





**گروه مهندسی علوم خاک**

**پایاننامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی علوم خاک**

**تأثیر فعالیت گرمهای خاکی بر برخی شاخصهای بیولوژیکی کیفیت خاک**

**استاد راهنما:**

**دکتر میر حسن رسولی صدقیانی**

**پژوهش و نگارش:**

**سارا اجلالی**

**بهمن ماه ۱۳۹۲**

**حق چاپ برای دانشگاه ارومیه محفوظ است**

## این پایان نامه را در کمال افتخار و اکتان تقدیم می‌نمایم به:

پدر و مادر عزیزم

که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یآوری دلسوز و فداکار  
و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند.

همسر مهربانم

به پاس قدر دانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش  
و آسایش برای من فراهم آورده است.

## تقدیر و تشکر

در ابتدا خداوند را سپاس که نقش علم بر دقت راندیشام کشید و چشمه‌سار زلال دانش و معرفت را ارزانیام داشته و باران رحمت سیدریغش به کویر زندگیم طراوت و شادابی بخشیده است.

به مصداق (من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق) بسی شایسته است از استاد راهنمای فرهیخته و فرزانه‌ام جناب آقای دکتر میرحسن رسولی صدقیانی که تا کرامتی همچون خورشید، سرزمین دلم را روشنی بخشید و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی کارساز و سازنده بارور ساخت؛ تقدیر و تشکر مینمایم.

از اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر عباس صدیقی (داور داخلی) و جناب آقای دکتر حسین عسکریزاده (داور خارجی) به پاس قبول زحمت داور و مطالعه متن پایاننامه و ارائه پیشنهادات و راهنمایی‌های ارزشمندشان خاضعانه سپاسگزارم.

از جناب آقای دکتر محسن برین که در طی این مدت همواره برای من الگوی اخلاق و پشتکار بودند و صبورانه در تمام مراحل کار مرئیاری و راهنمایی فرمودند سپاسگزارم.

با سپاس بی دریغ خدمت خانم مهندس فرزانه هوشیار که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری دادند.

و با تشکر خالصانه خدمت همه دوستان از جمله: خانم مهندس المیرا شهنازی، زهرا نریمانی، زهرا اسکینود، صبری کریمی، فاطمه شیخو، ندامادی، راضیه ابراهیمی، و تمام دوستان دیگر که به نوعی مراد انجام رساندن این امر مهم یاری داده اند.

سارا اجلالی

## چکیده

کرم‌های خاکی مهمترین جز فون خاک می‌باشند و نقش مهمی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند. به منظور بررسی تأثیر کرم‌های خاکی بر خصوصیات شیمیایی، بیولوژیکی و شاخص‌های رشد گیاه آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار تحت شرایط کنترل شده گلخانه‌ای اجرا گردید. فاکتور اول شامل حضور یا عدم حضور کرم‌های خاکی (*Eisenia foetida*)، فاکتور دوم شامل مواد آلی مختلف (شاهد، کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور، کاه و کلش گندم، ضایعات عرقیات گیاهی و هرس درختان سیب و انگور) و فاکتور سوم شامل حضور یا عدم حضور گیاه ذرت بود. در پایان دوره رشد، برخی شاخصهای میکروبی خاک، خصوصیات شیمیایی و شاخص‌های رشد گیاه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که کاربرد مواد آلی و کرم‌خاکی هر یک به تنهایی باعث تغییرات معنی‌دار در خصوصیات شیمیایی و شاخص‌های بیولوژیکی گردید. تنفس برانگیخته (SIR) و تنفس پایه (BR) در تیمار کاه و کلش گندم (WS) بالاترین مقدار (به ترتیب  $162/80 \text{ mg CO}_2\text{-C kg}^{-1}\text{day}^{-1}$  و  $121/70 \text{ mg CO}_2\text{-C kg}^{-1}\text{day}^{-1}$ ) را نسبت به تیمار بدون مواد آلی (Cont) نشان دادند. همچنین مقدار کربن بیومس میکروبی (MBC)، آمونیوم و نترات در تیمار کمپوست ضایعات هرس (PWC) به ترتیب ۱/۷، ۱/۷ و ۳/۳ برابر تیمار بدون مواد آلی (Cont) بود. مصرف مواد آلی همراه با تلقیح کرم‌خاکی نتایج مطلوب‌تری به همراه داشت، بطوری که تلقیح کرم‌خاکی با مواد آلی شاخص‌های بیولوژیکی از جمله BR، SIR و MBN را به ترتیب ۸، ۱۲ و ۶۰ درصد و خصوصیات شیمیایی از جمله  $\text{NH}_4^+$  و  $\text{NO}_3^-$  را به ترتیب ۳۲ و ۴۹ درصد افزایش داد. همچنین نتایج تأثیر کرم‌های خاکی بر روی شاخص‌های رشد گیاه از جمله وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه نشان داد که حضور کرم‌های خاکی وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه را به ترتیب ۳۰ و ۳۴ درصد نسبت به شرایط بدون کرم‌های خاکی افزایش داد.

