Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 13, Issue 1, 2025 p: 72-84

OPEN ACCESS

Research Paper

Variations in the Frequency and Biomass of Corticolous Earthworms in the Eastern Hyrcanian Forests

Masoumeh Izadi[1], Hashem Habashi[2], Fatemeh Rafiee[3] and Shohreh Kazemi[4]

1- Ph.D., Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, (Corresponding author: M.izadi460@yahoo.com)
2- Associate Professor, Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3- Ph.D., Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4- Ph.D., Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received:23 June, 2024 Revised: 26 August, 2024 Accepted: 11 October, 2024

Extended Abstract

Background: Earthworms make up a significant portion of the soil's invertebrate biomass and play a vital role in enhancing the physical, chemical, and biological characteristics of the soil. Earthworms enhance ecosystem performance and boost primary production by altering the soil structure and decomposing organic matter. Earthworms are classified into different categories based on their behavior and feeding habits. The most important ones include epigeic, anecic, and endogeic earthworms. Additionally, some earthworms, such as arboreal and corticolous species, inhabit unusual environments. This study aims to investigate the effect of dead wood on the biodiversity and abundance of corticolous earthworms in the forests of the eastern Hyrcanian region. In this regard, earthworm species found beneath the bark of deadwood (four species) were identified and classified in this research. Additionally, an attempt was made to analyze the effect of different deadwood species and their degrees of decay on various indices of earthworm biodiversity and evenness. To evaluate the impact of different locations within the deciduous temperate forests of eastern Hyrcania, the abundance of earthworms was examined and compared under the forest canopy and in forest gaps.

Methods: The study area is located in District-1 of Dr. Bahramnia Forestry Project, the eastern part of Hyrcanian forests. The research was conducted in parcels 1, 4, 7, 8, 31, and 32, which respectively include tree cover types of oak-hornbeam, ironwood-hornbeam, hornbeam-ironwood, beech-hornbeam, and beech-hornbeam. In this study, 119 samples of fallen deadwood from four species (beech, hornbeam, oak, and ironwood) were randomly selected from beneath the forest canopy and forest gaps at two elevations, 150 and 950 meters. These samples were classified into four degrees of decay based on their physical characteristics. After separating the bark with a sharp knife, the earthworms underneath were collected and initially stored in 15% ethanol, then transferred to 75% ethanol after one day, and finally to a 4% formalin solution. The earthworms were identified to the genus level using available identification keys. Their mass was measured after drying in an oven for 48 h, with an accuracy of 0.0001 g. Data analysis included the calculation of diversity indices (Shannon and Simpson), evenness (Pielou), and richness (Margalef and Menhinick) indices to investigate the diversity of earthworms. Diversity indices were analyzed using PAST (version 3.04) software. Statistical tests were conducted using SPSS to assess the diversity, abundance, and biomass of earthworms across variables.

Results: In a study of four deciduous tree species (hornbeam, beech, oak, and ironwood), four genera of corticolous earthworms were identified: *Eisenia*, *Dendrobaena*, *Dendrodrillus*, and *Apporecoeda*, with respective abundance percentages of 32%, 20.46%, 45.94%, and 1.6%. Notably, *Eisenia* showed the highest abundance and biomass among corticolous earthworms, primarily in hornbeam trees. The impact of tree species was significant on corticolous earthworm biodiversity, though differences in earthworm abundance and biomass were not statistically significant. The highest Shannon and Simpson diversity indices were recorded for oak (0.16 and

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]

Copyright ©2025 Izadi et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

0.23, respectively), while the lowest values were found in ironwood (0.02 and 0.03). The Margalef richness index was highest in hornbeam (0.14) and lowest in ironwood (0.01). Notably, the greatest abundance and biomass of corticolous earthworms were associated with hornbeam, followed by oak, beech, and ironwood. The Pielou evenness and Menhinick richness indices varied significantly across different stages of deadwood decay. The highest values for Shannon diversity (0.34), Menhinick richness (0.32), and Margalef richness (0.24) were found in hornbeam deadwood at decay stage 2, indicating that biodiversity indices differed significantly across decay stages in this species. ANOVA results also showed that the degree of decay significantly affected the abundance and biomass of corticolous earthworms, with the highest abundance and biomass observed at decay stage 3 and the lowest at stage 1.

Conclusion: Among the study variables, including deadwood species type, decay stage, canopy cover (under the forest canopy or in canopy gaps), and altitude, only the degree of deadwood decay significantly influenced changes in the abundance and biomass of subcortical earthworms. This suggests that, unlike forest soils where earthworm distribution is highly variable both vertically and horizontally, subcortical earthworms exhibit a relatively uniform distribution. This uniformity points to the consistent, favorable conditions beneath deadwood bark for earthworm survival. Given the impacts of climate change and human disturbances, maintaining various types of deadwood at different altitudes and canopy positions can play a crucial role in supporting earthworm biodiversity.

Keywords: Corticolous Earthworm, Deadwood, Decay Stage, Forest Gap

How to Cite This Article: Izadi, M., Habashi, H., Rafiee, F., & Kazemi, SH. (2025) Variations in the Frequency and Biomass of Corticolous Earthworms in the Eastern Hyrcanian Forests. *Ecol Iran For,* 13(1), 72-84. DOI: 10.61186/ifej.2024.559

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

تغییرات فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی زیر پوست‌زی در جنگل‌های شرق هیرکانی

معصومه ایزدی[۱]، هاشم حبشی[۲]، فاطمه رفیعی[۳] و شهره کاظمی[۴]

۱- دکتری، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، (نویسنده مسوول: m.izadi460@yahoo.com)
۲- دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- دکتری، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- دکتری، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۰
صفحه ۷۲ تا ۸۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: کرم‌های خاکی، که بخش عمده‌ای از زیست‌توده بی‌مهرگان خاک را تشکیل می‌دهند، نقش اساسی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک ایفا می‌کنند. این جانداران با تغییر ساختار خاک و تجزیه مواد آلی، موجب بهبود عملکرد بوم‌سازگان و افزایش تولید اولیه می‌شوند. کرم‌های خاکی براساس رفتار و تغذیه به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به کرم‌های اپی‌ژئیک، آنسیک و اندوژئیک اشاره کرد. علاوه‌بر این، برخی کرم‌ها، مانند گونه‌های درخت‌زی و زیر پوست‌زی، در زیستگاه‌های غیرمعمول زندگی می‌کنند. هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر خشکه‌دارها بر تنوع زیستی، فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی در جنگل‌های شرق هیرکانی است. در این راستا، شناسایی و طبقه‌بندی انواع کرم‌های خاکی موجود در زیرپوست خشکه‌دارها (چهار گونه) انجام و تلاش شد تا تأثیر گونه‌های مختلف خشکه‌دار و درجات پوسیدگی آن‌ها بر شاخص‌های مختلف تنوع زیستی و یکنواختی کرم‌های خاکی تحلیل شود. هم‌چنین، با بررسی و مقایسه فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی در زیر تاج‌پوشش جنگل و روشنه‌ها سعی شد تا تأثیر موقعیت‌های مکانی مختلف در جنگل‌های معتدله خزان‌کننده شرق هیرکانی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا واقع در جنگل‌های شرق هیرکانی قرار دارد. این پژوهش در پارسل‌های ۱، ۴، ۷، ۸، ۳۱ و۳۲ انجام شد، این پارسل‌ها به‌ترتیب شامل تیپ‌های پوشش درختی بلوط- ممرز، بلوط- ممرز، ممرز _انجیلی، ممرز_ انجیلی، راش_ممرز و راش_ممرز هستند. در این مطالعه، ۱۱۹ نمونه از خشکه‌دارهای افتاده از چهار گونه راش، ممرز، بلوط و انجیلی به‌صورت تصادفی از زیر تاج‌پوشش جنگل و روشنه‌ها در دو ارتفاع ۱۵۰ و ۹۵۰ متری انتخاب و بر اساس ویژگی‌های فیزیکی به چهار درجه پوسیدگی تقسیم شدند. پس از جداسازی پوست با چاقوی تیز، کرم‌های خاکی زیر آن جمع‌آوری و ابتدا در اتانول ۱۵ و سپس ۷۵ درصد نگهداری، و بعد از یک روز به محلول فرمالین ۴ درصد منتقل شدند. کرم‌ها تا سطح جنس با کلیدهای شناسایی موجود شناسایی شدند و سپس زی‌توده پس از خشک‌شدن ۴۸ ساعته در آون با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها شامل محاسبه شاخص‌های تنوع (شانون و سیمپسون)، یکنواختی (پایلو) و غنا (مارگالف و منهنیک) برای بررسی تنوع کرم‌های خاکی انجام شد. بررسی شاخص‌های تنوع با استفاده از نرم‌افزار PAST(3.04) و آزمون‌های آماری نیز برای بررسی تنوع، فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی بین متغیرها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

