Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

*Journal of Wood and Forest Science and Technology*

**Print ISSN: 2322-2077**
**Online ISSN: 2322-2786**

# Seasonal variations in earthworm density and biomass across low-altitude natural stands and plantations, and their relationship with soil properties

**Rezvan Sadat Tabatabaei[1], Hashem Habashi[*2], Ramin Rahmani[3]**

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: tabatabaei.rs@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: habashi@gau.ac.ir
3. Professor, Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rahmani@gau.ac.ir

**Article Info**

**Article type:**
Full Length Research Paper

**Article history:**
Received: 07.20.2024
Revised: 11.27.2024
Accepted: 11.30.2024

**Keywords**:
Arizona Cypress,
Oak,
Physical and chemical soil characteristics,
Temporal variation

**ABSTRACT**

**Background and Objectives:** Earthworms, pivotal soil organisms, profoundly influence soil's physical, chemical, and biological characteristics, impacting subterranean biomass and biogeochemical cycles. Their activities, altering soil porosity and organic matter decomposition, substantially elevate ecosystem functionality. Environmental factors like moisture and litter quality shape earthworm abundance. In forested regions such as Shast-Kalateh, differences between natural and planted stands significantly impact earthworm populations. Additionally, seasonal variations in climate and soil attributes play a crucial role in the distribution patterns and biomass of these organisms. This study aimed to explore the effects of natural and planted forest stands on earthworm density and biomass across various seasons in six forest stands within the Shast-Kalateh forestry plan.

**Materials and Methods:** Two natural forest stands the productive Ironwood-Hornbeam and low-yielding Persian Ironwood-Hornbeam, were selected alongside four reforested stands in district one: Arizona cypress, Caucasian alder, Chestnut-leaved oak, and a mixed Chestnut-leaved oak-Caucasian elm. To ensure uniformity in topographic conditions, encompassing slope, aspect, and altitude above sea level across all stands, monthly soil samples were systematically gathered using a standardized cylinder, with 30 samples collected from each forest type. Subsequently, earthworms were manually extracted from these samples, dried at 60 °C, and immediately weighed. Simultaneously, surface soil samples (0-10 cm depth) underwent analysis for a range of physical and chemical properties, including moisture content, bulk density, acidity, nitrogen levels, organic carbon content, as well as concentrations of phosphorus and potassium.

**Results:** The results demonstrated a significant disparity in both the average number (1.46) and biomass (0.2 g) of earthworms between natural forest stands and planted stands. Across all seasons, earthworm biomass exhibited a decreasing trend: spring (0.26 g) > winter (0.14 g) > autumn (0.13 g) > summer (0.05 g). Interestingly, winter emerged as a period of heightened earthworm activity in the Shast-Kalateh forest plains. Notably, the highest number (1.7 individuals) and biomass (0.81 g) of earthworms were consistently recorded in the 0-10 cm depth of the planted oak stand,

suggesting its success in fostering optimal soil conditions for earthworm populations. These findings underscore the seasonal dynamics and depth preferences of earthworms in response to varying environmental conditions. Furthermore, earthworm populations in the study area exhibited a strong correlation with specific soil characteristics, with acidity, moisture content, and the carbon-to-nitrogen ratio identified as the most influential factors.

**Conclusion:** This study revealed higher earthworm density and biomass in natural forest stands compared to planted ones, suggesting more favorable living conditions in natural environments. Among the planted stands, the Chestnut-leaved oak stand exhibited the highest earthworm density and biomass within the 0-10 cm soil depth, indicating its success in creating optimal soil conditions for earthworm activity. Seasonal variations significantly influenced earthworm biomass, with winter identified as a particularly favorable period for their activity in the Shast-Kalateh forest plain. These findings emphasize the importance of effective soil and forest stand management practices in enhancing ecosystem health

Cite this article: Tabatabaei, Rezvan Sadat, Habashi, Hashem, Rahmani, Ramin. 2024. Seasonal variations in earthworm density and biomass across low-altitude natural stands and plantations, and their relationship with soil properties. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 31 (3), 1-16.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2024.22587.2068
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

# تغییرات فصلی تراکم و زی‌توده کرم خاکی در توده‌های دست‌کاشت و طبیعی پایین‌بند و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک

رضوان سادات طباطبایی[۱]، هاشم حبشی*[۲]، رامین رحمانی[۳]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: tabatabaei.rs@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: habashi@gau.ac.ir

۳. استاد گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: rahmani@gau.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله کامل علمی- پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۳/۰۴/۳۰
**تاریخ ویرایش:** ۱۴۰۳/۰۹/۰۷
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۹/۱۰

**واژه‌های کلیدی:**
بلندمازو،
تغییرات زمانی،
خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک،
زربین

**چکیده**

**سابقه و هدف:** کرم‌های خاکی به‌عنوان یکی از شاخص‌ترین گروه‌های زیستی خاک، نقش حیاتی در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک ایفا می‌کنند و بر زی‌توده زیرزمینی و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی تأثیر می‌گذارند. آن‌ها با تغییر تخلخل خاک و تجزیه مواد آلی، به بهبود عملکرد اکوسیستم کمک می‌کنند. فراوانی این کرم‌ها تحت‌تأثیر عوامل محیطی مانند رطوبت و کیفیت لاشبرگ قرار دارد و در مناطق جنگلی، تفاوت‌های موجود بین توده‌های طبیعی و دست‌کاشت، به‌ویژه در جلگه‌های جنگلی مانند شصت‌کلاته، بر روی جمعیت کرم‌های خاکی تأثیر می‌گذارد. هم‌چنین، تغییرات فصلی در اقلیم و ویژگی‌های خاک می‌تواند الگوهای توزیع و زی‌توده این موجودات را دستخوش تغییر کند. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر توده‌های جنگلی طبیعی و دست‌کاشت بر تراکم و زی‌توده کرم خاکی طی فصول مختلف سال در شش توده جنگلی در طرح جنگلداری شصت‌کلاته انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش دو توده جنگلی طبیعی (انجیلی - ممرز تولیدی و انجیلی - ممرز کم‌بازده) و چهار توده جنگل‌کاری شده (زربین، توسکا ییلاقی، بلندمازو و توده آمیخته بلندمازو - آزاد) در سری یک انتخاب گردید به‌نحوی‌که شرایط توده‌ها از نظر توپوگرافی (شیب زمین، جهت دامنه و ارتفاع از سطح دریا) مشابه باشد. از هر تیپ جنگلی ماهانه ۳۰ نمونه خاک از طریق استوانه‌ای با سطح مقطع ۸۱ سانتی‌مترمربع و تا عمق ۳۰ سانتی‌متر برداشت شد. کرم‌های خاکی با روش دست‌چین از لابه‌لای نمونه‌ها جمع‌آوری و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و با دقت هزارم گرم وزن شدند. هم‌زمان نمونه‌ای از خاک سطحی (عمق

صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل رطوبت، جرم مخصوص ظاهری، pH، نیتروژن، کربن آلی، فسفر و پتاسیم برداشته شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که میانگین تراکم (۱/٤٦) و زی‌توده (۰/۲) کرم خاکی توده‌های طبیعی بیش‌تر از توده‌های دست‌کاشت است. میانگین زی‌توده کرم خاکی به ترتیب در فصل بهار (۰/۲٦)، زمستان (۰/۱٤)، پائیز (۰/۱۳) و تابستان (۰/۰۵) کاهش یافت و نشان داد که فصل زمستان نیز در جلگه‌های جنگل شصت‌کلاته برای فعالیت کرم خاکی مناسب است. بیش‌ترین تراکم (۱/۷) و زی‌توده کرم خاکی (۰/۸۱) در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر در توده بلندمازو یافت شدند. این توده به‌عنوان موفق‌ترین توده دست‌کاشت در ایجاد شرایط بهینه خاک برای کرم خاکی معرفی شد. جمعیت کرم‌های خاکی در منطقه مورد بررسی تحت‌تأثیر مجموعه‌ای از ویژگی‌های خاک قرار دارد که pH، رطوبت، نسبت کربن به نیتروژن مهم‌ترین آن‌ها می‌باشند.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج این پژوهش، تراکم و زی‌توده کرم خاکی در توده‌های طبیعی جنگل بیش‌تر از توده‌های دست‌کاشت است که این امر نشان‌دهنده شرایط مطلوب‌تر زیستی در توده‌های طبیعی می‌باشد. بااین‌حال، در میان توده‌های دست‌کاشت، توده بلندمازو با بیش‌ترین تراکم و زی‌توده کرم خاکی در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر، به‌عنوان موفق‌ترین توده در ایجاد شرایط مناسب خاک برای فعالیت کرم‌های خاکی شناخته شد. هم‌چنین، تغییرات فصلی تأثیر قابل‌توجهی بر زی‌توده کرم‌های خاکی داشته و فصل زمستان نیز در جلگه‌های جنگل شصت‌کلاته به‌عنوان دوره‌ای مناسب برای فعالیت این موجودات معرفی می‌شود. این یافته‌ها اهمیت مدیریت خاک و توده‌های جنگلی در بهبود زیست‌بوم را برجسته می‌سازند.

استناد: طباطبایی، رضوان سادات، حبشی، هاشم، رحمانی، رامین (۱۴۰۳). تغییرات فصلی تراکم و زی‌توده کرم خاکی در توده‌های دست‌کاشت و طبیعی پایین‌بند و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۱ (۳)، ۱۶-۱.
DOI: 10.22069/JWFST.2024.22587.2068

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

## مقدمه

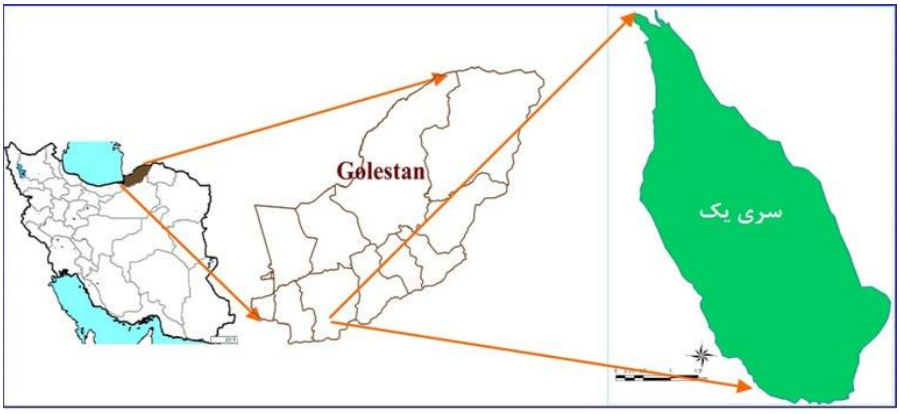
احیای سطوح جنگلی تخریب‌یافته، توسط برنامه‌های جنگل‌کاری، تأثیرات معنی‌داری بر تغییرپذیری مشخصه‌های خاک ایجاد می‌کند (۱). در این زمینه بین گونه‌های بومی و غیربومی و هم‌چنین گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ به دلیل تفاوت در نوع و میزان مواد آلی که به خاک بازمی‌گردانند و هم‌چنین تعاملات ریشه‌ای با خاک، تأثیرات متفاوتی بر مشخصه‌های خاک دارند (۱ و ۲). ازاین‌رو، ارزیابی تأثیر گونه‌های مختلف کاشته شده در جنگل‌کاری‌ها بر مشخصه‌های خاک، گامی مهم در ارزیابی موفقیت روند احیای مناطق تخریب‌شده است. با توجه به حساسیت بالای موجودات خاکزی به تغییرات محیطی، می‌توان از آن‌ها به‌عنوان شاخص‌های زیستی برای ارزیابی این تغییرات استفاده کرد (۳) که در این خصوص تراکم و زی‌توده کرم‌های خاکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (٤). کرم‌های خاکی از مهم‌ترین ماکروفون‌های خاک هستند که در حدود ۳۷۰۰ گونه از آن‌ها در جهان شناخته شده است و در بیش‌تر بوم‌سازگان‌های خشکی یافت می‌شوند آن‌ها بیش از ۹۰ درصد زیست‌توده بی‌مهرگان خاک را تشکیل می‌دهند و مهندسان مهم اکوسیستم می‌باشند و تأثیر تعیین‌کننده‌ای در چرخه مواد غذایی دارند (۵).

کرم‌های خاکی با تغذیه از بقایای گیاهی و مخلوط‌کردن آن‌ها با خاک، به تجزیه سریع‌تر مواد آلی کمک می‌کنند. عبور مداوم مواد از دستگاه گوارش این جانداران، سبب خرد شدن ذرات و افزایش سطح تماس آن‌ها با میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود. درنتیجه، فرآیندهای تجزیه و معدنی شدن مواد آلی تسریع شده و در دسترس بودن مواد مغذی برای گیاهان افزایش می‌یابد (٦). علاوه بر این، حفر تونل‌های متعدد توسط کرم‌های خاکی، به بهبود ساختار خاک، افزایش تخلخل و نفوذپذیری آن و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری آب و تهویه خاک کمک می‌کند. این فعالیت‌ها هم‌چنین منجر به تشکیل خاکدانه‌های پایدار و افزایش فعالیت میکروبی می‌شود (۷ و ۸). به‌طورکلی، کرم‌های خاکی با بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، به‌طور غیرمستقیم بر تولید اولیه اکوسیستم تأثیر گذاشته و نقش مهمی در حفظ پایداری آن ایفا می‌کنند (۹). جمعیت کرم‌های خاکی به‌صورت تراکم و زی‌توده نشان داده می‌شود که در رویشگاه‌های مختلف از یک تا بیش از ۲۰۰۰ عدد در مترمربع متغیر است (۷). تراکم و زی‌توده کرم‌های خاکی از جمله شاخص‌های بارز نشان‌دهنده فعالیت حیاتی می‌باشد (۱۰) تغییرات فصلی در عوامل محیطی مانند دما، رطوبت و مواد آلی، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر جمعیت و فعالیت کرم‌های خاکی تأثیر بگذارد؛ بنابراین طی زمان و فصول مختلف سال الگوی پراکنش آن‌ها مختلف است (۱۰) در این میان، نوع پوشش گیاهی نیز می‌تواند بر فراوانی و پراکنش کرم‌های خاکی تأثیرگذار باشد. توده‌های دست‌کاشت و طبیعی به‌دلیل تفاوت در ساختار پوشش گیاهی، ترکیب گونه‌ای و مقدار مواد آلی، می‌توانند زیستگاه‌های متفاوتی را برای کرم‌های خاکی فراهم کنند (۱۱). روابط بین جمعیت کرم خاکی و عوامل محیطی اغلب در مقیاس‌های منطقه‌ای، به‌ویژه در خاک‌های جنگلی ایجاد شده است. بااین‌حال، تنوع و مجموعه کرم‌های خاکی و هم‌چنین مکانیسم تأثیرگذاری آن‌ها به‌ندرت موردمطالعه قرار گرفته‌اند (۱۲)؛ بنابراین بررسی و مطالعه جمعیت کرم‌های خاکی در خاک می‌تواند اطلاعات مفیدی از چگونگی تغییرات خصوصیات خاک و تراکم کرم‌های خاکی در اثر بهره‌برداری و کم‌بازده شدن توده‌های جنگلی در اختیار مدیران منابع طبیعی قرار دهد تا بتوانند مقدار این تغییرات بررسی کنند و تصمیم‌های مناسب را اتخاذ کنند. این پژوهش

