrectodea longa*	Aporrectdoea	Lumbricidae	Anecic	۰/۵۶ (۶۰/۲۱)	۰/۳۷ (۳۹/۷۸)	۰/۰۰ (۰/۰۰)	۰/۰۰ (۰/۰۰)	۰/۰۰ (۰/۰۰)
۴	*Octolasion cyaneum*	Octolasion	Lumbricidae	Endogeic	۰/۱۸ (۰/۶۰)	۰/۱۲ (۴۰/۰۰)	۰/۰۰ (۰/۰۰)	۰/۰۰ (۰/۰۰)	۰/۰۰ (۰/۰۰)
۵	*Aporrectodea rosea*	Aporrectdoea	Lumbricidae	Endogeic	۰/۱۲ (۱۰۰/۰۰)	۰/۰۰ (۰/۰۰)	۰/۰۰ (۰/۰۰)	۰/۰۰ (۰/۰۰)	۰/۰۰ (۰/۰۰)

اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد فراوانی کرم‌های خاکی است.

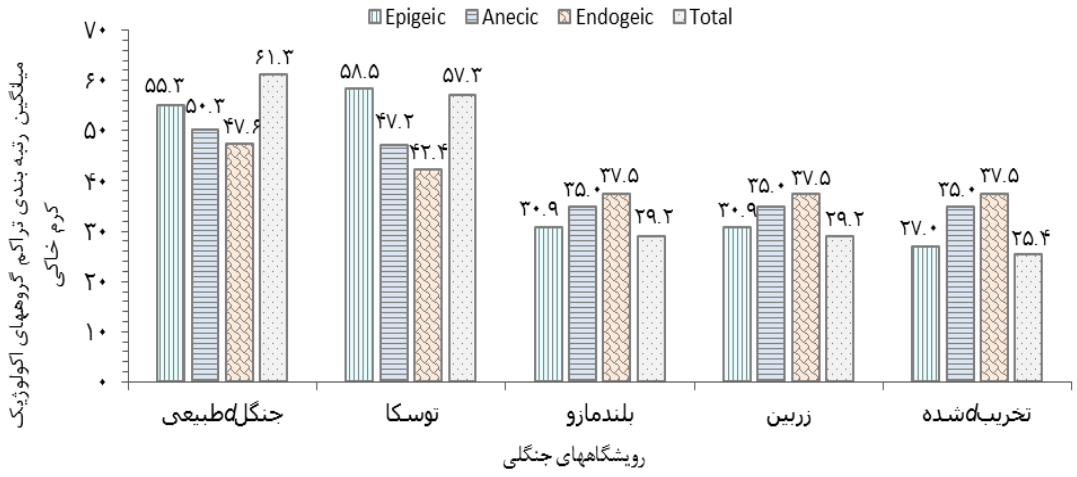
گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی

براساس نتایج آزمون کروسکال‌والیس، مقادیر تراکم و زی‌تودهٔ گروه‌های اکولوژیک کرم خاکی در رویشگاه‌های تحت مطالعه، تفاوت معنی‌داری نشان دادند (جدول ۲). بیشترین میانگین رتبه‌بندی تعداد و زی‌تودهٔ (کل) کرم‌های خاکی به جنگل طبیعی و کمترین آن به مناطق تخریب‌شده اختصاص داشت. خاک تحتانی جنگل طبیعی و جنگلکاری توسکا دارای بیشترین میانگین رتبه‌بندی فراوانی و زی‌تودهٔ گروه‌های اکولوژیک اپی‌ژئیک، آنسیک و اندوژئیک بود، درحالی که کمترین میانگین رتبه‌بندی فراوانی و زی‌تودهٔ کرم‌های اپی‌ژئیک در رویشگاه تخریب‌شده مشاهده شد. گروه‌های اکولوژیک آنسیک و اندوژئیک در رویشگاه‌های بلندمازو، زربین و تخریب‌شده یافت نشدند و از نظر میانگین رتبه‌بندی با هم برابر بودند (شکل‌های ۱ و ۲).