**کلمات کلیدی:** کرم‌خاکی، شاخص‌های بیولوژیکی، کیفیت خاک.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه و هدف
۲	۱-۱- مقدمه .....
	فصل دوم: کلیات و بررسی منابع
۶	۲-۱- تعریف کیفیت خاک .....
۶	۲-۱-۱- ویژگی شاخص‌های کیفیت خاک .....
۷	۲-۲- کرم‌خاکی .....
۷	۲-۲-۱- اکولوژی کرم‌های خاکی .....
۷	۲-۲-۱-۱- کرم‌خاکی اپیژئیک .....
۸	۲-۲-۱-۲- کرم‌خاکی اندوژئیک .....
۸	۲-۲-۱-۳- کرم‌خاکی آنسیک .....
۸	۲-۲-۲- تغذیه کرم‌خاکی .....
۹	۲-۲-۳- تاثیر مواد آلی بر فعالیت کرم‌های خاکی . .....
۱۱	۲-۲-۴- تأثیر فعالیت کرم‌های خاکی بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک .....
۱۱	۲-۴-۱- جمعیت میکروبی .....
۱۲	۲-۴-۲- تنفس میکروبی .....
۱۳	۲-۴-۳- کربن بیومس میکروبی خاک (MBC) .....

- ۱۴..... ۴-۴-۲-۲- تنفس ناشی از سوپسترا (SIR)
- ۱۴..... ۵-۴-۲-۲- ضریب متابولیکی ( $qCO_2$ )
- ۱۵..... ۶-۴-۲-۲- فعالیت آنزیمها
- ۱۶..... ۵-۲-۲- تأثیر فعالیت کرم‌های خاکی بر خصوصیات فیزیکی خاک
- ۱۷..... ۶-۲-۲- تأثیر فعالیت های کرم‌های خاکی بر خصوصیات شیمیایی خاک
- ۱۷..... ۱-۶-۲-۲- آمونیوم و نیترات
- ۱۸..... ۷-۲-۲- تأثیر فعالیت کرم‌های خاکی بر رشد گیاهان
- ۲۰..... ۸-۲-۲- برهم کنش متقابل کرم‌های خاکی با میکروارگانیسم ها
- ۲۰..... ۹-۲-۲- تأثیر فعالیت کرم‌های خاکی بر روی حاصلخیزی خاک
- ۲۱..... ۱۰-۲-۲- نقش کرم‌های خاکی و ورمی کمپوست حاصل از آن

### فصل سوم: مواد و روشها

- ۲۴..... ۱-۳- نمونه برداری خاک
- ۲۴..... ۲-۳- اعمال تیمارها، کشت گیاهان و نگهداری آنها در گلخانه
- ۲۵..... ۳-۳- برداشت گیاهان و آماده سازی نمونه های خاک و گیاه
- ۲۵..... ۴-۳- اندازه‌گیری برخی ویژگیهای فیزیکوشیمیایی خاک
- ۲۵..... ۱-۴-۳- بافت خاک
- ۲۶..... ۲-۴-۳- pH خاک