با هدف بررسی تراکم و زی‌توده کرم خاکی در دو توده طبیعی و چهار توده دست‌کاشت طی چهارفصل سال در جنگل آموزشی و پژوهشی شصت‌کلاته دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد و فرضیه اصلی پژوهش این است که تغییرات فصلی موجب تغییر تراکم و زی‌توده کرم‌های خاکی در توده‌های دست کاشت نسبت به توده‌های طبیعی می‌شوند.

## مواد و روش‌ها

**منطقه موردمطالعه:** منطقه موردمطالعه 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 جغرافیایی ۵۴ 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 بر اساس آمار اقلیم‌شناسی دریافتی از ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد گرگان در فاصله ۸ کیلومتری شمال حوزه، مقدار بارندگی متوسط سالانه ۶۴۹ میلی‌متر است که بین ۵۲۸ الی ۸۱۷ میلی‌متر در سال تغییر می‌کند.




**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه.**

**Figure 1. The location of the study area.**

این مطالعه در پارسل‌های یک و دو انجام شد. تیپ پوشش درختی در این پارسل‌ها به ترتیب در پارسل یک (انجیلی - ممرز تولیدی و کم‌بازده) و در پارسل دو (۴ توده بلوط خالص، توسکا خالص، زربین خالص و توده‌ی آمیخته‌ی بلوط- آزاد) می‌باشد. شرایط توده‌ها از نظر توپوگرافی شامل شیب زمین، جهت دامنه و ارتفاع از سطح دریا مشابه است. دامنه ارتفاعی بین ۳۲۰ تا ۳۴۰ متر از سطح دریا و میانگین شیب ۳۰ درصد می‌باشد.

### روش جمع‌آوری داده‌ها

**نمونه‌برداری خاک:** نمونه‌برداری خاک در ۵ نقطه تصادفی از هر توده در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری با استفاده از رینگ‌های نمونه‌برداری با سطح مقطع ۸۱ سانتی‌مترمربع در یک دوره یک‌ساله به‌صورت ماهانه انجام شد (۱۳). به‌منظور اندازه‌گیری نرخ تنفس خاک، یک ماه پیش از اندازه‌گیری ماهانه در نقاط انتخاب شده، حلقه‌هایی از جنس پلی‌اتیلن با قطر داخلی ۱۵/۵ سانتی‌متر در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک قرار داده شد.

در هر یک از نقاط مذکور مقدار دی‌اکسیدکربن متصاعدشده از سطح خاک با استفاده از Q-Box SR1LP و با روش چمبر دینامیکی بسته هر ٦٠ ثانیه یک‌بار به‌مدت‌زمان پنج دقیقه اندازه‌گیری شد و برحسب واحد میکرومول بر مترمربع در ثانیه گزارش شد (١٤). پس از ثبت داده‌ها، بر اساس شیب‌خط تغییرات غلظت دی‌اکسیدکربن و با استفاده از رابطه زیر، تنفس خاک محاسبه شد.

$$SR= [CO_2]/ ((273+Temp)/273)*22.413)/SA$$

در این رابطه، SR تنفس خاک بر مبنای واحد میکرو مول بر مترمربع در ثانیه، $CO_2$ غلظت دی‌اکسیدکربن تجمع‌یافته در محفظه چمبر (ppm)، Temp دمای خاک (درجه سانتی‌گراد) و SA سطح مقطع (سانتی‌مترمربع) چمبر می‌باشد. دمای خاک با استفاده از دماسنج خاک و قرار دادن میله سنجش‌گر در عمق ١٠ سانتی‌متری به‌صورت ماهانه ثبت شد. پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، محتوی رطوبتی خاک با استفاده از روش تفاوت وزنی در دمای ١٠٥ درجه سانتی‌گراد، اسیدیته خاک با روش پتانسیومتری و قرائت با دستگاه pH متر (١٥) کربن آلی خاک به روش اکسیدسیون‌تر (١٦) فسفر و پتاسیم با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر، نیتروژن به روش کجلدال و جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه تعیین گردید.

**نمونه‌گیری کرم‌های خاکی:** هم‌زمان با نمونه‌برداری خاک، کرم‌های خاکی به‌صورت جداگانه از لایه‌های سطحی (عمق صفر تا ١٠ سانتی‌متر) به روش دست‌چین (١٣) جدا شدند. نمونه‌ها تمیز و شمارش شده و در ظروف پلاستیکی حاوی اتانول ٧٥ درصد نگهداری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری زی‌توده، به‌مدت ٤٨ ساعت در دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد خشک شده و سپس وزن آن‌ها با ترازویی با دقت یک‌صدم گرم اندازه‌گیری شد (١٣).

**آنالیز داده‌ها:** در این مرحله نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف – اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS 27.0.1 بررسی گردید. همبستگی زی‌توده کرم خاکی با مشخصه‌های خاک به‌وسیله شاخص همبستگی پیرسون بررسی شد. از آزمون تی جفتی و تجزیه واریانس یک‌طرفه به ترتیب جهت مقایسه لایه‌های سطحی و عمقی خاک و مقایسه تیپ‌های جنگلی از نظر مشخصه‌های اندازه‌گیری شده استفاده شد.

## نتایج

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در بین توده‌های جنگلی اختلاف معناداری دارد (Sig<٠/٠٥) (جدول ١). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیش‌ترین و کم‌ترین میزان نیتروژن خاک به ترتیب در توده‌های بلندمازو – آزاد و تولیدی انجیلی – ممرز به میزان ٢٣/٤٣ و ٨/٩١ درصد بوده است. میزان پتاسیم، مواد آلی و فسفر خاک توده جنگلی زربین به ترتیب با میزان ٢٨/٦٧، ٦/٤٦ و ٣٦/٤٦ درصد به‌طور معنی‌داری از سایر توده‌ها بیش‌تر بود. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد رطوبت خاک به ترتیب در توده‌های بلندمازو و زربین به میزان ٥١/٥ و ٣٤/٥١ درصد مشاهده شد. بیش‌ترین میزان تنفس خاک در توده تولیدی انجیلی – ممرز به‌میزان ٣٦/٧٩ درصد مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری از سایر توده‌ها بیش‌تر بود. بین یافته‌های حاصل از دی‌اکسیدکربن و pH خاک توده‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (Sig>٠/٠٥). بیش‌ترین نسبت کربن به نیتروژن و کربن به فسفر خاک به‌ترتیب در توده‌های بلندمازو – آزاد و بلندمازو مشاهده شد که با سایر توده‌ها تفاوت معنی‌داری داشت.

