

اثر گونه‌های درختی پهن‌برگ بر فراوانی و تنوع کرم‌های خاکی در اکوسیستم جنگلی جلگه‌ای

محمد بیرانوند و یحیی کوچ¹

دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل دانشگاه تربیت مدرس؛ m.bayranvand@gmail.com

استادیار دانشگاه تربیت مدرس؛ yahya.kooch@modares.ac.ir

دریافت: 93/5/9 و پذیرش: 94/11/28

چکیده

کرم‌های خاکی مهمترین خرده‌ریز خوار در خاک جنگل‌های مناطق معتدله محسوب می‌شوند. در جنگل‌های جلگه‌ای، کرم‌های خاکی نقش بسیار مهمی بر مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک دارند. با هدف بررسی تأثیر گونه‌های درختی پهن‌برگ بر وفور و تنوع کرم‌های خاکی و برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، این تحقیق در جنگل جلگه‌ای واقع در شهرستان نور انجام شد. در اردیبهشت ماه، نمونه‌برداری از خاک (بعاد 50 × 50 سانتی‌متر) تحت پوشش شش گونه درختی پهن‌برگ (بلوط بلندمازو، ممرز، اوجا، سفیدپلت، توسکا قشلاقی و لرگ) از عمق 0 تا 20 سانتی‌متری خاک صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که کرم‌های خاکی شناسایی شده متعلق به یک خانواده (Lumbricidae)، شش جنس (*Epigeic*، *Aporrectodea Eisenia Lumbricus Bimasto Dendrobaena*) و 3 گروه اکولوژیک (*Endogeic* و *Anecic*) بودند. کرم‌های خاکی *Dendrodrilus rubidus* و *Dendrobaena octaedra* از گروه اکولوژیک *Epigeic* دارای بیشترین فراوانی بودند. گونه‌های درختی توسکا، بلوط بلندمازو و ممرز به ترتیب دارای بیشترین وفور کرم خاکی *Dendrodrilus rubidus* و گونه‌های لرگ و اوجا دارای بیشترین فراوانی کرم‌خاکی *Dendrobaena octaedra* بودند. میانگین وفور گروه‌های اکولوژیک کرم‌خاکی و شاخص‌های تنوع زیستی آنها در ارتباط با گونه‌های درختی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. بافت و pH خاک تأثیر معنی‌داری بر گونه‌های مختلف درختی داشتند، در حالی که درصد رطوبت خاک تأثیر معنی‌داری نداشت. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که کرم‌های خاکی می‌توانند به عنوان یک شاخص زیستی در ارزیابی اکوسیستم‌های جنگلی مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: جنگل پهن‌برگ، کرم خاکی، بافت خاک، تنوع زیستی، لمبریسیده.

¹ نویسنده مسئول، آدرس: نور، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، گروه جنگلداری

مقدمه

می‌شود (رومیک و همکاران، 2005). کرم‌های خاکی باعث اختلاط مواد آلی سطح خاک با اعماق پایین‌تر (شوستر و همکاران، 2001) و تولید مواد آلی-معدنی (ویلکوکس و همکاران، 2002) می‌شوند.

توزیع اندازه خاکدانه‌ها در لایه‌های بالایی خاک تحت تأثیر شدید فعالیت کرم‌های خاکی می‌باشد (اسنایدر و همکاران، 2009). کرم‌های خاکی، خاک‌های مرطوب را برای زندگی ترجیح می‌دهند (اسنایدر و همکاران، 2009) و با توجه به محل زندگیشان در خاک، تغذیه، حفار بودن و رفتار آنها به سه گروه اکولوژیک اپی‌ژئیک، آنسیک و اندوژئیک دسته‌بندی می‌شوند (لامانده و همکاران، 2003). اپی‌ژئیک در عمق 1 تا 2/5 میلی‌متر، در لایه‌های سطحی خاک زندگی کرده، به ندرت حفارند و تأثیر زیادی بر ساختمان خاک ندارند. آنسیک با قطر 4 تا 8 میلی‌متر، در لایه‌های بالایی خاک زندگی کرده و از باقیمانده مواد آلی تغذیه می‌کند. این گروه کرم‌های خاکی لانه‌های نیمه‌دائمی در خاک ایجاد می‌کنند. اندوژئیک‌ها با قطر 2 تا 4/5 میلی‌متر، در لایه‌های پایینی خاک زندگی می‌کنند و با حفاری زیاد در خاک، باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب و هوا در خاک و حرکت مواد و املاح به عمق‌های پایین‌تر و نفوذ ریشه در خاک را تسهیل می‌کند (کونگ و همکاران، 2000; رومیک و همکاران، 2005).

شناسایی کرم‌های خاکی و بررسی تنوع آنها در خصوص مطالعه سلامت خاک و ارزیابی رویشگاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (آپائون و همکاران، 2010). روش‌های مختلفی به منظور شناسایی و رده‌بندی کرم‌های خاکی توسط پژوهشگران معرفی و بکار گرفته شده است (ریخت‌شناسی، DNA بارکدینگ و RNA)، که از بین این روش‌ها شناسایی بر اساس مشخصه‌های ریخت‌شناسی (اندازه، طول و رنگ بدن، موقعیت گلیتولوم، محل اندام‌های جنسی روی سگمنت‌ها و غیره) یکی از متداول‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌ها معرفی گردیده است (چانگا و همکاران، 2009; پرز لوسادا و همکاران، 2012). در تحقیق حاضر تأثیر گونه‌های درختی مختلف پهن‌برگ بر وفور و تنوع کرم‌های خاکی و برخی مشخصه‌های فیزیوشیمیایی خاک در یک اکوسیستم جنگلی جلگه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با توجه به خصوصیات ریخت‌شناسی تمامی کرم‌های خاکی موجود در حد جنس، گونه و گروه‌های اکولوژیک مختلف شناسایی و تنوع زیستی آنها مورد بررسی قرار گرفت.

کرم‌های خاکی مهم‌ترین بی‌مهرگان خاکریز در سراسر جهان به شمار می‌آیند و به عنوان مهندسان اکوسیستم خاکی نام گرفته‌اند (هوئرتا و همکاران، 2013; کوچ و همکاران، 2013). جمعیت کرم‌های خاکی یک اکوسیستم به عنوان شاخصی برای کیفیت بیولوژیکی خاک محسوب می‌شود (رومیک و همکاران، 2005; کوچ و حق‌وردی، 2014). کرم‌های خاکی از نظر فیلوژنتیکی به 9 گروه اصلی (*Acanthodrilidae*, *Megascolecidae*, *Ocnodrilidae*, *other Lumbricoidae*, *Microchaetidae*, *Lumbricidae*, *Hormogastridae*, *Eudrilidae* و *Glossoscolecidae*) تقسیم می‌شوند (زیکل و هیلیس، 2002; ادواردز، 2004). در این بین، کرم‌های خاکی *Lumbricidae* معمولاً به عنوان الگوهای ارگانسمی در مطالعات اکولوژیکی، بوم‌شناسی خاک، تنوع زیستی، جغرافیای زیستی، تکامل، حفاظت و آلودگی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند (پرز- لوسادا و همکاران، 2012). به طوری که 90 درصد زیتوده بی-مهرگان مناطق معتدله را به خود اختصاص داده (پرز- لوسادا و همکاران، 2012) و توسط کلیدهای شناسایی مختلف می‌توان آنها را تا حد گونه مورد شناسایی قرار داد (ادواردز و بوهلن، 1996).