یافته‌ها: در بررسی چهار گونه خشکه‌دار (ممرز، راش، بلوط و انجیلی)، چهار جنس کرم خاکی زیرپوست‌زی شامل *Eisenia*، *Dendrobaena*، *Dendrodrillus* و *Apporecoeda* با درصدهای فراوانی به‌ترتیب ۳۲، ۲۰/۴۶، ۴۵/۹۴ و ۱/۶۰ شناسایی شدند. قابل ذکر است که بیشترین فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی، مربوط به جنس *Eisenia* بود که در خشکه‌دار ممرز مشاهده شد. تأثیر گونه‌های خشکه‌دار بر تنوع زیستی کرم‌های‌خاکی زیرپوست‌زی معنادار بود، اما تفاوت معناداری در فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی دیده نشد. بیشترین مقادیر شاخص‌های تنوع شانون و سیمپسون در گونه بلوط (۰/۱۶ و ۰/۲۳) و کمترین مقادیر این شاخص‌ها در گونه انجیلی (۰/۰۲ و ۰/۰۳) مشاهده شد. هم‌چنین، در گونه ممرز و انجیلی بیشترین و کمترین شاخص غنای مارگالف با مقادیر به‌ترتیب ۰/۱۴ و ۰/۰۱ مشاهده شد. شایان ذکر است که بیشترین فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی به‌ترتیب مربوط به گونه‌های ممرز، بلوط، راش و انجیلی بود. شاخص‌های یکنواختی پایلو و غنای منهنیک در مراحل مختلف پوسیدگی خشکه‌دارها تفاوت معناداری نشان دادند. بیشترین مقادیر شاخص‌های تنوع شانون (۰/۳۴)، غنای منهنیک (۰/۳۲) و مارگالف (۰/۲۴) در خشکه‌دارهای گونه ممرز با درجه پوسیدگی ۲ مشاهده شد، به‌طوری‌که تمام شاخص‌های تنوع زیستی بررسی‌شده در بین درجات مختلف پوسیدگی این گونه تفاوت معناداری داشتند. نتایج تحلیل واریانس نیز نشان داد که درجه پوسیدگی تاثیر معناداری بر فراوانی زی‌توده کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی داشت. بیشترین و کمترین فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی به‌ترتیب در درجات پوسیدگی ۳ و ۱ مشاهده شدند.

نتیجه‌گیری: در بین متغیرهای این پژوهش، شامل نوع گونه خشکه‌دار، درجه پوسیدگی خشکه‌دار، موقعیت قرارگیری زیرتاج‌پوشش جنگل یا روشنه‌های تاجی و ارتفاع از سطح دریا، تنها درجه پوسیدگی خشکه‌دار بر تغییرات فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی تاثیر معنی‌دار داشت. این موضوع نشان می‌دهد که بر خلاف خاک‌های جنگلی، که پراکنش عمودی و افقی کرم‌های خاکی در آن بسیار متنوع است، کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی پراکنش نسبتاً یکنواختی دارند که نشان‌دهنده شرایط همگن و مناسب زیرپوست خشکه‌دار برای زیست کرم خاکی است. با توجه به وقوع تغییرات اقلیمی از یک‌سو و آشفتگی‌های ناشی از دخالت‌های انسانی به‌نظر می‌رسد که نگهداری هر نوع خشکه‌دار در هر دامنه ارتفاع از سطح دریا و موقعیت‌های تاج پوشش متفاوت قادر است به حفظ تنوع زیستی کرم‌های خاکی کمک شایان توجهی نماید.

واژه‌های کلیدی: خشکه‌دار، درجه پوسیدگی، روشنه، کرم خاکی زیرپوست‌زی

مقدمه

کرم‌های خاکی به‌عنوان مهندسان بوم‌سازگان، با طیف وسیعی از فرآیندهای خاک و عملکردهای مرتبط با توسعه بوم‌سازگان‌های جنگلی پایدار مرتبط هستند (Lavelle *et al.*, 1997; Blouin *et al.*, 2013). به‌طور معمول، کرم‌های خاکی را می‌توان براساس رفتار فیزیولوژیکی، تغذیه‌ای و نقب زدن به چند گروه اکولوژیکی تقسیم کرد: ۱) کرم‌های خاکی اپی‌ژئیک (Epigeic) یا ساکن لاش‌برگ که از لاش‌برگ تغذیه می‌کنند، ۲) کرم‌های آنسیک (Anecic) که نقب‌های عمودی در خاک‌های معدنی ایجاد می‌کنند اما از سطح خاک تغذیه می‌کنند

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]

و در دفن لاش‌برگ از اهمیت بالایی برخوردارند، و ۳) کرم‌های اندوژئیک (Endogeic) که نقب‌های افقی می‌زنند در لایه‌های پایینی خاک زندگی می‌کنند و مواد مغذی آلی غنی خاک را استخراج کرده و تغذیه می‌کنند. با این‌حال، همه گونه‌ها صرفاً در این سه گروه قرار نمی‌گیرند و تقسیمات فرعی نیز وجود دارند (Lavelle, 1988). لی (Lee, 1995) بیان کرد که تعداد محدودی از کرم‌های خاکی در خاک زندگی نمی‌کنند. آن‌ها در بالای زمین یا روی درختان زندگی می‌کنند که arboreal یا درخت‌زی نامیده می‌شوند. هم‌چنین، بوش (Bouché, 1972) مشاهدات مشابهی انجام داد و یک زیرگروه کرم‌های اپی‌ژئیک را به‌عنوان کرم‌های زیرپوست‌زی (corticoles) معرفی کرد. گونه‌های زیرپوست‌زی یا arboreal با درختان در ارتباط هستند و در مواد آلی انباشت شده در زیرتاج پوشش درختان، درون چوب‌های پوسیده در زیر پوست درختان سرپا یا افتاده پوسیده زندگی می‌کنند. در بوم‌سازگان‌های جنگلی، درختان مرده به‌چشم می‌خورند که اغلب به‌دلایل مختلف طبیعی همچون پیری، حمله آفات و حشرات، آتش‌سوزی طوفان و یا فعالیت مصنوعی انسان ایجاد شده‌اند و در اصطلاح جنگل‌شناسی به این بقایای درختی موجود در سطح جنگل خشکه‌دار می‌گویند (Spies *et al.,* 1988).

خشکه‌دارها، شامل درختان سرپا، ریشه‌کن‌شده، تنه‌های افتاده و کنده‌های پوسیده‌ای هستند که نقش مهمی در جنگل‌ها دارند (Sefidi & Etemad, 2014). این عناصر به‌عنوان زیستگاه‌های مهم برای ارگانیسم‌های جنگلی، بستر جوانه‌زنی بذر (Kennedy & Quinn, 2001)، بهبود حاصلخیزی خاک (Marvie-Mohadjer, 2011)، حفظ رطوبت و ذخیره مواد غذایی و ایجاد خرداقلیم مناسب در اشکوب زیرین جنگل عمل می‌کنند (McComb, 2003). هم‌چنین، خشکه‌دارها می‌توانند شاخصی مؤثر برای ارزیابی تنوع‌زیستی جنگل‌ها باشند (Harmon & Sexton, 1996; Harmon & Franklin, 1986).

مطالعات نشان می‌دهند که خشکه‌دارها تأثیر مثبتی بر تراکم و تنوع گونه‌های حشرات ساپروکسیلیک (Jonsell *et al.,* 2007)، عنکبوت‌ها (Castro & Wise, 2010) و جانوران خاکزی مانند جورپایان، پادمان، سوسک، کنه و کرم‌خاکی دارند (Ulyshen *et al.,* 2011). به‌عنوان مثال، در جنگل‌های جنوب سوئد، ۵۰۵۶۶ نمونه ساپروکسیلیک از ۱۶۰ گونه جمع‌آوری شد که ۲۲ گونه در لیست قرمز قرار داشتند (Jonsell *et al.,* 2007). انواع مختلف خشکه‌دارها زیستگاه بهتری برای کنه‌ها و پادمان‌ها نسبت به خاک جنگل و لاش‌برگ فراهم می‌کنند (Skubała & Marzec, 2013).

مطالعات نشان می‌دهند که صفات پوست خشکه‌دارها در بین گونه‌های درختی مختلف متفاوت هستند و این تنوع باعث تغییر ترکیب جوامع بی‌مهرگان می‌شود (Zuo *et al.,* 2016). خشکه‌دارها علاوه‌بر ایجاد پناهگاه برای کرم‌ها، با فراهم کردن شرایط رطوبتی و دمایی مناسب، باعث افزایش کوکون‌ها و دوره فعالیت کرم خاکی می‌شوند (Hendrix, 1996; Geraskina, 2016).

تحقیقات وروبیچیک و همکاران (Vorobeichik *et al.,* 2020) نشان داد که کرم‌های خاکی *Dendrodrilus rubidus tent* در خشکه‌دارهای افتاده و مراحل آخر تجزیه در جنگل‌های سوزنی‌برگ آلوده به فلزات سنگین حضور داشتند، در حالی‌که در لاش‌برگ‌های خاک‌های معدنی این مناطق یافت نشدند. گراسکینا (Geraskina, 2016) نیز بیان کرد که این نوع کرم‌ها در شمال تایگا در هر دو بستر خشکه‌دار و خاک به‌وفور یافت شدند.