جدول ۱- مقایسه میانگین مشخصات فیزیکی - شیمیایی خاک توده‌های جنگلی مورد بررسی.

**Table 1. Comparative Analysis of Average Physico-Chemical Characteristics of Soil Across Investigated Forest Stands.**

| F | Sig. | زربین Arizona cypress | توسکا Caucasian alder | بلندمازو آزاد Chestnut-leaved oak-Caucasian elm | بلندمازو Chestnut-leaved oak | انجیلی - ممرز کم‌بازده Low-yielding Persian Ironwood-Hornbeam | انجیلی - ممرز تولیدی Productive Persian Ironwood-Hornbeam | مشخصات خاک Soil characteristics |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.26 | 0.058$^{ns}$ | 16.66±4.41$^{ab}$ | 3.58$^{b}$±10.59 | 3.19$^{a}$±23.43 | 4.44$^{ab}$±18.28 | 3.40$^{b}$±11.83 | 2.48$^{b}$±8.91 | نیتروژن (درصد) Nitrogen % |
| 13.92 | 0.000$^{**}$ | 1.00$^{a}$±28.67 | 1.01$^{b}$±20.97 | 1.03$^{b}$±23.17 | 0.79$^{c}$±18.31 | 0.85$^{b}$±22.58 | 0.81$^{b}$±21.69 | پتاسیم (ppm) Potassium |
| 4.97 | 0.000$^{**}$ | 0.48$^{a}$±6.46 | 1.45$^{cd}$±5 | 1.11$^{bc}$±5.39 | 0.93$^{b}$±5.76 | 1.31$^{b}$±5.44 | 1.33$^{d}$±4.82 | مواد آلی (درصد) Organic materials % |
| 5.19 | 0.000$^{**}$ | 7.21$^{ab}$±12.02 | 1.05$^{c}$±8.30 | 1.45$^{c}$±7.40 | 4.63$^{bc}$±9.88 | 5.85$^{a}$±14.10 | 2.73$^{bc}$±9.35 | دما Temperature |
| 10.78 | 0.000$^{**}$ | 0.05$^{a}$±6.86 | 0.06$^{a}$±6.79 | 0.06$^{a}$±6.85 | 0.07$^{a}$±6.78 | 0.07$^{a}$±6.87 | 0.07$^{a}$±6.85 | اسیدیته pH |
| 11.54 | 0.000$^{**}$ | 2.96$^{a}$±36.46 | 1.25$^{c}$±14.89 | 1.81$^{b}$±20.46 | 1.89$^{bc}$±17.58 | 1.14$^{c}$±14.94 | 1.26$^{c}$±13.74 | فسفر (ppm) Phosphorus |
| 3.15 | 0.021$^{*}$ | 0.35$^{b}$±34.51 | 0.27$^{b}$±37.1 | 0.26$^{b}$±36.17 | 0.34$^{a}$±51.5 | 0.26$^{b}$±38.54 | 0.22$^{b}$±36.79 | رطوبت (درصد) Soil moisture% |
| 1.38 | 0.109$^{ns}$ | 1.57$^{b}$±3.83 | 1.60$^{ab}$±3.95 | 1.45$^{ab}$±3.98 | 8.60$^{ab}$±3.92 | 1.52$^{ab}$±4.02 | 1.57$^{a}$±4.07 | تنفس Breath |
| 0.71 | 0.619$^{ns}$ | 0.06$^{a}$±1.78 | 0.04$^{a}$±1.41 | 0.08$^{a}$±1.38 | 0.06$^{a}$±1.86 | 0.07$^{a}$±1.5 | 0.05$^{a}$±1.24 | دی‌اکسیدکربن $Co_2$ |
| 10.85 | 0.000$^{**}$ | 0.02$^{b}$±0.23 | 0.04$^{a}$±0.43 | 0.04$^{a}$±0.36 | 0.04$^{a}$±0.44 | 0.03$^{a}$±0.40 | 0.04$^{a}$±0.42 | درصد کربن به فسفر Carbon to Phosphorous ratio (%) |
| 0.95 | 0.210$^{ns}$ | 1.64$^{b}$±0.53 | 0.87$^{ab}$±2.67 | 0.67$^{a}$±4.06 | 0.63$^{ab}$±3.47 | 0.64$^{ab}$±2.68 | 0.7$^{ab}$±2.67 | درصد کربن به نیتروژن Carbon to nitrogen ratio (%) |
| 0.84 | 0.65$^{ns}$ | 1.18$^{a}$±0.55 | 1.13$^{a}$±0.5 | 0.97$^{a}$±0.32 | 1.2$^{a}$±0.67 | 1.13$^{a}$±0.52 | 1.58$^{a}$±3.48 | جرم مخصوص ظاهری خاک Bulk density |

$^{**}$ معنی‌داری در سطح ۱ درصد؛ $^{*}$ معنی‌داری در سطح ۵ درصد، $^{ns}$ عدم وجود معنی‌داری

** Significance level P ≤ 0.01, * Significance level P ≤ 0.05, $^{ns}$ non-significant

بررسی همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و زی‌توده کرم خاکی در توده‌های جنگلی موردمطالعه نشان داد که قوی‌ترین ارتباط مثبت بین نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن خاک توده‌های جنگلی وزی توده کرم خاکی با ضریب همبستگی ۰/۸۳ در سطح یک درصد معنی‌داری مشاهده شد. هم‌چنین، ارتباط مثبت معنی‌داری نیز بین فسفر و مواد آلی خاک با ضریب همبستگی ۰/۵۲ در

سطح یک درصد وجود داشت. بااین‌حال، بین پتاسیم و مواد آلی یا تعداد کربن، همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج کلی این پژوهش بیانگر آن است که اگرچه برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با زی‌توده کرم خاکی ارتباط معنی‌داری دارند، اما این ارتباط در مورد همه ویژگی‌ها یکسان نبوده است.

**جدول ۲- همبستگی اسپیرمن بین مشخصات فیزیکی - شیمیایی خاک و زی‌توده کرم خاکی.**

**Table 2. Spearman's Correlation Analysis between Soil Physico-Chemical Characteristics and Earthworm Biomass.**

| | رطوبت (٪) Soil moisture% | تنفس Breath | $Co_2$ | pH | P | N | K | مواد آلی (٪) Organic materials% | تراکم کرم خاکی Earthworm Density | دما Temperature | زی‌توده Biomass | C/P | C/N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رطوبت (٪) Soil moisture% | 1 | | | | | | | | | | | | |
| تنفس Breath | -0.32 | 1 | | | | | | | | | | | |
| $Co_2$ | -0.05 | -0.29 | 1 | | | | | | | | | | |
| pH | 0.15** | -0.13 | -0.07 | 1 | | | | | | | | | |
| P | -0.4 | 0.09 | 0.19** | -0.12 | 1 | | | | | | | | |
| N | 0.20** | -0.32 | -0.06 | -0.02 | 0.01 | 1 | | | | | | | |
| K | -0.07 | 0.07* | -0.28 | 0.05* | 0.27** | 0.13** | 1 | | | | | | |
| مواد آلی (٪) Organic materials % | 0.15** | -0.06 | -0.03 | -0.05 | 0.52** | -0.15 | 0.31** | 1 | | | | | |
| تراکم کرم خاکی Earthworm Density | 0.19** | -0.05 | -0.2 | 0.00 | -0.18 | 0.45** | 0.29** | -0.035 | 1 | | | | |
| دما Temperature | -0.11 | 0.4** | -0.48 | 0.07* | 0.19** | -0.29 | 0.21** | 0.241** | 0.06* | 1 | | | |
| زی‌توده Biomass | 0.14** | 0.01* | -0.14 | 0.08* | -0.04 | 0.21** | 0.08* | -0.011 | 0.37** | 0.23** | 1 | | |
| C/P | 0.06* | -0.05 | -0.21 | 0.10** | -0.80 | -0.14 | -0.12 | -0.151 | 0.22** | -0.04 | 0.00* | 1 | |
| C/N | 0.16** | -0.31 | 0.04* | 0.00 | -1.00 | 0.83** | -0.05 | -0.247 | 0.21** | -0.31 | 0.22** | -0.027 | 1 |