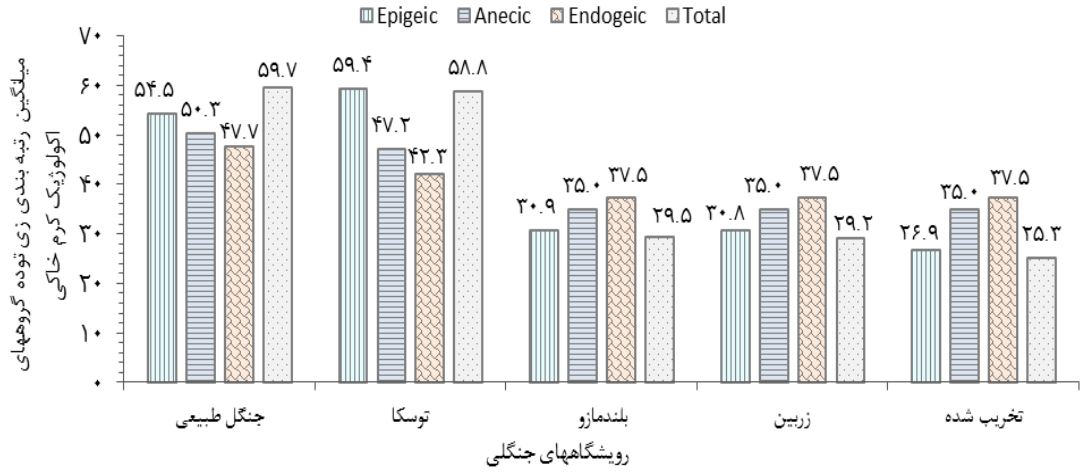
جدول ۲- نتایج آزمون کروسکال‌والیس مشخصه‌های تراکم (در متر مربع) و زی‌تودهٔ (میلی‌گرم در متر مربع) گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی

گروه‌های اکولوژیک کرم خاکی	مشخصه	مربع کای	درجهٔ آزادی	معنی‌داری
اپی‌ژئیک	تراکم	۳۵/۲۴	۴	۰/۰۰۰**
	زی‌توده	۳۵/۶۴	۴	۰/۰۰۰**
آنسیک	تراکم	۱۹/۱۸	۴	۰/۰۰۱**
	زی‌توده	۱۹/۱۵	۴	۰/۰۰۱**
اندوژئیک	تراکم	۱۱/۴۶	۴	۰/۰۲۲*
	زی‌توده	۱۱/۶۹	۴	۰/۰۲۰*
مجموع کرم‌های خاکی	تراکم	۴۴/۲۸	۴	۰/۰۰۰**
	زی‌توده	۴۳/۲۸	۴	۰/۰۰۰**

** و * : معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد آماری



شکل ۱- میانگین رتبه‌بندی تراکم گروه‌های اکولوژیک کرم خاکی در ارتباط با رویشگاه‌های جنگلی تحت مطالعه



شکل ۲- میانگین رتبه‌بندی زی‌توده گروه‌های اکولوژیک کرم خاکی در رویشگاه‌های جنگلی تحت مطالعه

تنوع زیستی کرم‌های خاکی

نتایج حاکی از آن است که مقادیر شاخص‌های تنوع سیمپسون، غنای مارگالف و یکنواختی کامارگو در رویشگاه جنگلی طبیعی و جنگلکاری توسکا از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (جدول ۳)؛ درحالی که رویشگاه جنگل طبیعی دارای بیشترین میانگین رتبه‌بندی مقادیر شاخص‌های تنوع زیستی کرم‌های خاکی است و در بین توده‌های جنگلکاری‌شده، حداکثر میانگین رتبه‌بندی شاخص‌های تنوع زیستی در رویشگاه توسکا مشاهده شد (شکل ۳). در رویشگاه‌های بلندمازو، زربین و رویشگاه تخریب‌شده مقادیر شاخص‌های تنوع زیستی صفر محاسبه شد.