- ۳-۴-۳- هدایت الکتریکی ..... ۲۶
- ۳-۴-۴- کربن آلی (OC) ..... ۲۶
- ۳-۴-۵- کربنات کلسیم معادل (CCE) ..... ۲۷
- ۳-۴-۶- ازت کل (% N) ..... ۲۷
- ۳-۴-۷- نیتروژن معدنی خاک (نترات و آمونیوم) ..... ۲۸
- ۳-۵-۵- شاخصهای بیولوژیکی ..... ۲۹
- ۳-۵-۱- جمعیت میکروبی ..... ۲۹
- ۳-۵-۲- تنفس میکروبی پایه ..... ۲۹
- ۳-۹-۳- تنفس برانگیخته (SIR) ..... ۳۰
- ۳-۹-۴- کربن زیستتوده میکروبی (MBC) ..... ۳۰
- ۳-۹-۵- نیتروژن بیومس میکروبی (MBN) ..... ۳۱
- ۳-۱۰- تجزیه واریانس و مقایسات میانگین دادهها ..... ۳۱

### فصل چهارم: بحث و نتایج

- ۴-۱- ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک و مواد آلی مورد مطالعه ..... ۳۳
- ۴-۲- بررسی فعالیت کرمهای خاکی بر برخی شاخصهای بیولوژیکی و خصوصیات شیمیایی خاک ..... ۳۴
- ۴-۲-۱- بررسی فعالیت کرمهای خاکی بر شاخصهای بیولوژیکی خاک ..... ۳۴
- ۴-۲-۱-۱- تنفس پایه (BR) ..... ۳۴
- ۴-۲-۱-۲- تنفس برانگیخته (SIR) ..... ۳۸



- ۳۹..... ۳-۱-۲-۴ کربن بیومس میکروبی (MBC)
- ۴۰..... ۴-۱-۲-۴ نیتروژن بیومس میکروبی (MBN)
- ۴۱..... ۵-۱-۲-۴ جمعیت میکروبی
- ۴۳..... ۲-۲-۴ بررسی فعالیت کرم‌های خاکی بر خصوصیات شیمیایی خاک
- ۴۳..... ۱-۲-۲-۴ آمونیوم و نترات
- ۴۵..... ۲-۲-۲-۴ نیتروژن کل (N) و کربن آلی (OC)
- ۴۷..... ۳-۴ شاخصهای رشد گیاه
- ۴۹..... ۴-۴ نتیجه‌گیری کلی
- ۴۹..... ۵-۴ پیشنهادها

#### فصل پنجم:

- ۵۱ ..... منابع

#### فهرست جداول

- ۳۳..... ۱-۴ جدول خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش
- ۳۳..... ۲-۴ جدول خصوصیات شیمیایی بقایای آلی مورد استفاده
- جدول ۳-۴ تجزیه واریانس اثر کرم‌خاکی، ماده‌آلی و گیاه و اثرات متقابل آنها بر شاخصهای میکروبی خاک
- ۳۴..... (اعداد آماره F هستند)

جدول ۴-۴- اثرات متقابل کرم‌خاکی و مواد آلی بر شاخص‌های میکروبی خاک..... ۳۵

جدول ۴-۵- اثر متقابل مواد آلی و گیاه بر شاخصهای بیولوژیکی خاک..... ۳۶

جدول ۴-۶- اثرات متقابل کرم‌خاکی و گیاه بر شاخصهای میکروبی..... ۳۸

جدول ۴-۷- تجزیه واریانس اثر کرم‌خاکی، ماده آلی و گیاه و اثرات متقابل آنها بر خصوصیات شیمیایی خاک

(اعداد آماره F هستند)..... ۴۳

جدول ۴-۸- اثرات متقابل کرم‌خاکی و مواد آلی بر خصوصیات شیمیایی خاک..... ۴۴

جدول ۴-۹- اثرات متقابل گیاه و مواد آلی بر خصوصیات شیمیایی خاک..... ۴۶

جدول ۴-۱۰- اثرات متقابل گیاه و کرم‌خاکی بر خصوصیات شیمیایی خاک..... ۴۷

### فهرست شکلها

شکل (۴-۱) مقایسه میانگین تیمارهای مختلف موادآلی بر جمعیت میکروبی..... ۴۲

شکل (۴-۲) مقایسه میانگین حضور گیاه (ریزوسفر) و عدم حضور گیاه بر جمعیت میکروبی..... ۴۲

شکل (۴-۳) حضور و عدم حضور کرم‌خاکی در تیمارهای مختلف مواد آلی بر وزن خشک اندام‌های