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد؛ * معنی‌داری در سطح ۵ درصد

** Significance level $P \leq 0.01$, * Significance level $P \leq 0.05$

نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که توزیع زی‌توده کرم‌های خاکی در عمق‌های مختلف خاک و انواع مختلف توده‌های جنگلی متفاوت است. به‌طورکلی، مشاهده شد که با افزایش عمق از صفر تا ۱۰ سانتی‌متر به ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، زی‌توده کرم‌های خاکی در اغلب توده‌های جنگلی کاهش یافته است. تنها در توده زربین، روند عکس این اتفاق افتاده است. بیش‌ترین میانگین زی‌توده کرم‌های خاکی در لایه سطحی (صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) در توده بلندمازو (۰/۸۱) و کم‌ترین آن در توده زربین (۰/۰٤) مشاهده شد. در لایه زیرین (۳۰ – ۱۰ سانتی‌متر) نیز، توده زربین بیش‌ترین (۰/۳۹) و توده بلندمازو کم‌ترین (۰/۰۸) میانگین زی‌توده را داشتند.

جالب‌توجه است که بین توده‌های بلندمازو و بلندمازو – آزاد، از نظر میانگین زی‌توده کرم‌های خاکی در هر دو عمق، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. این یافته نشان می‌دهد که حضور گونه آزاد در کنار بلندمازو تأثیر قابل‌توجهی بر توزیع زی‌توده کرم‌های خاکی نداشته است.

**جدول ۳- مقایسه میانگین تراکم و زی‌توده کرم خاکی توده‌های جنگلی در دو عمق خاک.**

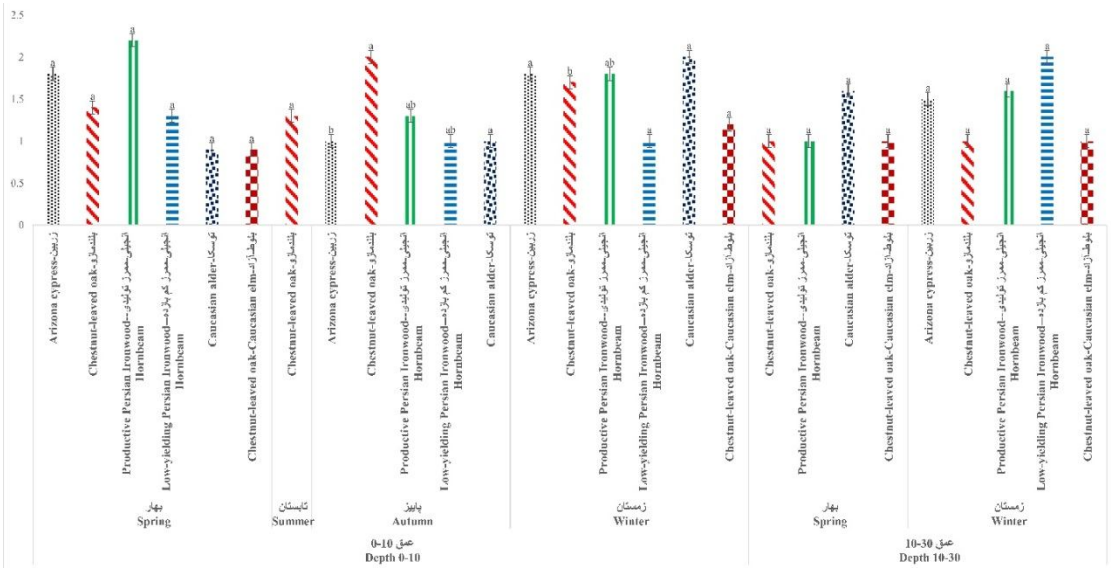
**Table 3. Comparative Analysis of Average Earthworm Density and Biomass in Forest Stands at Two Soil Depths.**

| توده | میانگین تراکم کرم خاکی | | | میانگین زی‌توده کرم خاکی | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر 0 to 10 cm deep | عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر 10 to 30 cm deep | Sig. | عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر 0 to 10 cm deep | عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر 10 to 30 cm deep | Sig. |
| انجیلی – ممرز تولیدی Productive Persian Ironwood-Hornbeam | 1.79±0.34$^{a}$ | 1.22±0.39$^{a}$ | 0.11 | 0.32±0.03$^{a}$ | 0.11±0.03$^{b}$ | 0.02 |
| کم‌بازده Low-yielding Persian Ironwood-Hornbeam | 1.00±0.01$^{a}$ | 1.5±0.5$^{a}$ | 0.22 | 0.26±0.12$^{a}$ | 0.11±0.09$^{b}$ | 0.01 |
| بلندمازو Chestnut-leaved oak | 1.70±.28$^{a}$ | 1.00±0.01$^{b}$ | 0.04 | 0.81±1.03$^{a}$ | 0.08±0.03$^{a}$ | 0.35 |
| بلندمازو – آزاد Chestnut-leaved oak-Caucasian elm | 1.06±0.1$^{a}$ | 1.00±0.01$^{a}$ | 0.66 | 0.17±0.11$^{a}$ | 0.16±0.10$^{a}$ | 0.92 |
| توسکا Caucasian alder | 1.33±0.58$^{a}$ | 1.22±0.39$^{a}$ | 0.66 | 0.24±0.12$^{a}$ | 0.09±0.07$^{b}$ | 0.03 |
| زربین Arizona cypress | 1.41±0.45$^{a}$ | 1.9±1.02$^{a}$ | 0.28 | 0.04±0.01$^{b}$ | 0.39±0.11$^{a}$ | 0.02 |

نتایج آزمون t جفتی (جدول ۳) نشان داد که به‌جز توده بلندمازو، تفاوت معنی‌داری در میانگین تراکم کرم‌های خاکی بین دو عمق نمونه‌برداری (صفر تا ۱۰ و ۳۰–۱۰ سانتی‌متر) در سایر توده‌های جنگلی مشاهده نشد.