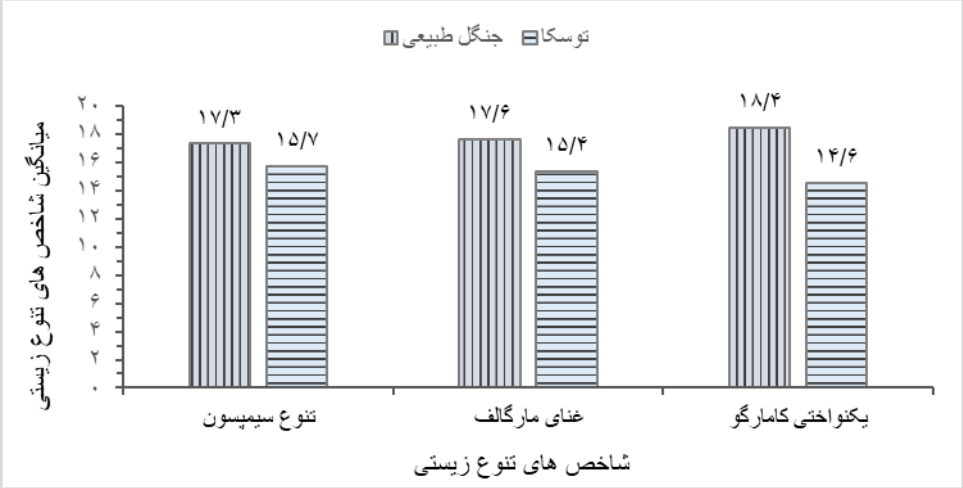
لایهٔ آلی و معدنی خاک

براساس نتایج، بیشترین مقادیر کربن و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ در تودهٔ جنگلکاری بلندمازو مشاهده شد، درحالی که بیشترین مقدار نیتروژن در جنگلکاری توسکا ثبت شد. همچنین کمترین نسبت کربن به نیتروژن به این رویشگاه تعلق داشت که تفاوت معنی‌داری با رویشگاه جنگل طبیعی نشان نداد. در بین مشخصه‌های لایهٔ معدنی خاک، حداقل نیتروژن و رطوبت خاک به مناطق تخریب‌شده اختصاص داشت. بیشترین مقادیر نیتروژن و pH خاک در خاک تحتانی رویشگاه‌های جنگل طبیعی و توسکا به ثبت رسید. همچنین رویشگاه جنگل طبیعی، بیشترین مقدار کربن آلی خاک را به خود اختصاص داد. حداکثر رطوبت خاک نیز در رویشگاه بلندمازو ثبت شد که با رویشگاه‌های جنگل طبیعی، توسکا و زربین اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۴). نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) حاکی از آن است که بیشترین مقادیر شاخص‌های تنوع زیستی و فعالیت کرم‌های خاکی در رویشگاه‌های جنگل طبیعی و جنگلکاری توسکا است که با مقادیر نیتروژن لاشبرگ و خاک و همچنین pH خاک ارتباط مستقیمی دارد و همچنین با مقادیر زیاد نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ و خاک رابطه منفی نشان می‌دهد. رویشگاه‌های بلندمازو، زربین و تخریب‌شده، بیشترین مقادیر کربن و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ و خاک را داشته و با شاخص‌های تنوع زیستی و فعالیت کرم‌های خاکی رابطهٔ عکس دارند (شکل ۴).

جدول ۳- نتایج آزمون من‌ویتنی‌یو برای شاخص‌های تنوع زیستی کرم‌های خاکی در رویشگاه‌های جنگل طبیعی و توسکا

شاخص	من‌ویتنی‌یو	مقدار Z	معنی‌داری
تنوع سیمپسون	۱۱۵	-۰/۵۴۱	۰/۵۸۸ ns
غنای مارگالف	۱۱۰	-۰/۷۳۷	۰/۴۶۱ ns
یکنواختی کامارگو	۹۷	-۱/۳۸۶	۰/۱۶۶ ns

ns: نبود معنی‌داری آماری. به‌دلیل صفر بودن همهٔ مقادیر مشخصه‌های تنوع زیستی تحت مطالعه در رویشگاه‌های بلندمازو، زربین و تخریب‌شده، این سه رویشگاه اصلاً در آنالیز آماری وارد نشدند و آنالیز فقط برای رویشگاه‌هایی انجام گرفت که برای تنوع زیستی دارای مقادیر عددی بودند.