هوایی (g/plot)..... ۴۸

شکل (۴-۴) حضور و عدم حضور کرم‌خاکی در تیمارهای مختلف مواد آلی بر وزن خشک ریشه

(g/plot)..... ۴۹

# فصل اول

## مقدمه

امروزه تلاش محققان بر این است که ارتباطی مثبت و تنگاتنگ بین موجودات اکوسیستم‌ها، و حاصلخیزی خاک و رشد گیاه برقرار کنند. بی‌مهرگان خاکزی از قبیل کرم‌خاکی نقش برجسته و مهم در فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در انواع اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی و در نتیجه رشد گیاه ایفا می‌کنند ( Boyer و Micellon، ۱۹۹۱). کرم‌های خاکی قادرند به طور مستقیم (از طریق شبکه غذایی) و یا به طور غیر مستقیم (از طریق ساختمان خاک) بر چرخه عناصر غذایی و دینامیک مواد آلی و در نتیجه حاصلخیزی خاک تأثیر بگذارند. کرم‌های خاکی مواد آلی را مصرف و تا حدودی هضم می‌کنند و به طور مستقیم فعالیت میکروبی را تحریک می‌کنند و همچنین از طریق ایجاد ساختمان اسفنجی، شرایط بهتری را برای تجزیه هوازی ایجاد می‌کنند. جابه‌جایی قسمتی از مواد آلی داخل خاکدانه‌های پایدار می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای دینامیک مواد آلی را تحت تأثیر قرار دهد (Ladd و همکاران، ۱۹۹۳).

حضور کرم‌های خاکی شدیداً حاصلخیزی خاک، زندگی و فعالیت ریزجانداران فعال و همچنین فعالیت آنزیم‌های خاک را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد (Edward، ۲۰۰۴؛ Hayne و همکاران، ۱۹۹۸). بنابراین با شناخت عوامل موثر بر رشد و پویایی جمعیت کرم‌های خاکی و بهره‌گیری صحیح از ظرفیت آنها در بهبود شرایط محیط رشد گیاه می‌توان در جهت افزایش حاصلخیزی خاک و همچنین کیفیت و سلامت خاک گام‌های موثری برداشت.

یکی از مهمترین محدودیت خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک پایین بودن میزان مواد آلی است (Raiesi، ۲۰۰۶). فعالیت میکروبی و فرآیندهای بیوشیمیایی خاک در مناطق خشک و نیمه خشک اغلب به دلیل پایین بودن سطح ماده آلی با محدودیت کربن روبروست، زیرا مواد آلی خاک منبع غذا و انرژی برای ریزجانداران و همچنین کرم‌های خاکی می‌باشند (Palm و همکاران، ۲۰۰۱). از طرف دیگر کمبود مواد آلی یک فاکتور محدودکننده مهم در تکثیر و فعالیت کرم‌های خاکی به ویژه در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید (Achuthan و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین می‌توان با مدیریت صحیح بقایای گیاهی باعث افزایش کربن آلی خاک، افزایش پایداری خاکدانه‌ها، افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی و تشدید فعالیت‌های زیستی خاک شود (Palm، ۲۰۰۱؛ Martens، ۲۰۰۰). همچنین با مصرف مواد آلی در این خاکها باعث حفظ و ازدیاد کرم‌های خاکی می‌شود.

از طرف دیگر Suthar (۲۰۰۸) نیز همبستگی بسیار نزدیک بین فراوانی کرم‌خاکی و مقدار کربن آلی خاک در سیستم‌های مدیریت کشاورزی جامع و آلی مشاهده نمود که نشان می‌دهد منبع کربن آلی خاک نقش مهمی در فراوانی و فعالیت کرم‌خاکی دارد. کرم‌های خاکی نقش مهمی در تغییر کیفیت خاک دارند (صالح راستین، ۱۳۷۷). ارزیابی تغییرات کیفیت خاک، معیار معمول برای ارزیابی پایداری طولانی‌مدت اکوسیستم‌ها بشمار می‌آید (Parisi و همکاران، ۲۰۰۵؛ Pimentel و همکاران، ۱۹۹۷). کیفیت خاک یکی از مهمترین عوامل مورد بررسی در ارزیابی مدیریت خاک و پایداری قلمرو زیستی به حساب می‌آید (Doran و همکاران، ۱۹۹۴).