شکل‌گیری خاک به طور قابل توجهی در اکوسیستم‌های جنگلی با گونه‌های مختلف درختی متفاوت می‌باشد (فروز و همکاران، 2013). به طوری که گونه‌های درختی مختلف اثرات متفاوتی بر مشخصه‌های خاک دارند (صیاد و همکاران، 1388). همچنین گونه‌های درختی بر روی موجودات زنده و غیر زنده خاک به طور مستقیم و غیر مستقیم تأثیر می‌گذارد (ریچ و همکاران، 2005). کرم‌های خاکی موجود در زیر درختان جنگلی نقش بسزایی در تجزیه لاشبرگ و بهبود مشخصه‌های خاک برای گیاه دارند (ریچ و همکاران، 2005). در جنگل‌های جلگه‌ای، کرم‌های خاکی نقش بسیار مهمی بر روی مشخصه‌های شیمیایی (شارنبروچ و همکاران، 2011) و همچنین مشخصه‌های فیزیکی خاک مانند ساختار، تراکم، فرسایش و رطوبت خاک (پوندر و همکاران، 2000; شارنبروچ و همکاران، 2011) دارند. فعالیت کرم‌های خاکی تحت تأثیر فاکتورهای زیادی مانند کیفیت و کمیت لاشبرگ، دما، رطوبت و خصوصیات خاک (pH، رطوبت، ساختار و بافت خاک) قرار می‌گیرد (شارنبروچ و همکاران، 2011) و همچنین مصرف بقایای گیاهی موجود در خاک و سپس عبور آنها از دستگاه گوارش کرم‌ها باعث شکل‌گیری و تثبیت خاک‌دانه‌ها

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در جنگل جلگه‌ای دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس در 5 کیلومتری شهرستان نور با عرض جغرافیایی $36^{\circ} 37' 30''$ تا $36^{\circ} 40' 52''$ شمالی و طول جغرافیایی $51^{\circ} 7' 50''$ تا $51^{\circ} 12' 51''$ شرقی در ارتفاع 15 متر پایین تر از سطح دریای آزاد انجام گردید. بر اساس آمار 22 ساله حاصل از اطلاعات هواشناسی ایستگاه چمستان از سال 1357 تا 1379، میانگین دمای روزانه منطقه مورد مطالعه 16/08 درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه آن 803/40 میلی‌متر می‌باشد. فصل خشک از اواسط خرداد شروع و تا اوایل شهریور ادامه می‌یابد. با این وجود مقادیر میانگین بارندگی در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب 38/1، 33/4، 46/6 و 107/8 میلی‌متر است.

نمونه‌برداری خاک، شناسایی کرم‌های خاکی و تجزیه آزمایشگاهی

به منظور انجام این تحقیق شش گونه درختی (به همراه پنج تکرار از هر یک) شامل بلوط بلندمازو، ممرز، اوجا، سفیدپلت، توسکا قشلاقی و لرگ مد نظر قرار گرفت. به منظور افزایش دقت در پژوهش حاضر تلاش شد تا گونه‌های درختی مورد مطالعه از شرایط همگن و یکنواختی برخوردار باشند. نمونه‌برداری خاک در جهت شمالی بخش تحتانی هر یک از تک درختان جنگلی (درختانی که تاج پوشش آنها با تاج پوشش درختان اطرافش درگیر نباشد و سایه‌انداز آنها مشخص باشد) در نزدیک‌ترین نقطه مجاور به درختان صورت پذیرفت. نمونه‌های خاک در اردیبهشت‌ماه (شارنبروچ و همکاران، 2011؛ لوس و همکاران، 2013) سال 1393 با گودبرداری خاک در ابعاد 50×50 سانتی‌متر (رومبک و همکاران، 2005) تا عمق 20 سانتی‌متری برداشت شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. برای شناسایی کرم‌های خاکی از روی شکل ظاهری، هر یک از آنها ابتدا به صورت دستی از خاک جدا و پس از شستشو در آب در ظروف حاوی الکل نگهداری شدند. با توجه به مشخصه‌های ریخت-شناسی (اندازه، طول و رنگ بدن) و همچنین مشخصه‌هایی نظیر محل قرارگیری و شکل گلیتوم، محل قرارگیری اندام‌های جنسی روی سگمنت‌ها و گلیتوم، شکل و نوع اندام‌های جنسی و دیگر مشخصات ظاهری کرم‌های خاکی مورد شناسایی قرار گرفتند (شکل 1). شناسایی کرم‌های خاکی بزرگ، از روی گونه‌ی آنها در فصل بهار به راحتی قابل شناسایی و کرم‌های نوجوان معمولاً از روی جنس قابل مشاهده هستند (لوس و

همکاران، 2013). برای شناسایی، طبقه‌بندی و تاکسونومی کرم‌های خاکی، منابع مختلف (WWC، 2008؛ ایگل‌سیاس بریونس و همکاران، 2009؛ باتون و همکاران، 2009؛ پرز-لوسادا و همکاران، 2012؛ سوزدی، 2012) مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های خاک نیز در فضای باز پخش و پس از خشک شدن، خاک حاصله خرد و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری، رطوبت با خشک کردن نمونه‌های خاک در دمای 105 درجه سانتی‌گراد و به مدت 24 ساعت، اسیدیته خاک در گل اشباع بوسیله دستگاه pH متر (جعفری حقیقی، 1382) در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید.

روش مطالعه تنوع زیستی

برای بررسی تنوع‌زیستی از شاخص‌های تنوع سیمسون، غنای مارگالف و یکنواختی کامارگو با استفاده از روابط ذیل (غلامی و همکاران، 1389) در قالب برنامه‌های نرم‌افزاری Past و Ecological methodology استفاده شد.

1- شاخص تنوع سیمسون

(1)

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

که در آن S، شاخص سیمسون؛ s، تعداد گونه، ni تعداد افراد مربوط به i امین گونه و N، تعداد کل افراد جامعه می‌باشد.

$$R = \frac{s-1}{LnN} \quad (2)$$

2- شاخص غنای مارگالف

که در آن R، غنای گونه‌ای؛ s، تعداد گونه و N، تعداد افراد می‌باشد.