پژوهش رامبک و همکاران (Römbke *et al.,* 2017) با استفاده از تله‌های pitfall و eclecto نشان داد که کرم‌خاکی *Allolobophoridella eiseni* یک گونه arboreal است. اشوود و همکاران (Ashwood *et al.,* 2019) نشان دادند که حذف خشکه‌دار از بوم‌سازگان‌های جنگلی منجر به کاهش غنای گونه، فراوانی و زیست‌توده کرم خاکی شد.

امروزه شمار شواهد به‌دست آمده از مطالعات متعدد مبنی بر این که گونه‌های مختلف کرم خاکی در زیستگاه‌های غیرمتعارف نیز زندگی می‌کنند، در حال افزایش است.

در جنگل‌های شمال کشور، کمبود اطلاعات علمی درباره کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی به‌عنوان بخش‌هایی از بوم‌سازگان جنگلی قابل توجه است. این موجودات می‌توانند نقش کلیدی را در چرخه‌های بوم‌سازگان ایفا کنند و دریچه‌ای نو به اهمیت آن‌ها در فرایندهای اکولوژیکی بگشایند. این مطالعه با تحلیل فراوانی، زیست‌توده و تنوع کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی در چهار گونه خشکه‌دار جنگل‌های معتدله هیرکانی، تلاش دارد تا به این موضوع بپردازد. نوآوری این مطالعه در تحلیل فراوانی، زیست‌توده، و تنوع کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی در چهار گونه خشکه‌دار جنگل‌های معتدله شرق هیرکانی نهفته است. فرضیه اصلی تحقیق این است که خشکه‌دارها به‌عنوان خردزیستگاه‌های خاص، موجب افزایش تنوع و فراوانی کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی می‌شوند.

مواد و روش‌ها

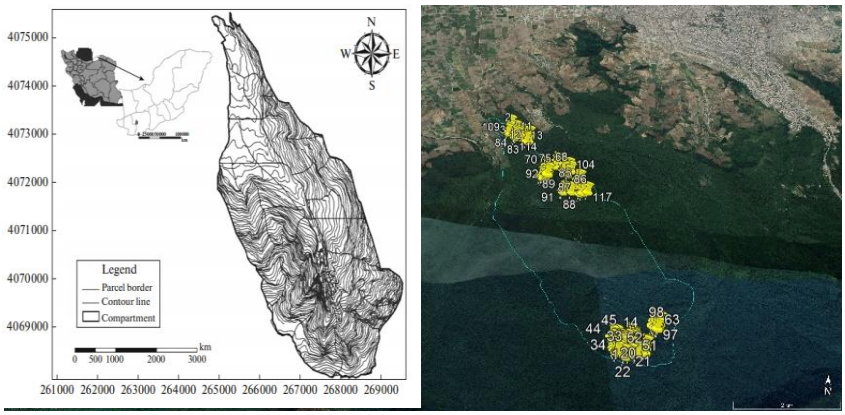
منطقه مورد مطالعه در سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا که جزو جنگل‌های شرق هیرکانی محسوب می‌شود، واقع شده است. این سری با مساحت ۱۷۱۳ هکتار، در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه و ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی، محدوده ارتفاعی ۲۴۰ تا ۲۱۶۸ متر از سطح دریا و در فاصله ۱۷ کیلومتری جنوب غربی شهر گرگان قرار دارد. جنگل آموزشی پژوهشی دکتر بهرام‌نیا دارای اقلیم خزری است و براساس آمار اقلیم شناسی دریافتی از ایستگاه هواشناسی هاشم آباد گرگان در فاصله ۸ کیلومتری شمال حوزه، مقدار بارندگی متوسط سالانه ۶۴۹ میلی‌متر است که بین ۵۲۸ الی ۸۱۷ میلی‌متر در سال تغییر می‌کند. این مطالعه در پارسل‌های۱، ۴، ۷، ۸، ۳۱ و۳۲ انجام شد. تیپ پوشش درختی در این پارسل‌ها به‌ترتیب بلوط–ممرز، بلوط–ممرز، ممرز–انجیلی، ممرز–انجیلی، راش–ممرز و راش–ممرز است.

روش جمع‌آوری داده‌ها

تعداد ۱۱۹ خشکه‌دار افتاده از چهار گونه راش، ممرز، بلوط و انجیلی به‌طور تصادفی در زیر تاج‌پوشش جنگل و روشنه و در

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]

دو حد ارتفاعی ۱۵۰ و ۹۵۰ انتخاب و به چهار درجه پوسیدگی براساس خصوصیات فیزیکی تقسیم‌بندی شدند (Sefidi & Etemad, 2015) (جدول ۱). نمونه‌برداری در ماه‌های فروردین و اردیبهشت سال ۱۳۹۷ انجام شد و برای جداسازی کرم‌های خاکی زیر پوست خشکه‌دار، ابتدا پوست با دقت توسط چاقوی تیز برداشت شد و کرم‌های خاکی زیر پوست جمع‌آوری شدند. کرم‌ها ابتدا در اتانول ۱۵ درصد و سپس در اتانول ۷۵ درصد به‌ترتیب قرار داده شدند. پس از گذشت یک روز، نمونه‌ها به محلول فرمالین ۴ درصد منتقل شدند (Latif *et al*., 2009). برای شناسایی کرم‌های خاکی تا سطح جنس از کلید موجود در سایت (www.earthwormsoc.org.uk) استفاده شد. برای اندازه‌گیری زی‌توده کرم‌ها، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه آون خشک و پس از رسیدن به وزن ثابت، با ترازوی ۰/۰۰۰۱ (مدل: AND GE-120) گرم توزین شدند (Rahmani & Mayvan, 2003).



شکل۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure1. Geographical position of the study site



شکل ۲- کرم‌های خاکی زیر پوست خشکه‌دار
Figure 2. Earthworms under deadwood

جدول ۱- درجات پوسیدگی و ویژگی مرتبط با هر خشکه‌دار
Table 1. Degrees of decay and characteristics associated with each deadwood

درجه پوسیدگی خشکه‌دار Degree of decay in deadwood	ویژگی خشکه‌دار Characteristics of deadwood
خشکه‌دار تازه Fresh deadwood (درجه یک) (Stage 1)	درخت تازه افتاده، پوست و چوب محکم هستند، گاهی و نوشاخه‌های رشد یافته سال اخیر (بر روی شاخه‌ها) دیده می‌شود. The recently fallen tree exhibits firm bark and solid wood, and in some cases, newly formed twigs from the current year (on the branches) are still visible.
خشکه‌دار در مرحله شروع پوسیدگی Deadwood in early decay stage (درجه دو) (Stage 2)	پوسیدگی درون چوب واضح است. در اغلب موارد پوست درخت دیده می‌شود، نوشاخه‌ها دیده نمی‌شوند. Internal wood decay is evident. In most cases, the bark remains visible while twigs are no longer present.
خشکه‌دار در مرحله پوسیدگی پیشرفته Deadwood in an advanced stage of decay (درجه سه) (Stage 3)	درون چوب و پوست درخت به‌طور کامل پوسیده شده است، سرشاخه‌ها کنده شده است به‌راحتی با ضربه حالت پودری می‌شود Both the inner wood and bark are fully decomposed. Branch tips have broken off, and the material readily crumbles into powder when struck.
خشکه‌دار در مرحله پوسیدگی کامل Deadwood in a complete decay stage (درجه چهار) (Stage 4)	درون چوب و پوست کاملاً پوسیده شده است، در برخی موارد درخت کاملاً به خاک تبدیل شده و پوشش علفی کاملاً مستقر شده است. The inner wood and bark have fully decomposed. In some cases, the entire tree has disintegrated into the soil, allowing for the full establishment of herbaceous ground cover.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]

تنوع کرم‌های خاکی در بین خشکه‌دارها به‌وسیله شاخص‌های تنوع (شانون و سیمپسون)، یکنواختی (پایلو) و غنا (مارگالف و منهنیک) محاسبه گردید (جدول۲).