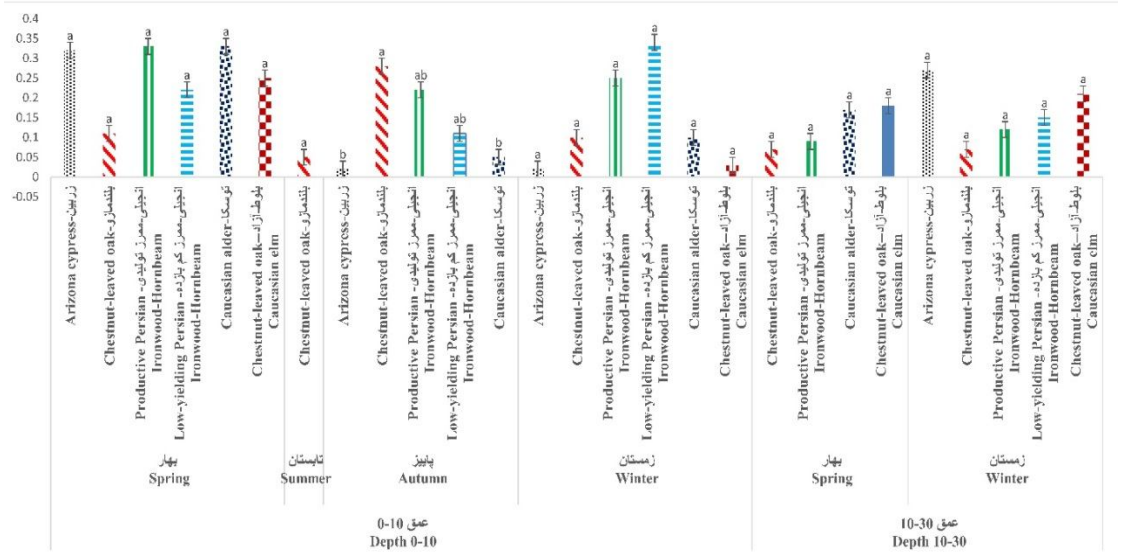
در توده بلندمازو، تراکم کرم‌های خاکی در لایه سطحی (صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از لایه زیرین (۳۰ – ۱۰ سانتی‌متر) بود (sig<۰/۰۵) کم‌ترین میانگین تراکم در لایه سطحی مربوط به توده بلندمازو – آزاد با ۱/۰۶ عدد در مترمربع و بیش‌ترین میانگین تراکم در لایه زیرین مربوط به توده زربین با ۱/۹ عدد در مترمربع بود

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تراکم و زی‌توده کرم‌های خاکی در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر نشان داد که در فصل بهار، تفاوت معنی‌داری بین توده‌های جنگلی مختلف مشاهده نشد (شکل‌های ۲ و ۳). بااین‌حال، در فصل تابستان کاهش چشمگیری در تراکم و زی‌توده کرم‌های خاکی در اکثر توده‌ها به‌جز توده بلندمازو رخ داد. در فصل پاییز، تراکم و زی‌توده کرم‌های خاکی مجدداً افزایش یافته و تفاوت معنی‌داری بین توده‌ها مشاهده شد. بیش‌ترین تراکم و زی‌توده در فصل پاییز مربوط به توده بلندمازو با میزان ۲ و ۰/۳۱ درصد بود. در عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، تغییرات فصلی معنی‌داری در تراکم و زی‌توده کرم‌های خاکی مشاهده نشد. هم‌چنین، در فصل‌های تابستان و پاییز در این عمق، هیچ کرم خاکی مشاهده نشد (شکل‌های ۲ و ۳). به‌طورکلی، نتایج نشان می‌دهد که توزیع عمقی و فصلی کرم‌های خاکی تحت‌تأثیر نوع توده جنگلی قرار دارد. توده بلندمازو از نظر تراکم و زی‌توده کرم‌های خاکی در مقایسه با سایر توده‌ها شرایط بهتری را فراهم می‌کند.




**شکل ۲- مقایسه میانگین تراکم کرم خاکی توده‌های جنگلی در فصل‌های مختلف سال.**

**Figure 2. Comparative Analysis of Average Earthworm Density in Forest Stands Across Different Seasons of the Year.**




**شکل ۳- مقایسه میانگین زی‌توده کرم خاکی توده‌های جنگلی در فصل‌های مختلف سال.**

**Figure 3. Comparative Analysis of Average Earthworm Biomass in Forest Stands Across Different Seasons of the Year.**

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین ویژگی‌های خاک و تراکم کرم‌های خاکی نشان داد که جرم مخصوص بالاتر خاک در توده زربین، به دلیل وجود ریشه‌های سطحی (۱۷)، با کاهش تراکم کرم‌های خاکی مرتبط است.

محتوای پایین نیتروژن در لاشبرگ بلندمازو (۱/۰۲ درصد) (۱۸) به‌عنوان عاملی محدودکننده برای تجزیه میکروبی و در نتیجه، چرخه مواد مغذی و فرآیندهای خاک‌زایی در اکوسیستم‌های حاوی این گونه عمل می‌کند. این امر منجر به‌کندی تجزیه لاشبرگ، افزایش اسیدیته خاک و تغییرات در ساختار جامعه میکروبی خاک می‌شود (۱۹)؛ بنابراین کاهش میزان اسیدیته خاک در توده بلندمازو در این مطالعه، احتمالاً ناشی از تجزیه آهسته لاشبرگ و تولید ترکیبات آلی اسیدی است. با توجه به این‌که مواد آلی از طریق کاهش تبخیر از سطح خاک و هم‌چنین قابلیت نگهداری منجر به حفظ رطوبت خاک می‌شود (۲۰)، بنابراین بالاتر بودن میزان رطوبت خاک در این توده را می‌توان به افزایش مواد آلی این توده نسبت داد.

در توده بلندمازو – آزاد نسبت کربن به نیتروژن بیش‌تر از سایر توده‌ها شده در نتیجه تجزیه لاشبرگ را کندتر می‌کند، این امر می‌تواند به کاهش تراکم و تنوع کرم خاکی منجر شود، زیرا کرم‌های خاکی به مواد آلی باکیفیت بالا و فعالیت میکروبی بالا وابسته هستند، Jamatia و Chaudhuri (۲۰۱۷) افزایش دما در توده کم‌بازده منجر به افزایش زی‌توده کرم خاکی می‌شود. در واقع با متعادل بودن رطوبت خاک افزایش دما موجب افزایش جمعیت کرم خاکی می‌شود (۲۱) (جدول ۳).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده ارتباط مثبت و معنی‌دار بین فراوانی کرم‌های خاکی و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند نیتروژن، مواد آلی و فسفر است. این یافته‌ها با نتایج پژوهش Naik و همکاران (۲۰۲٤) همسو بوده و بر اهمیت نقش مواد مغذی خاک در تعیین فراوانی کرم‌های خاکی تأکید می‌کند. همبستگی بسیار قوی بین نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن خاک با زی‌توده کرم خاکی، بیانگر آن است که مواد آلی با نسبت کربن

به نیتروژن پایین‌تر (یعنی غنی‌تر از نیتروژن) می‌توانند محیط مناسبی را برای رشد جمعیت کرم‌های خاکی فراهم کنند (۲۲). نتایج این پژوهش با نتایج Cortz (۱۹۹۸) که بیان کرد کرم‌های خاکی بیش‌تر لاشبرگ‌هایی را که دارای نسبت کربن به نیتروژن کمتر باشند را مصرف می‌کنند مطابقت دارد (۲۳).

اگرچه بین فسفر و مواد آلی و برخی دیگر از ویژگی‌های خاک مانند تعداد کربن با نیتروژن، دما با تنفس و هم‌چنین پتاسیم با مواد آلی و تعداد کربن، نیز همبستگی مثبت مشاهده شد، اما شدت این همبستگی کم‌تر از رابطه بین نیتروژن و زی‌توده کرم‌های خاکی بود. این نشان می‌دهد که نیتروژن نقش مهم‌تری در کنترل جمعیت کرم‌های خاکی در اکوسیستم‌های جنگل موردمطالعه دارد.