(3)

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

3- شاخص یکنواختی کامارگو

که در آن E = شاخص یکنواختی کامارگو، P_i = نسبت گونه i ام به کل نمونه، P_j = نسبت گونه j ام به کل نمونه، S = تعداد گونه در نمونه می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در اولین مرحله، نرمال بودن داده‌ها بوسیله آزمون کولموگوروف اسمیرنوف و همگن بودن واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر وفور و تنوع زیستی کرم‌های خاکی و مشخصه‌های خاک در ارتباط با گونه‌های مختلف درختی از تجزیه واریانس یکطرفه استفاده شد. آزمون دانکن نیز به منظور مقایسه چندگانه میانگین بکار گرفته شد. تجزیه و تحلیل آماری کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 صورت گرفت.

نتایج

شناسایی کرم‌های خاکی

در مجموع 14 گونه مختلف کرم خاکی در بخش تحتانی گونه‌های جنگلی مورد مطالعه شناسایی گردید. اطلاعات ریخت‌شناسی هر یک از کرم‌های خاکی شناسایی شده همراه با نام علمی آنها در جدول 1 ارائه شده است.

ترکیب گروه‌های کرم خاکی

در تحقیق حاضر کرم‌های خاکی از لحاظ نام خانواده، نام جنس و نام گونه مورد شناسایی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کرم‌های خاکی شناسایی شده متعلق به یک خانواده (*Lumbricidae*)، شش جنس (*Eisenia*, *Lumbricus*, *Bimasto*, *Dendrobaena*)، *Aporrectodea* و *Octolasion*) و 3 گروه اکولوژیک (*Endogeic* و *Anecic*, *Epigeic*) می‌باشند (جدول 2). میانگین وفور کرم‌های خاکی در زیر درختان جنگلی حاکی از آنست که کرم‌های خاکی *Dendrodrius rubidus* و *Dendrobaena octaedra* دارای بیشترین فراوانی بوده و به گروه اکولوژیک *Epigeic* تعلق دارند. گونه‌های درختی توسکا، بلوط بلندمازو و ممرز به ترتیب دارای بیشترین وفور کرم خاکی *Dendrodrius rubidus* و گونه‌های لرگ و اوجا دارای بیشترین فراوانی کرم‌های خاکی *Dendrobaena octaedra* می‌باشند (جدول 2).

جدول 1- مشخصه‌های ریخت‌شناسی کرم‌های خاکی شناسایی شده

ردیف	نام گونه کرم‌های خاکی	خصوصیات ریخت‌شناسی کرم‌های خاکی		
		اندازه بدن	طول بدن	رنگ بدن
1	<i>Dendrobaena octaedra</i>	کوچک	0 تا 55 میلی‌متر	از سر تا دم دارای رنگ تقریباً یکسان می‌باشد. فاصله سر تا گلیتلوم کمتر از یک سانتی‌متر می‌باشد. در زیر گلیتلوم اندام‌های جنسی GT دیده می‌شود.
2	<i>Bimastos parvus</i>	کوچک	0 تا 55 میلی‌متر	از سر تا دم دارای رنگ تقریباً یکسان می‌باشد. فاصله سر تا گلیتلوم کمتر از یک سانتی‌متر می‌باشد. سطح زیرین بدن دارای رنگ زرد می‌باشد.
3	<i>Dendrodrius rubidus</i>	کوچک	0 تا 55 میلی‌متر	رنگ قسمت دم کرم معمولاً با رنگ قسمت سر متفاوت و روشن‌تر می‌باشد. و دور تا دور قسمت دم کرم زرد روشن می‌باشد. گلیتلوم قبل از سگمنت 25 شروع می‌شود.
4	<i>Lumbricus festivus</i>	متوسط	56 تا 110 میلی‌متر	در قسمت شکمی کرم، اندام‌های جنسی GT در روی نیمی از سگمنت‌های گلیتلوم واقع شده اما روی سگمنت‌های خارج از گلیتلوم اندام‌های جنسی GT وجود ندارد.
5	<i>Eisenia Foetida</i>	کوچک	0 تا 55 میلی‌متر	رنگ قسمت دم کرم معمولاً با رنگ قسمت سر متفاوت و روشن‌تر می‌باشد. در قسمت پشتی در مواقعی که کرم‌های خاکی کش می‌آید، درون سگمنت‌ها به صورت راه راه (با باندهای تیره و روشن) می‌باشد. گلیتلوم روی سگمنت‌های ۲۴، ۲۵ و 26 واقع شده است.
6	<i>Lumbricus castaneus</i>	کوچک	0 تا 55 میلی‌متر	از سر تا دم دارای رنگ تقریباً یکسان می‌باشد. فاصله سر تا گلیتلوم کمتر از یک سانتی‌متر می‌باشد. در بخش زیرین (شکمی) کرم‌های جنسی GT دیده نمی‌شود.
7	<i>Lumbricus rubellus</i>	متوسط	56 تا 110 میلی‌متر	در نمای شکمی کرم‌های خاکی، همه سگمنت‌های زیر گلیتلوم دارای اندام‌های جنسی GT می‌باشند. و همچنین در بخش شکمی، اندام‌های جنسی GT بر روی سگمنت‌های خارج از گلیتلوم نیز گسترده شده‌اند. گلیتلوم روی سگمنت‌های 26 یا 27 قرار دارد. GT روی سگمنت‌های 31، 33 و 34 واقع شده است.
8	<i>Aporrectodea longa</i>	بزرگ و بلند	111 تا 300 میلی‌متر	فاصله بین سر تا شروع گلیتلوم کمتر از 2 سانتی‌متر می‌باشد. گلیتلوم به شکل سد (زین مانند) می‌باشد. اغلب رنگ سر تیره‌تر می‌باشد. بدنی دراز و لاغر دارد. دم کرم به صورت پهن می‌باشد. GT بر روی سگمنت‌های 31، 33 و 34 می‌باشد.