جدول ۲- شاخص‌های اندازه‌گیری تنوع زیستی

Table 2. Indicators for Biodiversity Measurement

مؤلفه اندازه‌گیری تنوع زیستی Biodiversity measurement component	شاخص Index	دامنه اعداد شاخص‌ها Range of index numbers	فرمول Equation
تنوع Diversity	سیمپسون Simpson	0–1	$D = 1 - \sum(n1(n1-1)/(N(N-1)) - 1)$
	شانون Shannon	0 – ∞	$H = -\sum_{i=1}^{s}(pi)(lnPi)$
غنا Richness	مارگالف Margalef	0 – ∞	$R = S - 1/Ln$
	منهنیک Menhinick	0 - ∞	$R = S/\sqrt{n}$
یکنواختی Evenness	پایلو Pielou	0–1	$E = H/Ln(S)$

n1= تعداد افراد گونه i در نمونه، N= تعداد کل گونه، pi= نسبت گونه i در جامعه وS = تعداد گونه در نمونه

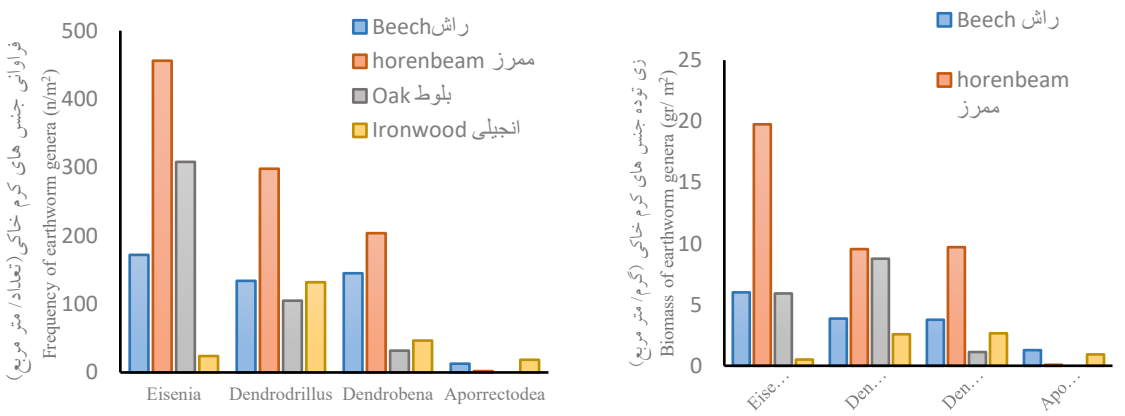
n1 = the number of species i in the sample, N = total number of species, pi = the ratio of species i in the community, and S = the number of species in the sample.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به‌منظور بررسی شاخص‌های تنوع کرم‌های خاکی بین گونه‌های خشکه‌دار و هم‌چنین بین درجات مختلف پوسیدگی خشکه‌دار، ابتدا از نرم‌افزار PAST(3.04) استفاده شد. سپس نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS 16 بررسی گردید. برای داده‌هایی که توزیع نرمال داشتند، از تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) استفاده شد و برای داده‌هایی که از توزیع نرمال پیروی نمی‌کردند، از آزمون معادل آن، یعنی کروسکال-والیس، استفاده شد. برای بررسی تنوع و فراوانی و زی‌توده کرم خاکی در دو موقعیت جنگل از آزمون T مستقل استفاده شد.

نتایج و بحث

زیر پوست ۱۱۹ خشکه‌دار افتاده چهار گونه ممرز، راش، بلوط و انجیلی در چهار مرحله پوسیدگی، چهار جنس کرم خاکی شامل *Eisenia* (۴۵/۹۴٪)، *Dendrobaena* (۲۰/۴۶٪)، *Dendrodrillus* (۳۲٪) و *Aporrectodea* (۱/۶۰٪) شناسایی گردید. بیش‌ترین فراوانی و زی‌توده جنس‌های *Eisenia*، *Dendrodrillus* و *Dendrobaena* در زیرپوست خشکه‌دارهای گونه ممرز بود. بیشترین فروانی و زی‌توده جنس *Apporecoeda* به‌ترتیب در خشکه‌دار گونه انجیلی و راش مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۳- فراوانی (الف) و زی‌توده (ب) جنس‌های کرم‌خاکی در گونه‌های مختلف خشکه‌دار

Figure 3. The Frequency (a) and Biomass (b) of Earthworm Genera across Various Deadwood Species

تاثیر گونه خشکه‌دار بر تنوع زیستی کرم‌خاکی زیرپوست‌زی

بین گونه‌های مختلف خشکه‌دار، شاخص‌های تنوع شانون، سیمپسون و غنای مارگالف کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی اختلافات معناداری را نشان دادند، در حالی‌که برای سایر شاخص‌ها اختلافات معناداری مشاهده نشد. بیشترین و کمترین مقادیر شاخص‌های تنوع شانون و سیمپسون به‌ترتیب در خشکه‌دار گونه‌های بلوط و انجیلی مشاهده شد. هم‌چنین، شاخص غنای مارگالف در خشکه‌دار ممرز بیشترین مقدار و در خشکه‌دار انجیلی کمترین مقدار را نشان داد (جدول ۳).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]

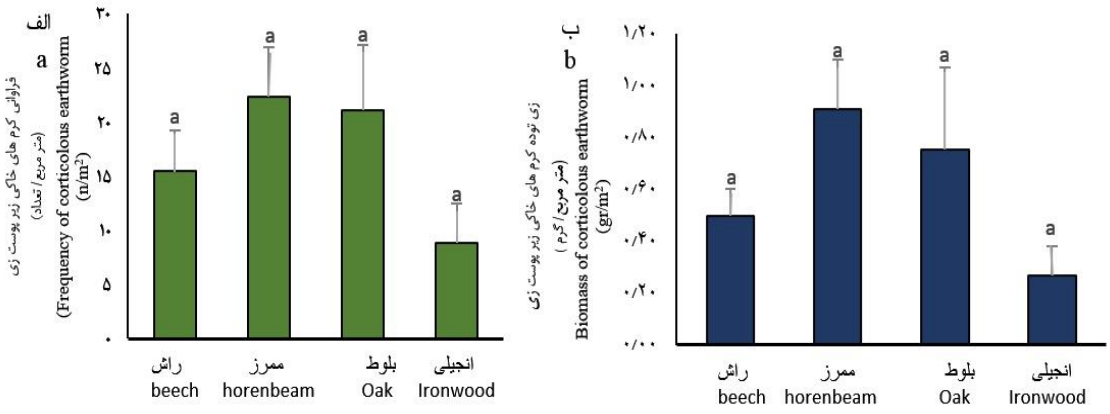
جدول ۳- نتایج آنالیز کروسکال-والیس تنوع گونه‌ای، یکنواختی و غنا در بین گونه‌های خشکه‌دار
Table 3. Kruskal-Wallis Results for Species Diversity, Evenness, and Richness among Different Deadwood Species

گونه‌های خشکه‌دار Core wood debris Species	نام شاخص Index name				
	تنوع Diversity		یکنواختی Evenness	غنا Richness	
	شانون Shannon	سیمپسون Simpson	پایلو Pielou	منهنیک Menhinick	مارگالف Margate
راش Beech	0.16 ± 0.06	0.09 ± 0.04	0.50 ± 0.09	0.18 ± 0.04	0.10 ± 0.04
ممرز Hornbeam	0.22 ± 0.05	0.14±0.03	0.51±0.07	0.20±0.04	0.14±0.04
بلوط Oak	0.23±0.07	0.16±0.05	0.50±0.11	0.17±0.04	0.11±0.03
انجیلی Ironwood	0.03±0.03	0.02±0.02	0.28±0.09	0.07± 0.02	0.01±0.01
Sig.	*	*	ns	ns	*

* and ns mean significance at the 95 level no significance, respectively. * به معنای اختلاف معنادار در سطح ۹۵ درصد و ns به‌معنای عدم معناداری است.

تاثیر گونه خشکه‌دار بر فراوانی و زی‌توده کرم خاکی زیرپوست‌زی

فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی در بین انواع مختلف گونه‌های خشکه‌دار اختلاف معناداری نداشت. با این‌حال، بیشترین و کمترین مقادیر عددی فراوانی و زی‌توده کرم خاکی زیرپوست‌زی به‌ترتیب در خشکه‌دار گونه ممرز و خشکه‌دار انجیلی مشاهده شدند (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه میانگین فراوانی (الف) و زی‌توده (ب) کرم‌های خاکی زیر پوست‌زی بین گونه‌های خشکه‌دار
Figure 4. Comparing the Average Frequency (a) and Biomass (b) of Corticolous Earthworms across Different Deadwood Species

در مطالعه حاضر، تنوع زیستی (ترکیب جامعه) کرم خاکی زیرپوست‌زی در بین گونه‌های خشکه‌دار متفاوت بود. از آنجایی‌که در دسترس بودن مواد غذایی و هم‌چنین نقش حفاظتی پوست و چوب پوسیده خشکه‌دارها برای برخی از گونه‌های اپی‌ژیک مطلوب است (Römbke *et al.,* 2017)، حتی لاش‌برگ‌های نزدیک خشکه‌دارها می‌توانند تراکم بیشتری از بی‌مهرگان را نشان دهند که این امر می‌تواند به‌دلیل فراوانی بیشتر طعمه و شرایط ریزاقلیم مطلوب‌تر در نزدیکی خشکه‌دار باشد (Castro & Wise, 2010).