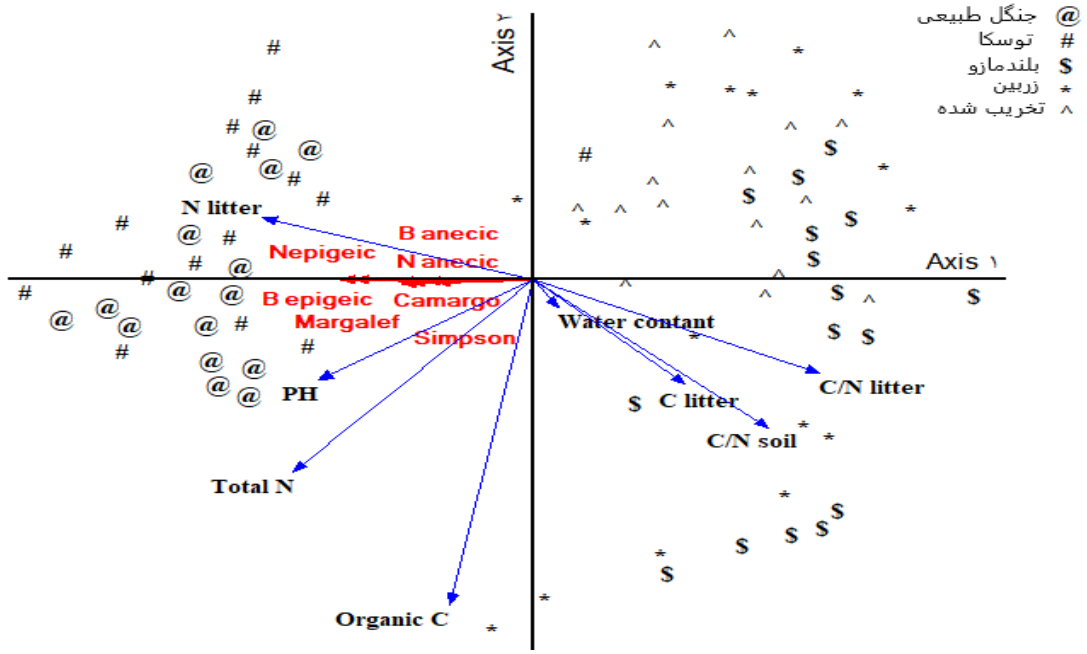


شکل ۳- میانگین رتبه‌بندی شاخص‌های تنوع زیستی کرم‌های خاکی در رویشگاه‌های جنگلی تحت مطالعه

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس یکطرفه و میانگین (± اشتباه معیار) مشخصه‌های کیفی لاشبرگ و خاک در ارتباط با رویشگاه‌های جنگلی تحت مطالعه

مشخصه / رویشگاه	جنگل طبیعی		توسکا		بلندمازو		زربین		تخریب‌یافته		مقدار F	معنی‌داری
	میانگین	اشتباه معیار	میانگین	اشتباه معیار	میانگین	اشتباه معیار	میانگین	اشتباه معیار	میانگین	اشتباه معیار		
کربن لاشبرگ (درصد)	۴۵/۷۸bc	۱/۷۳	۴۲/۱۰c	۱/۸۵	۵۳/۶۴a	۱/۳۶	۴۸/۱۳b	۲/۶۲	۴۷/۵۳bc	۱/۵۲	۵/۰۱۳	۰/۰۰۱**
نیتروژن لاشبرگ (درصد)	۲/۲۶b	۰/۰۸	۲/۷۳a	۰/۲۴	۰/۷۴c	۰/۰۳	۰/۷۱c	۰/۰۲	۰/۷۱c	۰/۰۳	۶۷/۱۰۱	۰/۰۰۰**
نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ	۲۰/۵۹b	۱/۰۳	۱۷/۶۶b	۱/۸۹	۷۳/۹۴a	۲/۳۷	۶۸/۷۴a	۴/۷۵	۶۹/۰۲a	۴/۱۷	۷۹/۳۷۸	۰/۰۰۰**
کربن آلی خاک (درصد)	۴/۳۹a	۰/۲۴	۴/۰۰a	۰/۲۶	۴/۵۹a	۰/۵۵	۴/۱۲a	۰/۷۲	۲/۲۰b	۰/۱۳	۴/۶۵۷	۰/۰۰۲**
نیتروژن کل خاک (درصد)	۰/۴۷a	۰/۰۲	۰/۳۹b	۰/۰۳	۰/۲۴c	۰/۰۲	۰/۲۴c	۰/۰۳	۰/۲۳c	۰/۰۱	۱۴/۸۲۴	۰/۰۰۰**
نسبت کربن به نیتروژن خاک	۹/۲۰c	۰/۱۸	۱۰/۵۴c	۰/۴۳	۱۸/۲۹a	۰/۷۷	۱۶/۳۰ab	۰/۸۶	۱۴/۸۸b	۱/۰۱	۲۸/۵۲۰	۰/۰۰۰**
pH	۷/۲۲a	۰/۰۵	۷/۰۷a	۰/۰۷	۶/۱۶b	۰/۱۰	۶/۴۸b	۰/۲۰	۶/۴۵b	۰/۱۷	۱۰/۸۲۰	۰/۰۰۰**
رطوبت خاک (درصد)	۳۸/۳۳a	۱/۸۰	۳۶/۳۲a	۱/۹۵	۴۲/۵۰a	۲/۶۸	۴۱/۸۰a	۲/۵۱	۲۹/۴۶b	۱/۲۸	۶/۱۸۰	۰/۰۰۰**

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد آماری. حروف انگلیسی متفاوت بیانگر تفاوت آماری معنی‌دار در رویشگاه‌های جنگلی تحت مطالعه است.



شکل ۴- ارتباط رویشگاه‌های جنگلی، مشخصه‌های کیفی لاشبرگ و خاک، شاخص‌های تنوع زیستی و فراوانی و زی‌تودهٔ گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی در آنالیز PCA (فاکتور اول؛ مقدار ویژه= ۳/۴۲، درصد واریانس= ۴۲/۸۳، درصد واریانس تجمعی= ۴۲/۸۳ و فاکتور دوم: مقدار ویژه= ۱/۵۸، درصد واریانس= ۱۹/۸۵، درصد واریانس تجمعی= ۶۲/۶۹).