9	Aporrectod ea trapezoides	متوسط	56 تا 110 میلی متر	دارای رنگ‌های متفاوت	اندام‌های جنسی GT و TP هر دو در بخش شکمی کرم دیده می‌شود. GT خارج از گلیتلوم می‌باشد. برآمدگی‌های جنسی TP بر روی گلیتلوم بسیار واضح می‌باشد. GT به صورت یکی در میان روی سگمنت‌های 28، 30، 34 و 34 قرار دارد.
10	Aporrectod ea tuberculata	متوسط تا بزرگ	56 تا 300 میلی متر	دارای رنگ‌های متفاوت در بخش‌های مختلف بدن می‌باشد.	فاصله بین سر تا شروع گلیتلوم بیشتر از 1 سانتی‌متر می‌باشد اندام‌های جنسی GT به طور متناوب (یکی در میان) روی سگمنت‌های زیر گلیتلوم قرار دارند. برآمدگی‌های جنسی TP به صورت اهرام‌های دو تایی در زیر گلیتلوم روی سگمنت‌های که GT حضور ندارد دیده می‌شوند. GT روی سگمنت‌های 30، 32 و 34 قرار دارند. شکل گلیتلوم Annular می‌باشد.
11	Lumbricus terrestris	بزرگ	111 تا 300 میلی‌متر	قرمز تیره یا بنفش تیره	فاصله بین سر تا شروع گلیتلوم بیشتر از 2 سانتی‌متر می‌باشد. دارای بدنی صاف و پهن می‌باشد. سگمنت‌ها از سر تا گلیتلوم به صورت واضح دیده می‌شوند. دارای گلیتلوم زین مانند می‌باشد. گلیتلوم روی سگمنت 32 یا بعضی مواقع روی سگمنت 30 به بعد دیده می‌شود.
12	Aporrectod ea rosea	کوچک	0 تا 55 میلی متر	مایل به خاکستری	دارای بدن خاکستری می‌باشد و لی سر آن دارای رنگ صورتی می‌باشد. سه تا چهار سگمنت اولی قسمت سر نارنجی می‌باشد. گلیتلوم زرد رنگ می‌باشد. گلیتلوم روی سگمنت‌های 25 تا 32 واقع شده. TP اگر وجود داشته باشد بسار کوچک می‌باشد و روی سگمنت‌های 29 تا 31 کشیده شده است.
13	Aporrectod ea icteria	متوسط	56 تا 110 میلی متر	دارای رنگ‌های خاکستری و صورتی	سگمنت‌های GT خارج از گلیتلوم می‌باشند. برآمدگی‌های جنسی TP به صورت بلند، نانتقارن و نا واضح بر روی گلیتلوم قرار دارد. گلیتلوم به رنگ روشن می‌باشد.
14	Octolasion cyaneum	بزرگ و بلند	111 تا 300 میلی‌متر	سفید مایل به خاکستری با لکه‌های رنگی	دارای خاکستری می‌باشد. فاصله بین سر تا شروع گلیتلوم بیشتر از 2 سانتی‌متر می‌باشد. سگمنت‌های GT روی گلیتلوم وجود ندارد. برآمدگی‌های جنسی TP به صورت واضح در قسمت زیرین گلیتلوم دیده می‌شود. گلیتلوم روی سگمنت‌های 29 تا 34 قرار دارد. TP روی سگمنت‌های 30 تا 33 می‌باشد.

جدول 2- میانگین فراوانی کرم‌های خاکی در (سطح 50×50 سانتی‌متری) در ارتباط با تک درختان جنگلی

ردیف	نام گونه	نام جنس	نام خانواده	گروه اکولوژیک	بلوط بلندمازو	ممرز	اوپا	سپید پلن	توسکا قشلاقی	لرگ
1	<i>Dendrobaena octaedra</i>	<i>Dendrobaena</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Epigeic</i>	0/8	2	1/8	0/2	3	3/6
2	<i>Bimastos parvus</i>	<i>Bimasto</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Epigeic</i>	1/6	1/8	0/8	1/6	0/4	1
3	<i>Dendrodrilus rubidus</i>	<i>Dendrodrilus</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Epigeic</i>	5	4/6	1	1	5/8	0/8
4	<i>Lumbricus festivus</i>	<i>Lumbricus</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Epigeic</i>	2/4	0/2	0/6	0	0	0/4
5	<i>Eisenia Foetida</i>	<i>Eisenia</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Epigeic</i>	1/8	0	1/4	1/6	0/8	0/4
6	<i>Lumbricus castaneus</i>	<i>Lumbricus</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Epigeic</i>	0/2	0	0/4	0/2	0	0/2
7	<i>Lumbricus rubellus</i>	<i>Lumbricus</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Epigeic</i>	0/2	0	0/2	0	0/2	0/6
8	<i>Aporrectodea longa</i>	<i>Aporrectodea</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Anecic</i>	0/8	1/8	0/6	0/6	0/6	0/4
9	<i>Aporrectodea trapezoides</i>	<i>Aporrectodea</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Anecic</i>	0/4	0	0	0/2	0	0
10	<i>Aporrectodea tuberculata</i>	<i>Aporrectodea</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Anecic</i>	0	0	0/2	0	0	0/6
11	<i>Lumbricus terrestris</i>	<i>Lumbricus</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Anecic</i>	0/2	0	0	0/6	0	0
12	<i>Aporrectodea rosea</i>	<i>Aporrectodea</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Endogeic</i>	0/4	0	0	0	0	0/4
13	<i>Aporrectodea icteria</i>	<i>Aporrectodea</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Endogeic</i>	0/4	0/4	0	0	0	0/2
14	<i>Octolasion cyaneum</i>	<i>Octolasion</i>	<i>Lumbricidae</i>	<i>Endogeic</i>	0	0	0/2	0	0/4	0/2

گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی

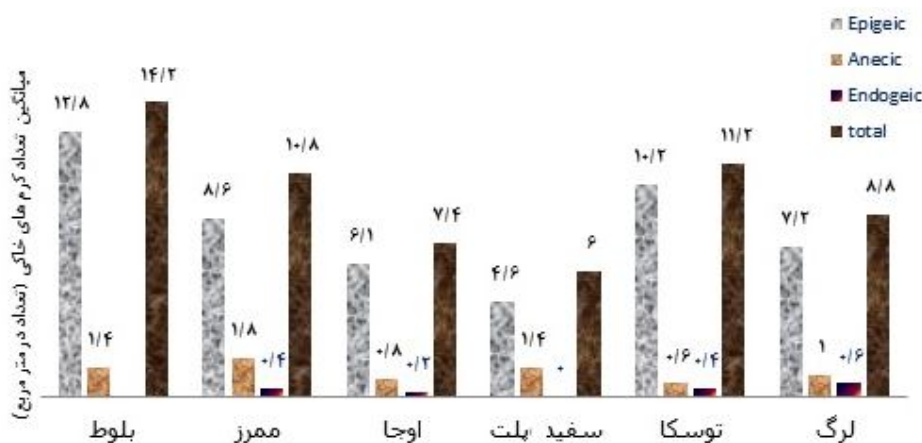
در بررسی گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی در ارتباط با گونه‌های مختلف جنگلی، نتایج حاکی از آنست که هیچ یک از گروه‌های اپی‌ژئیک، آنسیک، آندوژئیک و همچنین مجموع کل کرم‌های خاکی تفاوت آماری معنی‌داری را نشان نداده‌اند (جدول 3 و شکل 2). در هر حال بیشترین تعداد (کل) کرم‌های خاکی به ترتیب در زیر درختان بلوط بلندمازو و توسکا قشلاقی مشاهده شد در حالی که گونه‌های درختی سفیدپلت و لرگ به ترتیب کمترین تعداد کرم‌های خاکی را به خود اختصاص

داده‌اند (شکل 2). همچنین نتایج حاکی از آنست که گونه‌های درختی بلوط بلندمازو و توسکا قشلاقی دارای بیشترین و گونه سفیدپلت دارای کمترین تعداد کرم‌خاکی گروه اپی‌ژئیک بوده‌اند (شکل 1). همچنین بیشترین تراکم کرم‌های خاکی گروه اکولوژیک آنسیک در بخش تحتانی درختان ممرز مشاهده گردید. بیشترین و کمترین تعداد کرم خاکی گروه اکولوژیک آندوژئیک، به ترتیب در زیر درختان لرگ، سفید پلت و بلوط بلندمازو شمارش گردید (شکل 1).