براساس نتایج این پژوهش، اختلاف در تنوع زیستی کرم‌خاکی در چهار گونه خشکه‌دار مورد مطالعه می‌تواند به تفاوت‌های موجود در مورفولوژی پوست، چگالی چوب، محتوای عناصر غذایی و متابولیت‌های ثانویه این گونه‌های درختی مرتبط باشد (Cornwell *et al.,* 2009). مشابه نتایج این مطالعه، زو و همکاران (Zuo *et al.,* 2014) نیز نشان دادند که تغییرات حضور بی‌مهرگان به عوامل محیطی تجزیه چوب و نوع گونه درختی وابسته بود. هم‌چنین زو و همکاران (Zuo *et al.,* 2023) بیان کرده‌اند که جوامع کرم‌های خاکی در خشکه‌دارها از نظر ترکیب و فراوانی تحت تأثیر گونه درختی، مراحل تجزیه و نوع جنگل با ویژگی‌های مختلف درختی قرار دارند.

با این‌حال، یافته‌های ما نشان داد که گونه ممرز بیشترین فراوانی و زی‌توده کرم خاکی زیرپوست‌زی را دارا بود که این موضوع ممکن است به‌دلیل ویژگی‌های خاص این گونه درختی باشد.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، تراکم و محتوی مواد غذایی چوب در ترکیب مجموعه حشرات ساپروفاگوس تاثیرگذار است. تفاوت در ویژگی‌های ژنتیکی و ترکیبات شیمیایی استخراجی فاکتور مهمی در پوسیدگی، اکسیداسیون و جذب جانوران تجزیه کننده محسوب می‌شود (Alidadi *et al.,* 2014). لاستا

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]

و همکاران (Lasota *et al.,* 2018) نشان دادند که غلظت کاتیون‌های آب‌شویی شده از خشکه‌دار گونه ممرز نسبت به گونه بلوط بیشتر بود. این محققین محتوی یون‌هایی که از شیرابه‌های گونه بلوط آب‌شویی شده بود را با نتایج کونئه و همکاران (Kuehne *et al.,* 2008) برای گونه راش مشابه بیان کردند. با توجه به نتایج این محققین می‌توان گفت که ویژگی‌های شیمیایی مطلوب چوب گونه ممرز منجر به افزایش حضور و فعالیت کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی این گونه نسبت به راش می‌شود که از جمله دلایل احتمالی افزایش فراوانی و زی‌توده کرم‌ها در این گونه نسبت به گونه‌های بلوط و راش است.

ضخامت پوست درختان نقشی حیاتی در توانایی چسبیدن بی‌مهرگان و سکنی‌گزینی آن‌ها در پوست دارد، به‌طوری که پوست نازک درختان مقاومت درخت در برابر حشرات گیاهخوار را افزایش می‌دهد (Ferrenberg & Mitton, 2014). پوست درختان به‌عنوان یک لایه حفاظتی عمل می‌کند که می‌تواند ویژگی‌های متعددی از جمله ضخامت، بافت، و ترکیب شیمیایی را دربر گیرد که بر تعاملات بی‌مهرگان با درختان تأثیرگذار است. در پژوهش حاضر، بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که ضخامت بیشتر پوست خارجی گونه بلوط، به‌عنوان یک سپر مؤثر در برابر نوسانات شدید رطوبتی و حرارتی عمل می‌کند. به‌طور خاص، این ضخامت بیشتر به حفظ شرایط محیطی پایدارتر برای بی‌مهرگان زیرپوست‌زی کمک می‌کند.
روسل و همکاران (Rosell *et al.,* 2014) نشان داده‌اند که پوست درخت بلوط به‌دلیل وجود لایه‌های ضخیم و متراکم، می‌تواند نوسانات دما و رطوبت را بهتر تحمل کند. این ویژگی به بی‌مهرگان زیرپوست‌زی اجازه می‌دهد تا در محیطی با شرایط میکروکلیمایی پایدارتر زندگی کنند. به‌عبارت دیگر، پوست ضخیم بلوط به کاهش تغییرات ناگهانی دما و رطوبت در ناحیه زیرپوست کمک می‌کند و بنابراین، یک محیط مناسب‌تر و پایدارتر برای زیست کرم‌های زیرپوست‌زی نسبت به دو گونه راش و انجیلی فراهم می‌آورد.

رابطه مستقیم ضخامت پوست خارجی خشکه‌دار با فروانی بی‌مهرگان که به‌دلیل حساسیت بالای آن‌ها نسبت به خشکی می‌باشد (Dias *et al.,* 2013) در تحقیق زو و همکاران (Zuo *et al.,* 2016) نیز گزارش شده است.

تاثیر درجه پوسیدگی خشکه‌دار بر تنوع‌زیستی کرم خاکی زیرپوست‌زی

شاخص‌های تنوع شانون، سیمپسون و غنای مارگالف در گونه‌های راش، بلوط و انجیلی بین درجات مختلف پوسیدگی خشکه‌دار اختلاف معناداری نداشتند، اما شاخص‌های یکنواختی پایلو و غنای منهنیک دارای اختلافات معناداری بودند. درجه پوسیدگی ۳ راش و بلوط بیشترین مقدار این شاخص‌ها را به‌خود اختصاص داده‌اند. در خشکه‌دار گونه انجیلی، تنوع شانون و سیمپسون و غنای مارگالف در درجه پوسیدگی ۳ دارای بیشترین مقدار بودند در حالی‌که شاخص یکنواختی پایلو و غنای منهنیک در درجه پوسیدگی ۴ در این گونه بیشترین مقادیر را نشان دادند. در خشکه‌دار ممرز، شاخص‌های تنوع شانون، سیمپسون و غنای منهنیک و مارگالف در میان درجات مختلف پوسیدگی اختلافات معناداری را نشان دادند. بیشترین مقدار شاخص‌های تنوع شانون، غنای منهنیک و مارگالف به درجه پوسیدگی ۲ خشکه‌دار گونه ممرز اختصاص یافت (جدول ۴).

جدول۴- نتایج آنالیز کروسکال-والیس برای تنوع گونه‌ای، یکنواختی و غنا در بین درجات پوسیدگی هرگونه خشکه‌دار
Table 4. Kruskal-Wallis Results for Species Diversity, Evenness, and Richness among Different Deadwood Species

گونه‌های خشکه‌دار	درجه پوسیدگی خشکه‌دار	Index name: تنوع Diversity		یکنواختی Evenness	غنا Richness	
Core wood debris Species	Decay rate of deadwood	شانون Shannon	سیمپسون Simpson	پایلو Pielou	منهنیک Menhinick	مارگالف Margalef
راش Beech	1	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0
	2	0.13±0.10	0.07±0.06	0.67±0.15	0.21±0.07	0.12±0.08
	3	0.37±0.16	0.22±0.09	0.67±0.15	0.28±0.07	0.19±0.08
	4	0±0	0±0	0.60±0.24	0.19±0.09	0±0
Sig.		ns	ns	*	*	ns
ممرز Hornbeam	1	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0
	2	0.34±0.10	0.21±0.06	0.65±0.10	0.32±0.08	0.24±0.08
	3	0.31±0.10	0.21±0.07	0.71±0.14	0.26±0.06	0.16±0.05
	4	0.05±0.05	0.03±0.03	0.38±0.16	0.08±0.03	0.03±0.03
Sig.		*	*	*	*	*
بلوط Oak	1	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0
	2	0.26±0.16	0.18±0.11	0.38±0.24	0.15±0.10	0.12±0.08
	3	0.36±0.10	0.25±0.07	0.85±0.10	0.27±0.06	0.18±0.05
	4	–	–	–	–	–
Sig.		ns	ns	*	*	ns
انجیلی Ironwood	1	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0
	2	0±0	0±0	0.11±0.11	0.02±0.01	0±0
	3	0.09±0.09	0.06±0.06	0.50±0.19	0.14±0.06	0.04±0.04
	4	0±0	0±0	1±0	0.18±0.05	0±0
Sig		ns	ns	*	*	ns

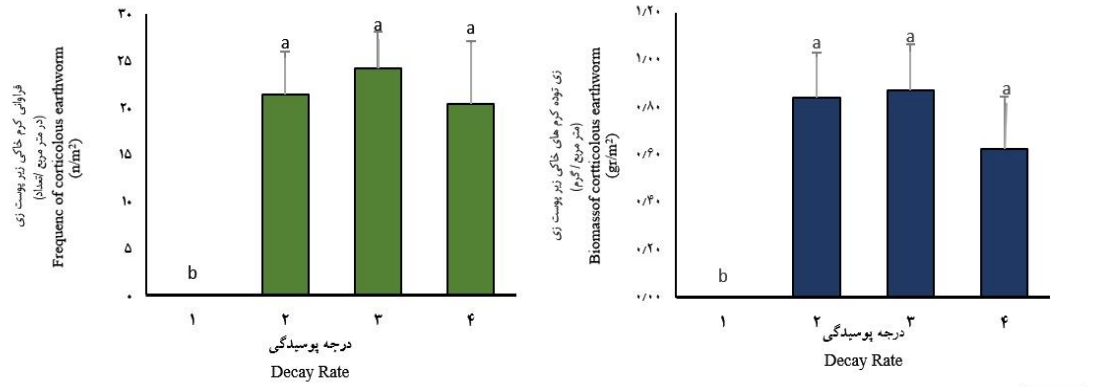
* به معنای اختلاف معنادار در سطح ۹۵ درصد و ns به معنای عدم معناداری است.
* and ns mean significance at the 95% level no significance, respectively.