بحث

در پژوهش حاضر، تفاوت کیفیت لاشبرگ رویشگاه‌های جنگلی مختلف (طبیعی، توسکا، بلندمازو، زربین و تخریب‌شده) با ایجاد شرایط متفاوت، تغییرات معنی‌داری را در شدت فعالیت (تراکم و زی‌توده) کرم‌های خاکی به‌وجود آورده است. بنابر نتایج این تحقیق، کمترین تراکم و زی‌تودهٔ گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی به‌ترتیب در رویشگاه‌های تخریب‌شده، زربین و بلندمازو مشاهده شد که ممکن است به‌دلیل تولید لاشبرگ‌های با کیفیت کمتر (مقدار کمتر نیتروژن، سطوح بالای کربن آلی و نسبت C/N) باشد، درحالی که رویشگاه جنگل طبیعی و توسکا به‌دلیل داشتن لاشبرگ‌هایی با کیفیت بهتر (مقدار زیاد نیتروژن، سطوح پایین کربن آلی و نسبت C/N)، شرایط ایده‌آلی را برای فعالیت انواع مختلف کرم‌های خاکی فراهم آورده است (Kooch et al., 2017). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تفاوت‌های ذاتی کیفیت لاشبرگ در بین گونه‌های درختی به‌طور مستقیم از طریق ترکیبات شیمیایی لاشبرگ و به‌طور غیرمستقیم از طریق اثرگذاری بر اندازه و ترکیب جوامع کرم خاکی، اساساً شرایط متفاوتی را در خاک و چرخهٔ مواد غذایی ایجاد می‌کند (Schelfhout et al., 2017; Castillo et al., 2018). با این تفاسیر، در مناطقی که کیفیت لاشبرگ بهتر است، تراکم و زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی نیز بیشتر است و با حاصلخیزی خاک رابطهٔ مستقیم دارد. به‌طور کلی، بیشتر کرم‌های خاکی محیط‌هایی با مواد غذایی غنی و لاشبرگ‌هایی را ترجیح می‌دهند که نسبت کربن به نیتروژن کوچک‌تری دارند (Kooch et al., 2017). همچنین به‌دلیل حرکت آهستهٔ کرم‌های خاکی (به‌طور معمول حدود ۱۰-۵ متر در سال جابه‌جا می‌شوند)، حضور آنها به‌شدت

تحت تأثیر ویژگی‌های خاک نظیر رطوبت، حرارت، pH، مواد آلی و نسبت کربن به نیتروژن قرار دارد (Sigurdsson & Gudleifsson, 2014). بر همین اساس، مطابق با نتایج بررسی حاضر، مشاهده شد که محتواهای کربن و نیتروژن خاک با شدت فعالیت و تنوع کرم‌های خاکی در ارتباط است، به‌طوری که مقدار کم کربن (Sackett et al., 2013) و مقدار زیاد نیتروژن (Sigurdsson & Gudleifsson, 2014) در خاک تحتانی جنگل طبیعی و توسکا، سبب افزایش فراوانی و تنوع کرم‌های خاکی در این رویشگاه‌ها شده است. از طرفی، کاهش نیتروژن و pH خاک، در بخش تحتانی رویشگاه‌های بلندمازو، زربین و تخریب‌شده، سبب کاهش تراکم و تنوع کرم‌های خاکی در این رویشگاه‌ها شده است (Moghimian et al., 2013). در همین زمینه، Singh et al (2016) بیان کردند که برخی مشخصه‌های خاک از جمله رطوبت، pH، محتوای کربن و همچنین تنوع پوشش گیاهی بر پراکنش و حضور کرم‌های خاکی اثرگذارند. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، اختلاف کیفیت مواد آلی تولیدشده توسط گونه‌های مختلف و تفاوت در سرعت تجزیه، سبب تغییر pH تحت رویشگاه‌های مختلف شده است (Hagen-Thorn et al., 2004)، همچنین در رویشگاه تخریب‌شده، باز شدن سطح تاجی آشکوب بالا و افزایش آبشویی، موجب اسیدی شدن خاک این رویشگاه شده است که ممکن است فعالیت کرم‌های خاکی را تحت تأثیر قرار دهد. در پژوهش حاضر کمترین مقدار رطوبت، به خاک رویشگاه تخریب‌شده اختصاص داشت که سبب کاهش حضور و فعالیت کرم‌های خاکی در این منطقه شده است، درحالی که احیای مناطق تخریب‌یافته، شرایط ایده‌آل‌تری را از نظر مشخصهٔ محتوای رطوبت برای حضور کرم‌های خاکی فراهم آورده است. در همین زمینه، Kooch et al. (2017) رطوبت بیشتر خاک را دلیل اصلی افزایش فراوانی کرم‌ها در خاک گونهٔ ممرز (در مقایسه با خاک گونه‌های افراپلت، لرگ و بلندمازو)، در عرصهٔ جنگلی جلگه‌ای واقع در شهرستان نور معرفی کرده‌اند.

گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی، نسبت به کیفیت مواد آلی (لاشبرگ) و خاک حساسیت‌های مختلفی را نشان می‌دهند (Menta et al., 2018). ازآنجا که گونه‌های کرم خاکی می‌توانند شاخص‌های زیستی اکوسیستم‌های جنگلی باشند، مطالعهٔ جمعیت آنها در سطح گونه می‌تواند جزئیات بیشتری را در پاسخ به شرایط محیطی نشان دهد (Schelfhout et al., 2017). نتایج این تحقیق نیز نشان داد که کرم‌های آنسیک (*A. longa*) و کرم‌های اندوژئیک (*A. rosea* و *O. cyaneum*) در مقایسه با کرم‌های اپی‌ژئیک (*L. rubellus* و *D. octaedra*)، نسبت به خصوصیات لاشبرگ و خاک حساسیت بیشتری را نشان دادند. در همین زمینه، Römbke et al. (2005) اشاره داشتند که کرم‌های خاکی *A. longa* و *A. rosea* در خاک‌های رسی، لومی و شنی با مقادیر pH بالاتر، بیشتر حضور می‌یابند، درحالی که گونه‌های *D. octaedra* و *L. rubellu* نسبت به گونه‌های دیگر در pH کمتر حضور بیشتری داشتند. مطابق با نتایج بررسی حاضر، گونهٔ *D. octaedra* از گروه اکولوژیک اپی‌ژئیک در تمام رویشگاه‌های تحت مطالعه حضور داشت، درحالی که گونه‌های متعلق به گروه‌های اکولوژیک آنسیک و اندوژئیک به‌دلیل حساسیت زیاد (Schelfhout et al., 2017)، در رویشگاه‌های بلندمازو، زربین و تخریب‌شده یافت نشدند. در یک بررسی، Tiunov et al. (2006) بیان کردند که گونهٔ *D. octaedra* به‌دلیل قابلیت‌های چشمگیری مانند نرخ زیاد باروری، مهاجرت بین طبقات مختلف خاک جنگل، مقاومت به سرما و حضور در pH کم و بستر با کیفیت نامطلوب در مناطق مختلفی گسترش پیدا کرده است. این قابلیت‌ها می‌تواند دلیل حضور این گونه در همهٔ رویشگاه‌های تحت مطالعه باشد. همسو با نتایج پژوهش حاضر، Bayranvand & Kooch (2016) نیز در بررسی خود گزارش کردند که گونهٔ *D. octaedra*

تحت گونه‌های لرگ، توسکا قشلاقی و اوجا با pH بیشتر، فراوانی به‌نسبت زیادی داشت. یافته‌های این تحقیق حاکی از آن است که بیشترین شاخص‌های تنوع زیستی کرم‌های خاکی به رویشگاه جنگلی طبیعی اختصاص داشت و در بین عرصه‌های جنگلکاری‌شده، رویشگاه توسکا بیشترین مقادیر شاخص تنوع سیمپسون، غنای مارگالف و یکنواختی کامارگو را داشت. بهترین کیفیت لاشبرگ و مقدار pH نیز در رویشگاه‌های جنگلی طبیعی و جنگلکاری توسکا ثبت شد. در همین زمینه Mommad-Nejad Kiasari et al. (2011) اذعان داشتند که تنوع، غنا و یکنواختی موجودات خاک‌زی در عرصه‌های طبیعی به‌مراتب بیشتر از عرصه‌های جنگلکاری‌شده است. همچنین آنها اذعان داشتند که در بین عرصه‌های جنگلکاری‌شده، جنگلکاری توسکا از نظر شاخص تنوع و غنا مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده است. نتایج بررسی Schelfhout et al. (2017) نیز نشان داد که بین کیفیت لاشبرگ، pH خاک و تنوع کرم‌های خاکی همبستگی قوی وجود دارد که با یافته‌های این تحقیق همسوست.

نتیجه‌گیری

رویشگاه‌های جنگلی مختلف از طریق تفاوت در ویژگی‌های لاشبرگ و تغییر خصوصیات خاک تراکم و تنوع کرم خاکی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این بررسی، پنج گونه کرم خاکی متعلق به خانوادهٔ Lumbricidae یافت شدند که به تغییرات مشخصه‌های لاشبرگ و خاک، به‌ویژه کرم‌های آنسیک و اندوژئیک، واکنش‌های متفاوتی داشته‌اند. گونهٔ *Denderobaena octaedra* از گروه اکولوژیک اپی‌ژئیک در همهٔ رویشگاه‌های تحت مطالعه یافت شد، درحالی که درصد حضور دیگر گونه‌های کرم خاکی شناسایی‌شده بسیار متغیر بود. در مجموع، نتایج حاکی از آن است که تخریب جنگل با افت شاخص‌های کیفیت مواد آلی و خاک سبب کاهش فعالیت و تنوع کرم خاکی می‌شود، درحالی که احیای مناطق تخریب‌شده با استفاده از جنگلکاری با گونه‌های مختلف جنگلی با ایجاد شرایط مناسب، فراوانی و تنوع این جانداران را افزایش داده است. براساس نتایج این پژوهش، در بین رویشگاه‌های احیاشده، بیشترین فراوانی و تنوع کرم‌های خاکی در خاک تحتانی رویشگاه توسکا مشاهده شد.