جدول 3- تجزیه واریانس فراوانی گروه‌های اکولوژیک کرم‌خاکی در ارتباط با گونه‌های جنگلی مورد مطالعه

معنی‌داری	مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی
0/311 ns	1/264	42/460	5	212/30	بین گروه
		33/583	24	806/00	درون گروه
			29	1018/30	کل
0/798 ns	0/466	0/993	5	4/976	بین گروه
		2/133	24	54/200	درون گروه
			29	56/167	کل
0/645 ns	0/677	0/293	5	1/467	بین گروه
		0/433	24	10/400	درون گروه
			29	11/867	کل
0/312 ns	1/263	43/493	5	217/46	بین گروه
		34/433	24	826/400	درون گروه
			29	1043/867	کل

ns عدم معنی‌داری را در سطح 95 درصد ($p < 5\%$) نشان می‌دهد.



شکل 1- میانگین وفور گروه‌های اکولوژیک کرم‌خاکی در ارتباط با گونه‌های جنگلی مختلف

حال گونه‌های درختی اوجا و بلوط بلندمازو دارای بالاترین میزان تنوع سیمسون بوده و گونه اوجا از بالاترین مقدار غنای مارگالف برخوردار می‌باشد. همچنین، گونه درختی سفید پلت از نظر شاخص یکنواختی کامارگو بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده است (شکل 2).

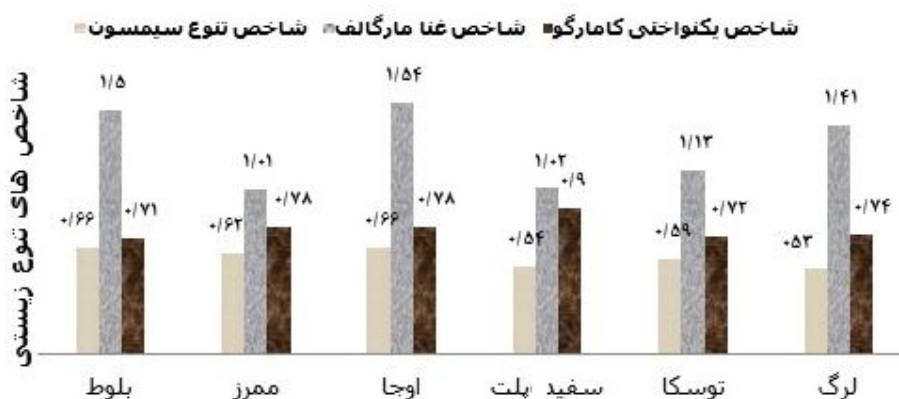
تنوع زیستی کرم‌های خاکی

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های تنوع زیستی کرم‌های خاکی در ارتباط با گونه‌های جنگلی مختلف نشان داد که مقادیر شاخص‌های تنوع سیمسون، غنای مارگالف و یکنواختی کامارگو از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (جدول 4 و شکل 2). در هر

جدول 4- تجزیه واریانس شاخص‌های تنوع زیستی کرم‌های خاکی در ارتباط گونه‌های جنگلی مورد مطالعه

معنی‌داری	مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	شاخص‌های تنوع زیستی	
0/809 ns	0/450	0/017	5	0/083	تنوع سیمسون	
		0/037	24	0/889	بین گروه	
			29	0/973	درون گروه	
0/524 ns	0/857	0/297	5	1/483	غلای مارگالف	
		0/346	24	8/312	بین گروه	
			29	9/796	درون گروه	
0/408 ns	1/058	0/023	5	0/115	یکنواختی کامارگو	
		0/022	24	0/523	بین گروه	
			29	0/638	درون گروه	

ns عدم معنی‌داری را در سطح 95 درصد ($p < 5\%$) نشان می‌دهد.



شکل 2- تنوع زیستی کرم‌های خاکی در ارتباط با تک درختان جنگلی

مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

می‌باشد. همچنین گونه‌های اوجا، بلوط بلندمازو، لرگ و سفیدپلت به ترتیب دارای بیشترین درصد سیلت و گونه‌های بلوط بلندمازو، اوجا، توسکا قشلاقی و لرگ بیشترین میزان رس را به خود اختصاص داده‌اند. در این میان، گونه بلوط بلندمازو بیشترین میزان درصد رطوبت و pH خاک را به خود اختصاص داده است (جدول 2).

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آنست که بین گونه‌های جنگلی مختلف از نظر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد وجود دارد (جدول 5). مشخصه درصد شن در خاک بخش تحتانی گونه‌های سفیدپلت، ممرز و توسکا قشلاقی بیشتر از گونه‌های بلوط بلندمازو، اوجا و لرگ

جدول 5- میانگین (± اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی شیمیایی خاک در ارتباط با گونه‌های جنگلی مختلف

pH	رطوبت (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	مشخصه‌های خاک	گونه‌های درختی
6/36 (±0/15) ^a	44/13 (±3/62) ^{ns}	46/40 (±1/32) ^a	35/60 (±0/98) ^a	18/00 (±2/09) ^b	بلوط بلندمازو	
6/29 (±0/01) ^{ab}	34/20 (±1/92) ^{ns}	41/60 (±1/47) ^{ab}	33/20 (±1/62) ^{ab}	25/20 (±0/80) ^a	ممرز	
6/11 (±0/10) ^{bc}	36/15 (±1/60) ^{ns}	45/60 (±1/60) ^a	36/80 (±1/62) ^a	17/60 (±0/74) ^b	اوجا	
5/99 (±0/13) ^c	35/51 (±3/81) ^{ns}	38/00 (±3/03) ^b	34/80 (±1/62) ^a	27/20 (±1/85) ^a	سفیدپلت	
6/23 (±0/02) ^{abc}	39/63 (±2/01) ^{ns}	45/20 (±1/96) ^a	30/00 (±1/41) ^b	24/80 (±1/01) ^a	توسکا قشلاقی	
6/08 (±0/07) ^{bc}	41/45 (±1/60) ^{ns}	44/00 (±1/55) ^a	35/60 (±1/46) ^a	20/40 (±0/74) ^b	لرگ	
3/09	2/14	2/72	2/27	9/33	مقدار F	
0/02	0/09	0/04	0/04	0/00	مقدر معنی‌داری	