تاثیر درجه پوسیدگی خشکه‌دار بر فراوانی و زی‌توده کرم خاکی زیرپوست‌زی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که هم فراوانی و هم زی‌توده کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی در بین درجات مختلف خشکه‌دار اختلافات معناداری ($p < ۰/۰۵$) داشتند. بر اساس نتایج مقایسه

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]

میانگین‌ها، کمترین فراوانی (صفر) و کمترین زی‌توده کرم‌های زیرپوست‌زی (صفر) در درجه پوسیدگی ۱ و بیشترین فراوانی و زی‌توده کرم‌های زیرپوست‌زی در درجه پوسیدگی ۳ مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین فراوانی (الف) و زی‌توده (ب) کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی در مراحل مختلف پوسیدگی خشکه‌دار
Figure 5. Comparing the Average Frequency (a) and Biomass (b) of Corticolous Earthworms across Various Decay Stages of Deadwood

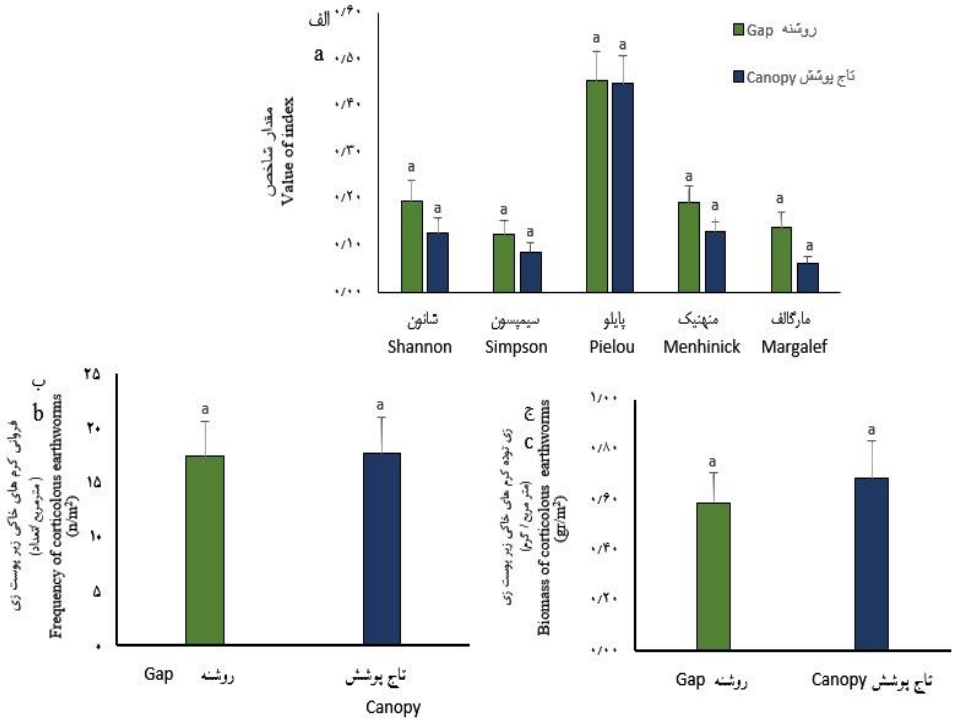
بر اساس نتایج این تحقیق، تنوع زیستی و میزان فراوانی و زی‌توده کرم خاکی زیرپوست‌زی تحت تأثیر مراحل پوسیدگی خشکه‌دار قرار داشت. حضور کرم‌های خاکی در خشکه‌دار با درجه پوسیدگی ۲ و بعد از آن مشاهده شد و بیشترین فراوانی و زی‌توده کرم‌خاکی زیرپوست‌زی به درجه پوسیدگی ۳ تعلق داشت (به‌استثنای گونه ممرز که شاخص تنوع‌زیستی در درجه پوسیدگی ۲ دارای مقادیر بیشتری بود). این نتیجه منطبق با نتایج پژوهش زو و همکاران (Zou *et al.,* 2016) است. آقاجانی و همکاران (Aghajani *et al.,* 2023) نیز بیان کردند درجه پوسیدگی ۳ دارای بیشترین فراوانی قارچ‌های ماکروسکوپی بود.

اشوود و همکاران (Ashwood *et al.,* 2019) اظهار داشتند که فراوانی و زی‌توده جامعه کرم‌های خاکی تحت تأثیر مراحل تجزیه خشکه‌دار قرار داشت. از آنجاکه در فرایند تجزیه اجزای ساختاری چوب، مانند سلولز، همی سلولز و لیگین ساختار خود را از دست می‌دهند و نرم‌تر می‌شوند، چوب رطوبت بالاتری دارد و منابع غذایی آن قابلیت دسترسی بیشتری دارند. در نتیجه، به‌عنوان زیستگاه برای موجوداتی نظیر کرم‌های خاکی از مطلوبیت بالاتری برخوردار است (Laiho & Prescott, 2004). سفیدی (Sefidi, 2019) بیان کرد ویژگی‌های فیزیکی چوب (دانسیته و وزن) و ترکیبات بیوشیمیایی چوب (لیگنین، سلولز و همی‌سلولز) در مراحل مختلف پوسیدگی متفاوت بود. بنابراین، چوب‌های با پوسیدگی بالاتر دارای فضای بیشتری برای پناه گرفتن هستند و در نتیجه آشیان مناسب‌تری برای گونه‌های مختلف فراهم می‌کنند (Kruys *et al.,* 1999). به‌علاوه، هرچه قطعات خشکه‌دار مدت زمان طولانی‌تری در یک محل باقی بمانند، احتمال این‌که به‌عنوان زیستگاه موجودات زنده مورد استفاده قرار گیرند، بیشتر است (Crites & Dale, 1988). در مطالعه حاضر، کمترین میزان فراوانی، زی‌توده و تنوع‌زیستی کرم خاکی زیرپوست‌زی در درجه پوسیدگی یک مشاهده شده است که می‌تواند به‌دلیل سفت بودن پوسته خشکه‌دار درجه ۱ باشد

تاثیر موقعیت قرارگیری خشکه‌دار بر تنوع، فراوانی و زی‌توده کرم خاکی زیرپوست‌زی

نتایج حاصل از آزمون من‌ویتنی نشان داد که تنوع زیستی کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی در دو موقعیت قرارگیری خشکه‌دار در روشنه و زیر تاج‌پوشش اختلاف معناداری نداشت. هم‌چنین، نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که میزان فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی بین دو موقعیت جنگل (روشنه و زیر تاج‌پوشش جنگل) اختلاف معناداری نداشت (شکل ۶).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]



شکل۶- متوسط میزان شاخص‌های تنوع زیستی (الف)، فراوانی (ب) و زی‌توده (ج) کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی در دو موقعیت جنگل
Figure 6. Average Values of the Diversity Index (a), Frequency (b), and Biomass (c) of Corticolous Earthworms in Two Forest Locations (Under Forest Canopy and Forest Gap)

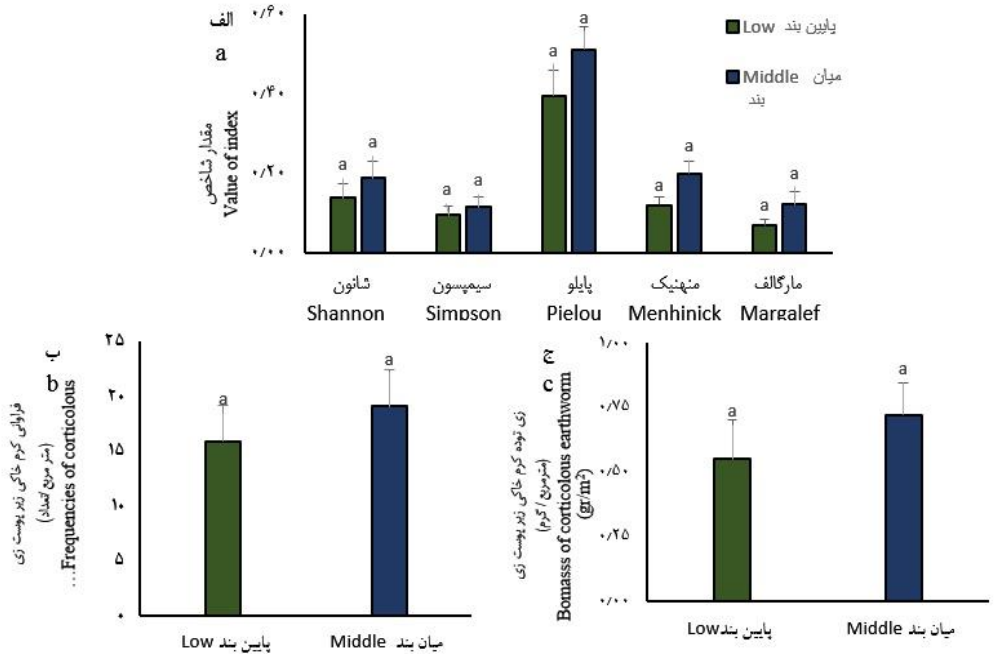
در پژوهش‌های پیشین، فاکتورهای بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، نسبت کربن به نیتروژن، اسیدیته و درصد رطوبت خاک به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار بر تغییرات فراوانی (تراکم و زی‌توده) کرم خاکی در جنگل‌های هیرکانی معرفی شده‌اند که مرتبط با موقعیت خاک جنگلی شامل روشنه یا زیرتاج‌پوشش است. گالهیدی و همکاران (Gálhidy *et al.*, 2006) اشاره کردند که در جنگل‌های معتدله همیشه با افزایش اندازه سطح بازشدگی تاج‌پوشش، کمیت نور نیز افزایش یافت که منجر به خشکی خاک شد.