بر اساس یافته‌ها مشخص شد که میانگین تراکم و زی‌توده کرم خاکی در فصل بهار در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر از سایر فصل‌ها به‌ویژه فصل تابستان بیش‌تر بوده و اختلاف معنی‌داری در فصل بهار بین تیپ‌های جنگلی وجود ندارد (شکل‌های ۲ و ۳). در فصل تابستان به دلیل وجود شرایط نامساعد از جمله گرما و خشکی، فعالیت زیستی کرم‌های خاکی محدودتر می‌شود (۲٤). به‌طوری‌که میانگین تراکم و زی‌توده کرم خاکی به‌شدت کاهش یافته به‌نحوی‌که بعضی از توده‌ها حتی فاقد کرم خاکی بوده‌اند. حساسیت کرم‌های خاکی به شرایط محیطی، از جمله pH خاک، به‌خوبی شناخته شده است. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که کاهش pH خاک منجر به کاهش جمعیت و زیست‌توده کرم‌های خاکی می‌شود (۲۵ و ۲٦).

Deleporte (۲۰۰۱) نیز تأثیر منفی اسیدیته پایین خاک بر فراوانی کرم‌های خاکی را تأیید کرده است. یافته‌های پژوهش حاضر نیز با این نتایج همخوانی دارد. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که توده جنگلی بلندمازو با داشتن کم‌ترین مقدار اسیدیته و بیش‌ترین رطوبت، بالاترین میانگین تراکم و زیست‌توده کرم‌های خاکی را در مقایسه با سایر توده‌های جنگلی در فصل تابستان دارا بوده است (۲۷). مشاهده‌های صورت گرفته در این پژوهش بیانگر آن است که به دلیل تأثیرات منفی ناشی از گرما و خشکی هوا در فصل تابستان، کرم‌های خاکی به قسمت‌های عمیق‌تر خاک مهاجرت می‌کنند که منجر به کاهش میانگین تراکم و زی‌توده لایه سطحی (عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) در این فصل می‌شود (۲۸). آن دسته از کرم‌های خاکی حتی کرم‌های خاکی کوچک که نتوانند به قسمت‌های عمیق‌تر خاک بروند در اثر این عوامل در لایه سطحی نمی‌توانند مقاومت کنند و از بین می‌روند (۲٤). یافته‌های پژوهش حاضر مبنی بر تمرکز بیشینه تراکم و زیست‌توده کرم‌های خاکی در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر خاک، با نتایج مطالعات پیشین Jiménez و Decaëns (۲۰۰۰) همخوانی کامل دارد. این تطابق نشان‌دهنده الگوی توزیع مکانی عمومی کرم‌های خاکی در خاک تحت‌تأثیر عواملی همچون ساختار، رطوبت و بافت خاک قرار دارد (۲۸). نتایج ما تأیید می‌کنند که شرایط مطلوب لایه سطحی خاک از جمله وجود مواد آلی فراوان و رطوبت مناسب، زیستگاه ایده‌آلی را برای فعالیت کرم‌های خاکی فراهم می‌آورد همان‌طور که در توده بلوط شاهد بودیم. افزایش عمق خاک به دلیل کاهش دسترسی به مواد غذایی و شرایط نامساعدتر فیزیکی، منجر به کاهش چشمگیر تراکم و زیست‌توده این موجودات می‌شود. این یافته‌ها بر اهمیت لایه سطحی خاک در حفظ تنوع زیستی خاک و بهبود کیفیت آن تأکید دارند.

در فصل پاییز، به دلیل باقی‌ماندن تأثیرات منفی ناشی از شرایط نامساعد فصل تابستان میانگین تراکم و زی‌توده کرم خاکی در مقایسه با فصل بهار کاهش می‌یابد (۲٤). از طرفی در مقایسه با فصل تابستان به‌دلیل مساعد شدن شرایط از جمله خزان برگ‌ها و

بارش‌های فصلی و متعادل شدن دما و رطوبت، میانگین تراکم و زی‌توده کرم خاکی در لایه‌های سطحی افزایش یافته و تفاوت معنی‌دار را بین تیپ‌های مورد بررسی ایجاد کرده است. به‌طوری‌که میانگین تراکم و زی‌توده کرم خاکی در تیپ‌های کم‌بازده، زربین، توسکا ییلاقی و انجیلی – ممرز تولیدی در فصل پاییز در مقایسه با فصل تابستان در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر افزایش یافته است (شکل‌های ۲ و ۳). در واقع با افزایش عمق خاک از تراکم و زی‌توده کرم خاکی کاسته می‌شود. به‌طورکلی در فصل‌های خشک (تابستان و زمستان)، به دلیل تنش‌های ناشی از سرما و گرما، کرم‌های خاکی به لایه‌های عمقی خاک مهاجرت می‌کنند و از تراکم آن‌ها در لایه سطحی کاسته می‌شود، به‌طوری‌که در فصل‌های مرطوب (بهار و تابستان) کرم‌های خاکی در لایه سطحی بیش‌تر از لایه عمقی خاک حضور دارند (۲۹). هم‌چنین در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر به دلیل تجزیه لاشبرگ‌ها و پویایی عناصر غذایی مثل کربن و نیتروژن میانگین تراکم و زی‌توده کرم خاکی افزایش پیدا می‌کند (۳۰)؛ اما با افزایش عمق از میزان آن‌ها کاسته شده و میانگین آن‌ها کاهش می‌یابد. یافته‌های این بررسی بیانگر این موضوع هستند که بهترین زیستگاه کرم خاکی در لایه‌های سطحی و کم‌عمق خاک می‌باشد. از طرفی نتایج پژوهش Tang و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد وجود کرم خاکی در تراکم و عمق مناسب می‌تواند در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک جهت اصلاح خاک‌های آلوده مفید باشد و هم‌چنین می‌توانند باعث بهبود اسیدیته خاک و افزایش تنوع میکروارگانیسم‌های خاک و درنهایت کاهش آلودگی‌های خاک شود (۳۱). نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که کاهش تراکم کرم‌های خاکی در فصول گرم سال، به‌ویژه در عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر (جدول ۳)، با شرایط خشک و گرم محیطی مرتبط است. کاهش جمعیت کرم‌های خاکی در فصول گرم سال، می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی از جمله کاهش رطوبت خاک، افزایش دما و محدودیت در مهاجرت کرم‌ها به لایه‌های عمیق‌تر خاک باشد. این یافته‌ها با مطالعه Rahmani و Saleh-Rastin (۲۰۰۰) که تفاوت معنی‌داری بین تراکم و زی‌توده کرم خاکی در فصل بهار و پاییز مشاهده نکردند، مغایرت دارد. این تفاوت ممکن است به دلیل تفاوت در شرایط اقلیمی، نوع خاک، گونه‌های کرم خاکی و روش‌های نمونه‌برداری در این دو مطالعه باشد. با افزایش عمق خاک از صفر تا ۱۰ سانتی‌متر به ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، زی‌توده کرم خاکی در توده‌های جنگلی هم‌چون انجیلی – ممرز تولیدی، توسکا ییلاقی و کم‌بازده کاهش یافت. با توجه به این‌که برخی از ویژگی‌های خاک تأثیرگذار بر جمعیت کرم خاکی هم‌چون رطوبت و وضعیت عناصر غذایی وابسته به بافت خاک بوده و افزایش عمق سبب سنگین شدن بافت خاک می‌شود، شاید بتوان علت کاهش زی‌توده در این توده‌های جنگلی و کاهش تراکم کرم خاکی در توده جنگلی بلندمازو را به این امر نسبت داد (۱۳). براساس نتایج حاصله از این پژوهش، تراکم و زی‌توده کرم خاکی تحت‌تأثیر فصول مختلف سال و هم‌چنین عمق خاک قرار گرفته‌اند به‌طوری بیش‌ترین این مقادیر در فصل بهار و عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر مشاهده گردید. هم‌چنین شرایط رویشگاهی تیپ بلندمازو برای کرم خاکی نسبت به سایر تیپ‌های مورد مطالعه (به‌خصوص زربین) مساعدتر است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مدیریت جنگل‌ها با هدف افزایش تنوع گونه‌ای و ایجاد شرایط مناسب برای تجزیه مواد آلی، می‌تواند به بهبود کیفیت خاک و افزایش جمعیت کرم‌های خاکی کمک کند. این امر به نوبه خود منجر به افزایش حاصلخیزی خاک، بهبود ساختار خاک و درنهایت افزایش پایداری اکوسیستم‌های جنگلی خواهد شد.