کیفیت خاک را می‌توان توانایی دائم خاک در انجام وظایف خود به عنوان یک سیستم حیاتی زنده در داخل اکوسیستم و تحت بهره برداری‌های متفاوت به ترتیبی که علاوه بر حفظ تولید بیولوژیک، بتواند کیفیت آب و هوا را نیز بهبود بخشیده و همچنین تامین کننده سلامت انسان، گیاه و حیوان باشد. ارزیابی کیفیت خاک با در نظر گرفتن و اندازه گیری برخی از خصوصیات خاک به عنوان شاخص های کیفیت خاک صورت می‌پذیرد (Doran و همکاران، ۱۹۹۸). شاخص های کیفیت خاک خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و ویژگی های بیولوژیکی را شامل می‌شود. خصوصیات بیولوژیکی، شاخص های بسیار حساس کیفیت خاک هستند که پاسخ قطعی به تغییرات مدیریت اراضی در کوتاه مدت ارائه می‌دهند (Khormali و همکاران، ۲۰۰۹؛ Raiesi، ۲۰۰۷).

از جمله شاخصهای بیولوژیکی کیفیت خاک که مورد ارزیابی قرار می‌گیرند می‌توان به تنفس خاک (معدنی شدن کربن)، میزان کربن و نیتروژن توده زنده ی میکروبی، فعالیت آنزیم های خاک، شاخص قابلیت دسترسی به کربن و تعداد کرم‌های خاکی اشاره کرد (Dick، ۱۹۹۴؛ Doran و همکاران، ۱۹۹۴؛ Khormali و همکاران، ۲۰۰۹). کرم‌های خاکی در حین فعالیت در خاک، بسیاری از ریزجانداران خاک را می‌بلعند و این خود باعث تحریک فعالیت میکروبی خاک و افزایش تنفس در حضور کرم‌های خاکی شود.

با بررسی اجمالی وضعیت کرم‌های خاکی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران می‌توان دریافت که این موجودات در اغلب خاک‌های این مناطق نیز یافت می‌شوند ولی به دلایلی همچون عدم رطوبت مناسب خاک در خاک، خشک بودن دائم لایه ی سطحی خاک و از همه مهمتر کمبود مواد آلی و بهم خوردگی بی‌رویه خاک به اعماق پایین تر مهاجرت می‌کنند.

بنابراین کرم‌های خاکی می‌توانند یکی از نیروهای محرکه برای ادامه ی فعالیت میکروبی خاک و در نتیجه افزایش کیفیت بیولوژیکی و بالطبع فیزیکی شیمیایی خاک باشند (Caravaca و همکاران، ۲۰۰۳). اهداف کلی این پژوهش عبارتند از: (۱) بررسی تأثیر مواد آلی مختلف بر خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک (۲) بررسی کاربرد

همزمان موادآلی و کرم‌های خاکی نوع اپیژئیک بر خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک ریزوسفری و غیر ریزوسفری (۳) بررسی تأثیر حضور کرم‌های خاکی بر رشد گیاه ذرت



**فصل دوم**  
**کلیات و بررسی**  
**منابع**

## ۲-۱- تعریف کیفیت خاک

از زمان ظهور کشاورزی، علاقه به خاک و کیفیت زمین به صورت ذاتی وجود داشته است، این علاقه به مفهوم کیفیت خاک و تعیین پاسخ خاک به چگونگی شیوه های مدیریت های مختلف در طول دهه ۱۹۹۰ به سرعت افزایش یافته است (Larson و Pierce، ۱۹۹۱). در پاسخ به افزایش علاقه به این مفهوم، مقالات علمی متعدد و کتابهای زیادی منتشر شده است (به عنوان مثال Doran و Jones، ۱۹۹۶؛ Karlen و همکاران، ۱۹۹۷؛ Karlen و همکاران، ۲۰۰۳). اجماع کلی مفهوم کیفیت خاک تنها به بهره وری خاک محدود نیست، بلکه باید شامل کیفیت محیط زیست نیز باشد (Karlen و همکاران، ۲۰۰۳). حفظ و یا بهبود کیفیت خاک می تواند مزایای اقتصادی در قالب افزایش بهره‌وری، استفاده کارآمدتر از مواد مغذی و آفت کشها، در کیفیت آب و هوا و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه دهد (USDA، ۱۹۹۸).