نی و همکاران (Ni *et al.*, 2016) نیز بیان نمودند که ایجاد روشنه در بوم‌سازگان‌های جنگلی منجر به کاهش رطوبت در خاک‌های سطحی می‌شود. از آنجایی‌که رطوبت فاکتور مهمی برای فراوانی و زی‌توده کرم خاکی است، سطح رطوبت خاک به‌طور معناداری در داخل جنگل نسبت به فضای خارج از آن بیشتر است (Riutta *et al.*, 2012). بنابراین انتظار می‌رود با توجه به شرایط متفاوت دو خُردبوم‌سازگان مذکور، فراوانی، زی‌توده و ترکیب جامعه کرم‌های خاکی متفاوت باشد. نتایج برخی پژوهش‌های پیشین حاکی از این امر است که فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی روند کاهشی از زیر تاج‌پوشش بسته جنگل به سمت روشنه دارد (Nachtergale *et al.*, 2002; Kooch & Hosseini, 2010). اما در مطالعه حاضر، هیچ تفاوت معناداری در فراوانی و زی توده کرم‌های زیرپوست‌زی بین دو موقعیت قرارگیری خشکه‌دار در زیر تاج‌پوشش جنگل یا روشنه مشاهده نشد. احتمالاً علی‌رغم بازشدگی تاج‌پوشش و کاهش رطوبت خاک در روشنه‌ها، هم‌چنان شرایط رطوبتی مشابه‌ای در زیر پوست خشکه‌دارها جهت حضور کرم‌های زیرپوست‌زی فراهم بوده‌است.

تاثیر ارتفاع از سطح دریا بر تنوع، فروانی و زی‌توده کرم خاکی زیرپوست‌زی

نتایج آزمون من‌ویتنی نشان داد که شاخص‌های تنوع زیستی، فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی در حد ارتفاعی پایین‌بند و میان‌بند اختلافات معناداری نداشتند. بیشترین مقدار شاخص‌های تنوع زیستی، فراوانی و زی‌توده کرم خاکی زیرپوست‌زی در حد ارتفاعی میان‌بند مشاهده شد (شکل ۷).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]



شکل ۷- متوسط مقادیر شاخص‌های تنوع زیستی (الف)، فراوانی (ب) و زی‌توده (ج) کرم‌های خاکی زیرپوست‌زی در دو حد ارتفاعی جنگل
Figure 7. Average Values of the Diversity Index (a), Frequency (b), and Biomass (c) of Corticolous Earthworms in Two Elevation Categories

ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان یک عامل محیطی کلیدی، به طور قابل توجهی بر ویژگی‌های اکولوژیکی زیستگاه‌ها تأثیر می‌گذارد و به تبع آن، بر حضور و فراوانی موجودات خاکزی نیز مؤثر است. مطالعات پیشین، از جمله پژوهش‌های انجام شده توسط روزن و همکاران (Rosen *et al.,* 2013)، بیان کردند که مناطق کوهپایه‌ای از نظر گونه‌های کرم‌های خاکی غنی‌تر نسبت به مناطق کوهستانی بالا دست بودند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که با افزایش ارتفاع، شرایط محیطی ممکن است به شکلی تغییر کند که برای برخی گونه‌های خاکزی نامطلوب‌تر باشد.

با این حال، نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که فراوانی، زی‌توده، و تنوع زیستی کرم‌های زیرپوست‌زی در دو حد ارتفاعی میان‌بند و پایین‌بند تفاوت معنی‌داری نداشته‌اند. این نتیجه، با توجه به حساسیت کرم‌های خاکی به دما و رطوبت (Lakzian,2008)، حاکی از آن است که عوامل دیگری نیز ممکن است نقش مهمی در حفظ پایداری جمعیت کرم‌های خاکی ایفا کنند.

یکی از این عوامل، شرایط زیستگاه خشکه‌دار است که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌است. فضای زیر پوست خشکه‌دار به‌طور قابل توجهی مرطوب‌تر و تا حدی گرم‌تر از زیستگاه‌های خاک باز است (Ashwood *et al.,* 2019). این شرایط مطلوب‌تر می‌توانند محافظتی مؤثر در برابر کمبود آب و تغییرات دمایی ایجاد کنند که این ویژگی‌ها برای بقا و تکثیر کرم‌های خاکی، که ۷۵ تا ۹۰ درصد وزن بدنشان را آب تشکیل می‌دهد (Lakzian, 2008)، حیاتی است. تحقیقات اشوود و همکاران (Ashwood *et al.,* 2020) نیز نشان می‌دهند که تعداد زیادی از کرم‌های خاکی نابالغ در خشکه‌دارها حضور دارند که این امر به‌دلیل شرایط رطوبتی و دمایی مطلوب این زیستگاه‌ها است. این زیستگاه به‌نظر می‌رسد شرایط بهینه‌ای را برای زنده ماندن و تکثیر کرم‌های جوان و کوکون‌ها فراهم می‌کند، و بدین‌ترتیب اثرات منفی تغییرات ارتفاعی را تا حد زیادی جبران می‌کند.

این یافته‌ها می‌توانند نشان‌دهنده نقش مهم زیستگاه‌های خاص (خشکه‌دارها) در حفظ تنوع زیستی باشند. در حالی‌که برخی گونه‌ها ممکن است با افزایش ارتفاع دچار کاهش جمعیت شوند، وجود این زیستگاه‌ها با شرایط میکروکلیمایی مناسب می‌تواند به پایداری و بقای گونه‌های حساس کمک کند. در نتیجه، این موضوع می‌تواند به‌عنوان یکی از مسیرهای مهم برای تحقیقات آینده مطرح شود؛ به‌ویژه تحقیقاتی که به بررسی دقیق‌تر نقش زیستگاه‌های خشکه‌دار و سایر زیستگاه‌های خاص در حفظ تنوع زیستی در محیطی می‌پردازند.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]

References

Aghajani, H., Ghanbari, M. A. T., & Jalilvand, H. (2023). Biodiversity of Deadwood Beech Macrofungi in the Darabkola Educational Research Forest of Sari. *Ecology of Iranian Forest*, *11*(22), 132-141.

Alidadi, F., Marvie Mohadjer, M. R., Etemad, V., & Sefidi, K. (2014). Decay dynamics of oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) and hornbeam (Carpinus betulus L.) deadwood in mixed beech stands. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(4), 624-635.

Ashwood, F., Vanguelova, E. I., Benham, S., & Butt, K. R. (2019). Developing a systematic sampling method for earthworms in and around deadwood. *Forest Ecosystems*, 6, 1-12.

Ashwood, F., Vanguelova, E. I., Benham, S., & Butt, K. R. (2020). Looking for Earthworms in Deadwood. *Frontiers for Young Minds,* 8, 547465.

Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., ... & Brun, J. J. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, *64*(2), 161-182.

Bouché, M. B. (1972). Lombriciens de France. Ecologie et systématique (Vol. 72). INRA Editions.

Castro, A., & Wise, D. H. (2010). Influence of fallen coarse woody debris on the diversity and community structure of forest-floor spiders (Arachnida: Araneae). *Forest Ecology and Management*, 260(12), 2088-2101.

Cornwell, W. K., Cornelissen, J. H., Allison, S. D., Bauhus, J., Eggleton, P., Preston, C. M., Scarff, F., Weedon, J. T., Wirth, C., & Zanne, A. E. (2009). Plant traits and wood fates across the globe: rotted, burned, or consumed? *Global Change Biology*, 15(10), 2431-2449.

Crites, S., & Dale, M. R. (1998). Diversity and abundance of bryophytes, lichens, and fungi in relation to woody substrate and successional stage in aspen mixedwood boreal forests. *Canadian Journal of Botany*, 76(4), 641-651.