به داخل جنگل بیشتر شده، همچنین تعداد و زیتوده کرم-های خاکی کاهش می‌یابد و این موضوع باعث کاهش عناصر غذایی و افزایش آبشویی در خاک می‌شود. در مناطقی که تاج پوشش زیادتر می‌باشد تراکم کرم‌های خاکی نیز بیشتر بوده و رابطه مستقیم با حاصل‌خیزی خاک دارند. از این رو کرم‌های خاکی را شاخص‌های زیستی¹ در نظر می‌گیرند، بطوری که با بررسی تراکم و تنوع کرم-های خاکی حاضر در منطقه می‌توان، توان اکولوژیکی و حاصل‌خیزی رویشگاه را ارزیابی نمود. با این تفاسیر اکوسیستم‌های جنگلی شرایط مناسبی (از نظر نور و دما) را برای حضور کرم‌های خاکی فراهم می‌کند. علاوه بر این، اکثر کرم‌های خاکی از سرما و خشکی هوا فراری می‌باشند، به طوری که کرم‌های خاکی مناطق مجاور دریاچه‌های بزرگ و رویشگاههایی با آب و هوای گرم و مرطوب را برای زیست خود ترجیح می‌دهند (تیونوو و همکاران، 2006). عرصه مورد مطالعه در تحقیق حاضر نیز در مجاورت دریای مازندران قرار گرفته و شرایط ایده‌آلی را برای تجمع اکثر کرم‌های خاکی فراهم نموده است.

بیشتر گونه‌های کرم‌های خاکی خانواده *Lumbricidae* مانند *Lumbricus A. longa* *A. rosea* *Dendrobaena L. rubellus* *L. castaneus terrestris* *Dendrodrilus rubidus octaedra* و غیره، در مقیاس کلان در اکثر مناطق از جمله کشورهای اروپایی،

بحث

تقریباً تمام کرم‌های خاکی ساکنان واقعی خاک هستند و بسیاری از آنها، مانند خانواده‌ی مهم *Lumbricidae*، از نظر عملکرد محیط زیستی بویژه تجزیه و نگهداری ساختمان خاک، به عنوان مهندسان اکوسیستم به شمار می‌آیند (پرز- لوسادا و همکاران، 2012). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در مجموع 292 (در سطح 50×50 سانتی‌متری برای هر گونه درختی و در مجموع 15 متر مربع از عمق 0 تا 20 سانتی‌متری) کرم‌خاکی در بخش تحتانی درختان جنگلی بلوط بلندمازو، ممرز، توسکا قشلاقی، سفیدپلت، اوجا و لرگ شمارش شده که به 14 گونه مختلف کرم خاکی تعلق داشته‌اند. این موضوع نشان‌دهنده تنوع بالای کرم‌های خاکی در عرصه مورد مطالعه می‌باشد. اکثر کرم‌های شناسایی شده مربوط به قاره‌های اروپا و امریکا می‌باشند. این نشان دهنده شرایط مناسب خاک‌های جنگلی پهن‌برگ شمال کشور برای فعالیت کرم‌های خاکی می‌باشد، زیرا کرم‌های خاکی از لاشبرگ گونه‌های جنگلی به عنوان غذا استفاده کرده و منجر به معدنی شدن مواد آلی و پایداری چرخه اکولوژیکی در جنگل و خاک می‌شوند. این‌طور می‌توان نتیجه گرفت که جنگل و کرم‌های خاکی اثرات متقابل مثبتی بر هم می‌گذارند. مطابق پژوهش کوچ و حق‌وردی (2014) در خصوص تاثیر تاج پوشش گونه‌های مختلف جنگلی بر جمعیت کرم‌های خاکی آشکار شد که در اراضی با درصد تاج پوشش فوقانی پایین‌تر، نور ورودی

¹ Bioindicator

کاری شده می‌باشد. نتایج تحقیق آنها نشان داد که از نظر شاخص تنوع سیمسون، توسکا قشلاقی بالاترین تنوع و غنا را به خود اختصاص داده و گونه افرا پلت دارای کمترین تنوع می‌باشد این در حالی است که گونه بلوط بلندمازو از نظر شاخص‌های یکنواختی در سطح بالاتری می‌باشد. فعالیت کرم‌های خاکی به نوع خاک بستگی دارد و ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین بافت خاک همبستگی نزدیکی با اندازه و تعداد کرم‌های خاکی دارد. از طرفی، کرم‌های خاکی می‌توانند تأثیر مهمی بر میزان رس خاک داشته باشند (ادواردز، 2004). پژوهش‌های زیادی نشان داده‌اند که بین کیفیت لاشبرگ، pH و تراکم کرم‌های خاکی همبستگی بالایی وجود دارد (بوهلن و همکاران، 2004؛ هویی و همکاران، 2006؛ شارنبروچ و همکاران، 2011؛ فروز و همکاران، 2013)، به طوری که گونه *Dendrobaena octaedra* به دلیل قابلیت‌های قابل ملاحظه‌ای مانند نرخ بالای باروری، مهاجرت بین طبقات مختلف خاک جنگل، مقاومت به سرما و حضور در pH پایین و بستر با کیفیت فقیر در مناطق مختلفی گسترش پیدا کرده است. این قابلیت‌ها کمک می‌کند، این گونه توزیع و فراوانی بیشتری نسبت به سایر گونه‌ها داشته باشد (رومبک و همکاران، 2005؛ تیونوو و همکاران، 2006). در تحقیق حاضر نیز این گونه دارای فراوانی نسبتاً بالاتری در زیر درختان لرگ، توسکا قشلاقی و اوجا با pH پایین‌تر نشان داده است.

رطوبت و pH خاک از عوامل مهم تأثیرگذار بر فعالیت کرم‌خاکی محسوب می‌باشند (فروز و همکاران، 2013). با وجود اینکه pH و رطوبت در زیر درختان بلوط بلندمازو بیشتر از سایر درختان می‌باشد، این را می‌توان به بالا بودن درصد رس خاک در بخش تحتانی این گونه جنگلی نسبت داد. همچنین رابطه کرم‌های خاکی با بافت خاک، pH و رطوبت نشان داده است که کرم‌های خاکی مختلف با فراوانی بیشتر در زیر درختان بلوط بلندمازو مشاهده شده‌اند. این موضوع می‌تواند به دلیل وجود عناصر غذایی بیشتر در خاک‌های رسی (تا حدودی خاک-های لومی) و pH بالای خاک باشد (غلامی و همکاران، 1390). کرم‌های خاکی *Aporrectodea longa* و *Aporrectodea rosea* در خاک‌های رسی، لومی و شنی با pH بالاتر از 5 در رطوبت متوسط به پایین بیشتر حضور می‌یابند در حالی که گونه *Dendrobaena octaedra* و *Lumbricus rubellus* در pH پایین‌تر حضور بیشتری دارند (رومبک و همکاران، 2005). همچنین مقیمیان و کوچ، (1392) بیان کردند که افزایش pH خاک و کاهش نسبت کربن به نیتروژن باعث افزایش فراوانی و زیتوده

آمریکایی، شرق آسیا و حتی روسیه دیده می‌شوند (تیونوو و همکاران، 2006) با این حال توزیع آنها در سطح کلان ارتباط کمی با الگوی آخرین عصر یخبندان نشان می‌دهند (تیونوو و همکاران، 2006). با این تفاسیر اکثر گونه‌های ذکر شده در پژوهش‌های صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه مشاهده و مورد شناسایی قرار گرفتند. اما گونه‌های *Octolasion cyaneum* و *Aporrectodea icterica* بیشتر در پارک‌ها و باغ‌های گیاهشناسی دیده می‌شوند و در جنگل‌های طبیعی کمتر از سایر گونه‌های خانواده *Lumbricidae* دیده می‌شوند (تیونوو و همکاران، 2006) که در تحقیق حاضر این رخداد نیز قابل مشاهده است.