## منابع


1. Kang, H., Gao, H., 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.
2. 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.
3. Castillo, P. R., Marian, L., Marian, F., Gunter, 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.
4. Menta, C., Conti, F. D., Pinto, S., & Bodini, A. (2018). Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 year of application at global scale. *Ecological Indicators*. 85 (5), 773-780.
5. Ganin, G. N., & Atopkin, D. M. (2018). Molecular differentiation of epigeic and anceic forms of Drawida ghilarovi Gates, 1969 (Moniligastridae, Clitellata) in the Russian Far East: Sequence data of two mitochondrial genes. *European Journal of Soil Biology*, 86, 1-7.
6. 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 physicocjemical properties in a greenhouse vegetable field. *Acta Ecological Sinica*. 37 (3), 1-11.
7. Kooch, Y., Samadzadeh, B., & Hosseini, S. M. (2017). The effects of broad-leaves tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. *Catena*. 150 (3), 223-229.
8. Edwards, C. A., & Bohlen, P. J. (1996). *Biology and ecology of earthworms*. Springer Science & Business Media. 3, 286p.
9. De Wandeler, H., Sousa-Silva, R., Ampoorter, E., Bruelheide, H., Carnol, M., Dawud, S. M., & Muys, B. (2016). Drivers of earthworm incidence and abundance across European forests. *Soil Biology and Biochemistry,* 99, 167-178.
10. Irannejad, E., & Rahmani, R. (2009). Evaluation of earthworm abundance and vertical distribution pattern in some forest types of Shast-Kolateh. J. of Forest and Wood Products (JFWP), *Iranian J. of Natural Resources*. 62 (2), 145-157. [In Persian]
11. Coleman, D. C., Crossley, D. A., & Hendrix, P. F. (2004). *Fundamentals of Soil Ecology*. Amsterdam. Elsevier Academic Press. 386p.
12. Xie, T., Wang, M., Chen, W., Li, X., & Lyu, Y. (2024). Earthworm diversity and its influencing factors at plot scale in urban areas. *Soil & Environmental Health*. 2 (1), 215-129.
13. Rahmani, R., & Saleh-Rastin, N. (2000). Abundance, vertical distribution and seasonal changes in earthworm populations of oakhornbeam, hornbeam and beech forests in Neka, Caspian Forests, Iran. *Iranian J. of Natural Resources*. 53 (1), 37-52. [In Persian]
14. Joos, O., Hagedorn, F., Heim, A., Gilgen, A. K., Schmidt, M. W. I., Siegwolf, R. T. W., & Buchmann, N. (2010). Summer drought reduces total and litter-derived soil $CO_2$ effluxes in temperate grassland - clues from a 13C litter addition experiment. *Biogeosciences*, 7, 1031-1041.
15. Jafari Haghighi, M. (2003). Methods of Soil Analysis: Sampling and Important Physical & Chemical Analysis. Nedaye Zoha Press, Sari, 236p. [In Persian]
16. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic analysis. *Global Biogeochemical Cycles*, 20 (3), 1-10.
17. Talebi, M., Sagheb-Talebi, Kh., & Jahanbazi, H. (2006). Site demands and some quantitative and qualitative characteristics of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Chaharmahal & Bakhtiari Province (western Iran).

*Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 14 (1), 67-69. [In Persian]
18. Kooch, Y., Tarighat, F. S., & Haghverdi, K. (2022). Effect of forest and non-forest land covers on soil organic matter, fulvic and humic acids. *Iranian Forest Ecology J.* 10 (19), 39-46. [In Persian]
19. Chauhan, R. P. (2014). Role of earthworms in soil fertility and factors affecting their population dynamics: a review. *International J. of Research*. 1 (6), 642-64.
20. Celik, I. (2005). Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*. 83, 270-277.
21. Jamatia, S. K. S., & Chaudhuri, P. S. (2017). Earthworm community structure under tea plantations (*Camellia sinensis*) of Tripura (India). *Tropical Ecology*. 58 (1), 105-113.
22. Naik, A., Mahata, A., & Palita, S. K. (2024). Studies on earthworm diversity with respect to soil properties in different land use systems in Koraput region of the Eastern Ghats, India. *Biodiversity and Conservation*. 33 (3), 256-263.
23. Cortez, J. (1998). Field decomposition of leaf litters. Relationships between earthworms decomposition rates and soil moisture. Soil temperature and earthworm activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 30 (6), 783-793.
24. Goswami, R., & Mondal, C.K. (2015). A study on earthworm population and diversity with special reference to physicochemical parameters in different habitats of south 24 parganas district in west Bengal. *Zoological Survey of India*. 115 (1), 31-38.
25. 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 loamy topsoil. *Forest Ecology and Management*. 133, 275-286.
26. Sayyad, E., Hosseini, S. M., Hosseini, V., & Salehe-Shooshtari, M. H. (2012). Soil macrofauna in relation to soil and leaf litter properties in tree plantations, *J. of Forest Science*. 58, 170-180.
27. Deleporte, S. (2001). Changes in the earthworm community of an acidophilus, lowland beech forest during a stand rotation. *Soil Biology*. 37, 1-7.
28. Jiménez, J., & Decaëns, T. (2000). Vertical distribution of earthworms in grassland soils of the Colombian Llanos. *Biology and Fertility of Soils*. 32 (6), 463-473.
29. Frouz, J., Livečková, M., Albrechtová, J., Chroňáková, A., Cajthaml, T., Pižl, V., & 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.
30. Leon, Y. S., Zou, X., Borges, S., & Ruan, H. (2003). Recovery of native earthworms in abandoned tropical pastures. *Conservation Biology*. 17 (4), 1-8.
31. Tang, B., Zi, Y., Liu, C., Yue, M., Zhang, Y., Zhang, W., Chen, J., & Duan, Ch. (2024). Effects of Nano-zero-valent Iron and Earthworms on Soil Physicochemical Properties and Microecology in Cadmium-Contaminated Soils. *Water Air Soil Pollutant.* 235, 81-88.