Dias, A. T., Krab, E. J., Mariën, J., Zimmer, M., Cornelissen, J. H., Ellers, J., Wardle, D. A., & Berg, M. P. (2013). Traits underpinning desiccation resistance explain distribution patterns of terrestrial isopods. *Oecologia*, 172, 667-677.

Ferrenberg, S., & Mitton, J. B. (2014). Smooth bark surfaces can defend trees against insect attack: resurrecting a 'slippery'hypothesis. *Functional Ecology,* 28(4), 837-845.

Gálhidy, L., Mihók, B., Hagyó, A., Rajkai, K., & Standovár, T. (2006). Effects of gap size and associated changes in light and soil moisture on the understorey vegetation of a Hungarian beech forest. *Plant Ecology*, 183, 133-145.

Geraskina, A. (2016). The population of earthworms (Lumbricidae) in the main types of dark coniferous forests in Pechora-Ilych Nature Reserve. *Biology Bulletin*, 43, 819-830.

Harmon, M. E., & Sexton, J. (1996). Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems.

Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S., Lattin, J., Anderson, N., Cline, S., Aumen, N., & Sedell, J. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 15, 133-302.

Hendrix, P. F. (1996). Earthworms, biodiversity, and coarse woody debris in forest ecosystems of the southeastern USA. iodiversity and coarse woody debris in southernforests. Proceedings of the workshop on coarse woody debris in forests: effects on biodiversity. Gen. Tech. Rep. SE-94. [Place of publication unknown]: US Department of griculture, Forest Service.

Jonsell, M., Hansson, J., & Wedmo, L. (2007). Diversity of saproxylic beetle species in logging residues in Sweden–comparisons between tree species and diameters. *Biological Conservation*, 138(1-2), 89-99.

Kennedy, P. G., & Quinn, T. (2001). Understory plant establishment on old-growth stumps and the forest floor in western Washington. *Forest Ecology and Management*, 154(1-2), 193-200.

Kooch, Y., & Hosseini, S. M. (2010). Response of earthworm's biomass and diversity to windthrow events and soil properties in Hyrcanian forests of Iran. *Folia Oecologica*, 37(2), 181.

Kruys, N., Fries, C., Jonsson, B. G., Lämås, T., & Ståhl, G. (1999). Wood-inhabiting cryptogams on dead Norway spruce (Picea abies) trees in managed Swedish boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 29(2), 178-186.

Kuehne, C., Donath, C., Müller-Using, S., & Bartsch, N. (2008). Nutrient fluxes via leaching from coarse woody debris in a Fagus sylvatica forest in the Solling Mountains, Germany. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(9), 2405-2413.

Laiho, R., & Prescott, C. E. (2004). Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in northern coniferous forests: a synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(4), 763-777.

Lakzian, A. (2008). Soil microbiology. Mashhad Ferdowsi University, P135. [In Persian]

Lasota, J., Błońska, E., Piaszczyk, W., & Wiecheć, M. (2018). How the deadwood of different tree species in various stages of decomposition affected nutrient dynamics? *Journal of Soils and Sediments*, 18, 2759-2769.

Latif, R., Ezzatpanah, S., Malek, M., & Parsa, H. (2009). Earthworms of the Central Elburz Mountains, Iran. *Iranian Journal of Animal Biosystematics*, *5*(2), 1-15.

Lavelle, P. (1988). Earthworm activities and the soil system. *Biology and Fertility of Soils,* 6, 237-251.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]

Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P. O. W. H., ... & Dhillion, S. (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology,* 33, 159-193.

Lee, K. E. (1959). The earthworm fauna of New Zealand.

Marvie Mohadjer, M.R. (2011). Silviculture. University of Tehran Press, Tehran, 387p. [In Persian]

McComb, W. (2003). Ecology of coarse woody debris and its role as habitat for mammals. Mammal community dynamics. Management and conservation in the coniferous forests of western North America. Cambridge University Press, Cambridge, UK. http://dx. doi. org/10.1017/CBO9780511615757, 12.

Nachtergale, L., Ghekiere, K., De Schrijver, A., Muys, B., Luyssaert, S., & Lust, N. (2002). Earthworm biomass and species diversity in windthrow sites of a temperate lowland forest. *Pedobiologia*, 46(5), 440-451.

Ni, X., Yang, W., Tan, B., Li, H., He, J., Xu, L., & Wu, F. (2016). Forest gaps slow the sequestration of soil organic matter: a humification experiment with six foliar litters in an alpine forest. *Scientific Reports*, 6(1), 19744.

Rahmani, R., & Mayvan, H. Z. (2003). Diversity and assemblage structure of soil invertebrates in beech, hornbeam and oak-hornbeam forest types. *Iranian Journal of Natural Resources*. 56(4): 425-436

Riutta, T., Slade, E. M., Bebber, D. P., Taylor, M. E., Malhi, Y., Riordan, P., Macdonald, D. W., & Morecroft, M. D. (2012). Experimental evidence for the interacting effects of forest edge, moisture and soil macrofauna on leaf litter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry,* 49, 124-131.

Römbke, J., Blick, T., & Dorow, W. H. (2017). Allolobophoridella eiseni (Lumbricidae), a truly arboreal earthworm in the temperate region of Central Europe. *Soil Organisms*, 89(2), 75–84.

Rosell, J. A., Gleason, S., Méndez-Alonzo, R., Chang, Y., & Westoby, M. (2014). Bark functional ecology: evidence for tradeoffs, functional coordination, and environment producing bark diversity. *New Phytologist*, 201(2), 486-497.

Rożen, A., Mysłajek, R. W., & Sobczyk, Ł. (2013). Altitude versus vegetation as the factors influencing the diversity and abundance of earthworms and other soil macrofauna in montane habitat (Silesian Beskid Mts, Western Carpathians). *Polish Journal of Ecology*, 61(1), 145-156.

Sebastian, P., Mathew, M., Beevi, S. P., Joseph, J., & Biju, C. (2005). The spider fauna of the irrigated rice ecosystem in central Kerala, India across different elevational ranges. *The Journal of Arachnology*, 33(2), 247-255.

Sefidi, K. (2019). The influence of geomorphological characteristics of forest sites on the decay dynamics of dead trees in Asalem Forests, Western Hyrcanian Region. *Ecology of Iranian Forest*, 7(14), 70-79.

SEFIDI, K., & ETEMAD, V. (2014). The amount and quality of dead trees in a mixed beech forest with different management histories in northern Iran. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 15(2).

Sefidi, K., & Etemad, V. (2015). Dead wood characteristics influencing macrofungi species abundance and diversity in Caspian natural beech (Fagus orientalis Lipsky) forests. *Forest Systems*, 24(2), eSC03-eSC03.

Skubała, P., & Marzec, A. (2013). Importance of different types of beech dead wood for soil microarthropod fauna. *Polish Journal of Ecology*, 61(3), 545-560.

Smith, M. A., Hallwachs, W., & Janzen, D. H. (2014). Diversity and phylogenetic community structure of ants along a Costa Rican elevational gradient. *Ecography*, 37(8), 720-731.

Spetich, A. M., Liechty, H. O., Stanturf, J. A., Marion, D. A., Luckow, K., Meier, C. E., & Guldin, J. M. (2002). Coarse woody debris of a prerestoration shortleaf pine-bluestem forest. In *Proceedings of the eleventh biennial southern silvicultural research conference. Outcalt, KW, (ed.). General Technical Report. SRS-48. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station* (p. 622).

Spies, T. A., Franklin, J. F., & Thomas, T. B. (1988). Coarse woody debris in Douglas-fir forests of western Oregon and Washington. *Ecology*, 69(6), 1689-1702.

Ulyshen, M. D., Klooster, W. S., Barrington, W. T., & Herms, D. A. (2011). Impacts of emerald ash borer-induced tree mortality on leaf litter arthropods and exotic earthworms. *Pedobiologia*, 54(5-6), 261-265.

Vorobeichik, E., Ermakov, A., Nesterkova, D., & Grebennikov, M. (2020). Coarse woody debris as microhabitats of soil macrofauna in polluted areas. *Biology Bulletin*, 47, 87-96.

Zuo, J., Berg, M. P., Klein, R., Nusselder, J., Neurink, G., Decker, O., Hefting, M. M., Sass-Klaassen, U., van Logtestijn, R. S., & Goudzwaard, L. (2016). Faunal community consequence of interspecific bark trait dissimilarity in early-stage decomposing logs. *Functional Ecology*, 30(12), 1957-1966.

Zuo, J., Fonck, M., van Hal, J., Cornelissen, J. H. C., & Berg, M. P. (2014). Diversity of macro-detritivores in dead wood is influenced by tree species, decay stage and environment. *Soil Biology and Biochemistry*, 78, 288-297.

Zuo, J., Muys, B., Berg, M. P., Hefting, M. M., van Logtestijn, R. S., van Hal, J., & Cornelissen, J. H. (2023). Earthworms are not just “earth” worms: Multiple drivers to large diversity in deadwood. *Forest Ecology and Management*, *530*, 120746.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.559]