References

Abdul, G., Muhammad, H., & Alvi, Z.H. (2008). Biodiversity of earthworm species from various habitats of District Narowal, Pakistan. *International Journal of Agriculture and Biology*, *10*(6), 681-684.

Anonymous (2009). Forest management planning of Neyrang (district 7), Natural resources office, Mazandaran Province-Nowshahr, 309p.

Bayranvand, M, & Kooch, Y. (2016). Effect of broadleaf species on the frequency and diversity of earthworms in plain forest ecosystem. *Iranian Journal of Soil Biology*, *4*(1), 15-27.

Castillo, P.R., Marian, L., Marian, F., Günter, S., Espinosa, C.I., Maraun, M., & Scheu, S. (2018). Response of oribatid mites to reforestation of degraded tropical montane pastureland. *European Journal of Soil Biology*, *84*(2), 35-41.

Ghazanshahi, J. (2006). *Soil and plant analysis*, Hooma Publications, 272p.

Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K., & Nihlgård, B. (2004). The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, *195*(3), 373-384.

Holdsworth, A.R., Frelich, L.E., & Reich, P.B. (2012). Leaf litter disappearance in earthworm-invaded northern hardwood forests: role of tree species and the chemistry and diversity of litter. *Ecosystems*, *15*(6), 913-926.

Hoogmoed, M., Cunningham, S.C., Baker, P.J., Beringer, J., & Cavagnaro, T.R. (2014). Is there more soil carbon under nitrogen-fixing trees than under non-nitrogen-fixing trees in mixed-species restoration plantings? *Agriculture, Ecosystems & Environment, 188*(4), 80-84.

Jacob, D., Sreelakshmi, K., Rajan, T.S., Saminathan, K., & Kathireswari, P. (2017). Soil analysis and diversity of earthworms in the polluted area of Palakkad, Kerala and Kanuvai, Coimbatore, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6*(4), 1594-1599.

Kang, H., Gao, H., Yu, W., Yi, Y., Wang, Y., & Ning, M. (2018). Changes in soil microbial community structure and function after afforestation depend on species and age: Case study in a subtropical alluvial island. *Science of the Total Environment*, *625*(8), 1423-1432.

Kooch, Y., Samadzadeh, B., & Hosseini, S.M. (2017). The effects of broad-leaved tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. *Catena*, *150*(3), 223-229.

Li, W., Yan, M., Qingfeng, Z., & Zhikaun, J. (2012). Effects of vegetation restoration on soil physical properties in the wind-water erosion region of the northern loess Plateau of China. *Clean-Soil, Air, Water, 40*(1), 7-15.

Menta, C., Conti, F.D., Pinto, S., & Bodini, A. (2018). Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecological Indicators*, *85*(5), 773-780.

Moghimian, N., & Kooch, Y. (2013). The effect some of physiographic factors and soil physico-chemical features of hornbeam forest ecosystem on earthworms biomass. *Journal of Wood and Forest Science and Technology, 20*(2), 1-21.

Moghimian, N., Habashi, H., & Kooch, Y. (2013). Response of soil mesofauna to different afforested types in the North of Iran. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 3 (4): 34-45.

Mommad-Nejad Kiasari, Sh., Sagheb-Talebi, Kh., Rahmani, R., & Amozad, M. (2011). Comparison of soil invertebrate under natural and afforested areas in Sari Region. *Iranian Journal of Natural Resources*, *6*(2), 118-125.

Neirynck, J., Mirtcheva, S., Sioen, G., & Lust, N. (2000). Impact of Tilia platyphyllos Scop., Fraxinus excelsior L., Acer pseudoplatanus L., Quercus robur L. and Fagus sylvatica L. on earthworm biomass and physico-chemical properties of a loamy topsoil. *Forest Ecology and Management*, *133*(3), 275-286.

Plisko, J.D. & Nxele, T.C. (2015). An annotated key separating foreign earthworm species from the indigenous South African taxa (Oligochaeta: Acanthodrilidae, Eudrilidae, Glossoscolecidae, Lumbricidae, Megascolecidae, Microchaetidae, Ocnerodrilidae and Tritogeniidae). *African Invertebrates*, *56*(3), 663-708.