در مجموع تعداد کل کرم‌های خاکی در زیر درختان بلوط بلندمازو بیشتر از درختان توسکا قشلاقی می‌باشد (فروز و همکاران، 2013). این امر می‌تواند به علت بالا بودن میزان لاشبرگ و رطوبت خاک بلوط بلندمازو نسبت به توسکا قشلاقی باشد، زیرا بیشتر کرم‌های خاکی شناسایی شده از نوع اپی‌ژئیک می‌باشند و می‌توانند رابطه مستقیمی با بالا بودن میزان لاشبرگ داشته باشد (فروز و همکاران، 2013). مقدار کمی از کرم‌های *Lumbricus rubellus* در زیر درختان بلوط بلندمازو و ممرز دیده می‌شود (ادواردز، 2004). در تحقیق حاضر نیز کرم خاکی *Lumbricus rubellus* به مقدار خیلی کم در زیر درختان بلوط بلندمازو مشاهده گردید، در حالی که در زیر درختان ممرز این نوع کرم دیده نشده است. کرم‌های با گروه اکولوژیک اپی‌ژئیک و آنسیک، برگ‌های درختان جنگلی با نیتروژن بالا و تانن پایین را دوست دارند (رومبک و همکاران، 2005) به طوری که کرم‌های خاکی از جنس *Lumbricus* با گروه اکولوژیک اپی‌ژئیک و آنسیک در اراضی جنگلی پهن‌برگ نسبت به اراضی جنگلی سوزنی‌برگ و اراضی کشاورزی تنوع و فراوانی بیشتری دارند در حالی که کرم‌های خاکی از جنس *Aporrectodea* و *Octolasion* با گروه اکولوژیک اندوژئیک در اراضی جنگلی پهن‌برگ کمتر از دیگر اراضی می‌باشد (اسمیت و همکاران، 2008). در مجموع تعداد کل کرم‌های خاکی در اراضی جنگلی پهن‌برگ بیشتر از اراضی دیگر می‌باشد، با این وجود کرم‌های با گروه اکولوژیک اپی‌ژئیک و آنسیک دارای فراوانی و غنای بیشتری نسبت به گروه اکولوژیک آندوژئیک در اراضی جنگلی پهن‌برگ می‌باشند (اسمیت و همکاران، 2008).

محمدنژاد کیاسری و همکاران (1390) در پژوهش خود نشان دادند که تنوع، غنا و یکنواختی در عرصه‌های طبیعی به مراتب بیشتر از عرصه‌های جنگل-

کرم‌های خاکی نقش مهمی در فرایند خاکسازي و بهبود عملکرد خاک دارند لذا می‌توان تراکم و تنوع آنها را به عنوان شاخص‌های مهم سلامت خاک مورد ارزیابی قرار داد. با توجه به نقش این موجودات در حاصل‌خیزی، تهویه، بازسازی خاک و تجزیه لاشیرگ می‌توان اذعان نمود خاک‌هایی با تراکم و تنوع بالاتر کرم‌های خاکی دارای سلامت و حاصل‌خیزی بالاتری می‌باشند. به طوری که بر مبنای زیتوده و تعداد کرم‌های خاکی می‌توان اکولوژیکی مناطق مورد مطالعه را ارزیابی نمود. با این تفاسیر نتایج این پژوهش حاکی از آنست که کرم‌های خاکی می‌توانند به عنوان یک شاخص زیستی در ارزیابی اکوسیستم‌های جنگلی مورد استفاده قرار گیرند. مطالعه تنوع زیستی کرم‌های خاکی یکی از بهترین روش‌های ارزیابی کیفیت و سلامت خاک اکوسیستم‌های جنگلی به حساب می‌آید و باید به آن توجه ویژه‌ای داشت.

کرم‌های خاکی می‌شود که می‌توان متأثر از بافت و رطوبت خاک باشد. بیشتر وزن کرم‌های خاکی را آب تشکیل می‌دهد به بیان دیگر کرم‌های خاکی شرایط محیطی با رطوبت بالا را دوست دارند در این بین جنگل به عنوان اکوسیستمی پویا این شرایط را برای حضور فراوان کرم‌های خاکی فراهم می‌کند. مطابق با پژوهش‌های متعدد بین نوع بافت خاک، انواع مختلف کرم‌خاکی و گونه‌های مختلف جنگلی ارتباط تنگاتنگی وجود دارد (فروز و همکاران، 2013؛ لوس و همکاران، 2013).

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در مجموع 292 کرم‌خاکی در بخش تحتانی درختان جنگلی بلوط بلندمازو، ممرز، توسکا قشلاقی، سفید پلت، اوجا و لرگ شمارش شده که به 14 گونه مختلف کرم‌خاکی تعلق داشته‌اند. این موضوع نشان‌دهنده تنوع بالای کرم‌های خاکی در عرصه مورد مطالعه می‌باشد. با درک به این‌که

فهرست منابع:

1. جعفری حقیقی، م. 1382. روش‌های تجزیه خاک (نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی)، انتشارات ندای ضحی، 236 صفحه.
2. صیاد، ا.، حسینی، س. م.، حسینی، س. م.، جلالی، س. غ. و صالحه‌شوستری، م. ح. 1388. تأثیر جنگل کاری *Acacia salicina*، *Eucalyptus camldulensis* و *Dalbergia sissoo* بر ماکروفون خاک. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، 17: 560-567.
3. غلامی، ش.، حسینی، س. م.، محمدی، ج. و سلمان‌ماهینی، ع. 1389. تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی ماکروفون خاک در جنگل‌های حاشیه رودخانه کرخه. نشریه آب و خاک، 24: 1172 - 1164.
4. غلامی، ش.، حسینی، س. م.، محمدی، ج. و سلمان‌ماهینی، ع. 1390. تغییرات مکانی بایومس ماکروفون و ویژگی‌های خاک در جنگل‌های حاشیه رودخانه کرخه. نشریه آب و خاک، 25: 257 - 248.
5. محمدنژاد کیاسری، ش.، ناقب طالبی، خ.، رحمانی، ر. و عموزاد، م. 1390. مقایسه تنوع بی‌مهرگان خاکریز در عرصه‌های جنگل طبیعی و جنگل کاری‌های منطقه ساری. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال 6: 118-125.
6. مقیمیان، ن. و کوچ، ی. 1392. تأثیر برخی عوامل فیزیوگرافی و فیزیکی شیمیایی خاک رویشگاه جنگلی ممرز بر زیتوده کرم‌خاکی. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، 20: 1-22.
7. Apuan, D. A., M. Anthony, J. Torres and C. G. Demayo. 2010. Describing variations and taxonomic status of earthworms collected from selected areas in Misamis Oriental, Philippines using principal component and parsimony analysis. *Egyptian Journal of Biological Sciences* 2: 27-36.
8. Bohlen, P. J., Pelletier, D. M., Groffman, P. M., Fahey, T. J. and Fisk, M. C. 2004. Influence of earthworm invasion on redistribution and retention of soil carbon and nitrogen in northern temperate forests. *Ecosystems* 7: 13-27.
9. Button, M., Watts, M. J., Cave, M. R., Harrington, C. F. and Jenkin, G. T. 2009. Earthworms and in vitro physiologically-based extraction tests: complementary tools for a