Römbke, J., Jänsch, S., & Didden, W. (2005). The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *62*(2), 249-265.

Sackett, T. E., Smith, S. M., & Basiliko, N. (2013). Indirect and direct effects of exotic earthworms on soil nutrient and carbon pools in North American temperate forests. *Soil Biology and Biochemistry*, *57*, 459-467.

Sanji, R. (2017). Comparison of litter, soil biology and biochemistry indices under natural and afforested stands in Sari Region. M. Sc. thesis of Forestry, Tarbiat Modares University, 151p.

Saxena, K.G., & Rao, K.S. (2015). *Soil Biodiversity: Inventory, Functions and Management*. Bishen singh mahendrapal singh publishing, ISBN 978-81-211-0697-9.

Schelfhout, S., Mertens, J., Verheyen, K., Vesterdal, L., Baeten, L., Muys, B., & De Schrijver, A. (2017). Tree species identity shapes earthworm communities. *Forests*, *8*(3), 85-92.

Sheikholeslami, E. (2016). The effects of broad-leaved and needle-leaved forest stands on the composition and diversity of understory species and some characteristics of soil fertility (Case Study: Forest management planning of Neyrang), Sari University, 89p.

Sigurdsson, B. D., & Guoleifsson, B. E. (2014). Impact of afforestation on earthworm populations in Iceland. *Iceland Agriculture Science, 26*(2), 21-36.

Singh, S., Singh, J., & Vigo, A. P. (2016). Effect of abiotic factors on the distribution of earthworms in different land use patterns. *The Journal of Basic and Applied Zoology, 74*(2), 41-50.

Tiunov, A.V., Hale, C.M., Holdsworth, A.R., & Vsevolodova-Perel, T.S. (2006). Invasion patterns of Lumbricidae into the previously earthworm-free areas of northeastern Europe and the western Great Lakes region of North America. In *Biological Invasions Belowground: Earthworms as Invasive Species* (pp. 23-34). Springer, Dordrecht.

Wang, X., Wang, S., Teng, M.J., Lin, X.F., Wu, D., & Sun, J. (2017). Impacts of two typical earthworms on soil microbial community structure and physicochemical properties in a greenhouse vegetable field. *Acta Ecologica Sinica, 37*(3), 1–11.

Iranian Journal of Forest
Vol. 10, No. 3, Autumn 2018
pp. 293-306

Frequency and diversity of worms in topsoil of degraded and reclaimed forest habitats of the Caspian region

M. Tavakoli Feizabadi[1], Y. Kooch[2*], and M. Akbarinia[3]

[1]M. Sc. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran
[2]Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran
[3]Associate Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran

(Received: 9 February 2018, Accepted: 30 May 2018)

Abstract

Earthworms are considered as the most important characteristics in assessing the quality and soil health of forest ecosystems. The status of forest habitats (degraded or protected) and the type of tree cover are some of the factors affecting the frequency and diversity of earthworms. With the aim of investigating the effect of degraded and reclaimed forest habitats of the Caspian region on the earthworm abundance and diversity, sampling of litter and soil (20 × 20 cm, 15 cm depth) were performed under the less degraded of hornbeam-iron tree natural forest, degraded natural forests covered by individuals of hornbeam-iron tree, plantations of alder, oak and cypresses in Nowshahr area. Earthworms were identified according to their shape and appearance, and their biomass was measured at the laboratory. In order to study the earthworm's biodiversity, Simpson diversity and Margalef richness indices and Camargo evenness were employed. A total of 5 different types of earthworms were identified in the studied habitats. According to the results, all of the earthworms identified were belonged to a family (Lumbricidae), four genera (Lumbricus, Dendrobaena, Aporrectodea and Octolasion) and three ecological *groups* (Epigeic, Anecic and Endogeic). The *Dredrobaena octaedra* earthworms from the Epigeic ecological group in all studied habitats were observed in this study and have the highest frequency. The earthworm species belonging to the Anecic and Endogeic ecological groups were not found in the oak, cypresses and degraded areas. In general, ecological groups of earthworms under less degraded natural forest and alder habitats were the most frequent and they had positively significant relation with litter and soil nitrogen and also soil pH, whereas they were negatively related to litter and soil carbon and carbon to nitrogen ratio. As a conclusion, the degradation of forest habitats has reduced the frequency and diversity of earthworms, while the reforestation of degraded forests, especially alder plantation, has increased diversity and abundance of earthworms.

Keywords: Natural forest, plantation, litter quality, earthworm ecological groups, Nowshahr region.

∗Corresponding author Tel: +989112932313 Email: yahya.kooch@modares.ac.ir