- holistic approach towards understanding risk at arsenic-contaminated sites. *Environmental Geochemistry and Health* 31: 273-282.
10. Changa, C. H., R. Rougerieb and H. H. Chenc. 2009. Identifying earthworms through DNA barcodes: Pitfalls and promise. *Pedobiologia* 52: 171-180.
 11. Csuzdi, C. 2012. Earthworm species, a searchable database. *Opuscula Zoologica Budapest* 43: 97-99.
 12. Edwards, C. A. 2004. *Earthworm ecology*. CRC Press.
 13. Edwards, C. A. and Bohlen, P. J. 1996. *Biology and ecology of earthworms*, Springer Press.
 14. Frouz, J., Livečková, M., Albrechtová, J., Chroňáková, A., Cajthaml, T., Pižl, V. and Cepáková, Š. 2013. Is the effect of trees on soil properties mediated by soil fauna? A case study from post-mining sites. *Forest Ecology and Management* 309: 87-95.
 15. Hobbie, S. E., Reich, P. B., Oleksyn, J., Ogdahl, M., Zytковиak, R., Hale, C. and Karolewski, P. 2006. Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden. *Ecology* 87: 2288–2297.
 16. Huerta, E., Brunet, D., Velazquez, E. and Lavelle, P. 2013. Identifying earthworms organic matter signatures by near infrared spectroscopy in different land-use systems in Tabasco, Mexico. *Applied Soil Ecology* 69: 49-55.
 17. Iglesias Briones, M. J., Morán, P. and Posada, D. 2009. Are the sexual, somatic and genetic characters enough to solve nomenclatural problems in Lumbricidae taxonomy? *Soil Biology and Biochemistry* 41: 2257-2271.
 18. Kooch, Y. and Haghverdi, K. 2014. Earthworms, good indicators for forest disturbance? *Journal of Bioscience and Biotechnology* 3:155 - 162.
 19. Kooch, Y., Hosseini, S. M., Mohammadi, J. and Hojjati, S. M. 2013. Effects of pit and mound landscape on soil ecosystem engineers at local scales - a case study in Hyrcanian forest. *Molecular Soil Biology* 4: 7 - 15.
 20. Kung, J. S., Steenhuis, T. S., Kladivko, E. J., Gish, T. J., Bubenzer, G. and Helling, C. S. 2000. Impact of preferential flow on the transport of adsorbing and non-adsorbing tracers. *Soil Science and Society American* 22: 123 – 134.
 21. Lamande, M., Hallaire, V., Curmi, P., Peres, G. and Cluzeau, D. 2003. Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in a loamy soil under different agricultural managements. *Forest Ecology and Management*, 34: 235 – 241.
 22. Loss, S. R., Hueffmeier, R. M., Hale, C. M., Host, G. E., Sjerven, G. and Frelich, L. E. 2013. Earthworm invasions in northern hardwood forests: a rapid assessment method. *Natural Areas Journal* 33: 21-30.
 23. Pérez-Losada, M., Bloch, R., Breinholt, J. W., Pfenninger, M. and Domínguez, J. 2012. Taxonomic assessment of Lumbricidae (*Oligochaeta*) earthworm genera using DNA barcodes. *European Journal of Soil Biology* 48: 41-47.
 24. Pérez-Losada, M., R. Bloch, J. W. Breinholt, M. Pfenninger and J. Domínguez. 2012. Taxonomic assessment of Lumbricidae (*Oligochaeta*) earthworm genera using DNA barcodes. *European Journal of Soil Biology* 48: 41-47.
 25. Ponder, J., Li, F., Jordan, D. and Berry, E. C. 2000. Assessing the impact of *Diplocardia ornata* on physical and chemical properties of compacted forest soil in microcosms. *Biology and fertility of soils* 32:166-172.
 26. Reich, P. B., Oleksyn, J., Modrzynski, J., Mrozinski, P., Hobbie, S. E., Eissenstat, D. M. and Tjoelker, M. G. 2005. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology Letters* 8: 811-818.
 27. Römbke, J., Jänsch, S. and Didden, W. 2005. The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 62: 249-265.

28. Scharenbroch, B. C. and Johnston, D. P. 2011. A microcosm study of the common night crawler earthworm (*Lumbricus terrestris*) and physical, chemical and biological properties of a designed urban soil. *Urban ecosystems* 14: 119-134.
29. Shuster, W. D., Subler, S. and McCoy, E. L. 2001. Deep-burrowing earthworm additions changed the distribution of soil organic carbon in a chisel-tilled soil. *Soil Biology and Biochemistry* 33:983–996.
30. Smith, R. G., McSwiney, C. P., Grandy, A. S., Suwanwaree, P., Snider, R. M. and Robertson, G. P. 2008. Diversity and abundance of earthworms across an agricultural land-use intensity gradient. *Soil and Tillage Research*, 100: 83-88.
31. Snyder, B. A., Boots, B. and Hendrix, P. F. 2009. Competition between invasive earthworms (*Amyntas corticis*, Megascolecidae) and native North American millipedes (*Pseudopolydesmus erasus*, Polydesmidae): effects on carbon cycling and soil structure. *Soil Biology and Biochemistry* 41:1442–1449.
32. Tiunov, A. V., Hale, C. M., Holdsworth, A. R. and 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. *Biological Invasions*, 8: 1223-1234.
33. Wilcox, C. S., Dominguez, J., Parmelee, R. W. and McCartney, D. A. 2002. Soil carbon and nitrogen dynamics in *Lumbricus terrestris* L. middens in four arable, a pasture, and a forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 212: 358 – 464.
34. Worm Watch Canada: Key to reproductively mature earthworms. 2008. Retrieved on 22 February 2008 from <http://www.naturewatch.ca/english/wormwatch/resources/key/taxonomic.html>.
35. Zwickl, D. J. and Hillis, D. M. 2002. Increased taxon sampling greatly reduces phylogenetic error. *Systematic Biology* 51: 588-598.