کیفیت خاک در اوایل دهه ۱۹۹۰ بصورت، ظرفیت خاک برای ایفای نقش تعریف شده است . Larson و Pierce در سال ۱۹۹۱ کیفیت خاک را به صورت خواص فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی تعریف کرده‌اند که (۱) بستری مناسب برای رشد گیاه ارائه می‌دهد، (۲) جریان آب در محیط زیست را تنظیم می‌نماید، (۳) به عنوان بافر زیست محیطی در تجزیه و تخریب ترکیبات خطرناک محیط زیست عمل می‌کنند.

## ۲-۱-۱- ویژگی شاخص‌های کیفیت خاک

برای ارزیابی کیفیت خاک از خصوصیات تحت عنوان شاخص بهره‌گیری می‌شود. آن دسته از ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری خاک که ظرفیت خاک را برای توانمندی تولید محصول تحت تأثیر قرار می‌دهند شاخص‌های کیفیت خاک نامیده می‌شوند (Arshad و Martin، ۲۰۰۲). هر شاخص کیفیت خاک باید دارای خصوصیات باشد، یعنی الف) مشتمل بر فرآیندهای زیست محیطی، ب) دربرگیرنده خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، ج) حساس به تغییرات محیطی و مدیریتی باشد د) و قابل اندازه‌گیری، دسترسی و پردازش‌های کمی باشد (Doran و همکاران، ۱۹۹۶).



## ۲-۲- کرم‌خاکی

خاک محیط زندگی انواع مختلفی از جانوران است و کرم‌های خاکی بیش از نیمی از وزن جانوران خاک را تشکیل می‌دهند. از لحاظ طبقه‌بندی، کرم‌های خاکی متعلق به شاخه Annelida، راسته Haplotaxina، رده Clitellata و زیر رده Oligochaeta هستند (Fayolle و همکاران، ۱۹۹۷). در این شاخه حدود ۱۸۰۰ گونه کرم خاکی متعلق به پنج خانواده وجود دارد. کرم‌های خاکی که در مناطق آمریکای شمالی، اروپا و آسیای غربی یافت می‌شوند، اغلب متعلق به خانواده Lumbricidae هستند. در این خانواده حدود ۲۲۰ گونه کرم‌خاکی وجود دارد. مهمترین کرم‌های خاکی در خانواده Lumbricida متعلق به جنس *Lumbricus* است. جنس دیگر در این خانواده *Eisenia* است که گونه‌های مهم این جنس، کرم‌های ببری (*E. foetida*) و کرم‌های ببری قرمز (*E. anderi*) هستند (Buckerfield، ۱۹۹۴).

کرم‌های خاکی همراه با ریزموجودات دیگر خاک وظایف کلی همچون تجزیه بقایای آلی را برعهده داشته و در نتیجه در سیستم طبیعت نقش تأمین‌کنندگان مواد غذایی را برعهده دارند.

## ۲-۲-۱- اکولوژی کرم‌های خاکی

در کل کرم‌های خاکی از نظر اکولوژیک به سه دسته Epigeic، Endogeic و Anecic تقسیم بندی می‌شوند (Edwards و همکاران، ۱۹۹۶).

## ۲-۲-۱-۱- کرم خاکی اپیژئیک (Epigeic)

کرم‌هایی که در سطح خاک در عمق ۳ الی ۱۰ سانتی‌متری خاک زندگی می‌کنند و از مواد آلی همچون برگ درختان پوسیده یا فضولات تغذیه می‌کنند کرم‌های سطحی‌زی یا اپیژئیک نامیده می‌شوند. این نوع کرمها بسیار فعال بوده و ظرفیت تولید مثل بسیار زیادی در مدت زمان بسیار کوتاهی دارند. اپیژئیک‌ها در تجزیه و خرد کردن بقایای گیاهی تأثیر دارند (Edwards، ۲۰۰۴). کرم‌های کودی یا اپیژئیک معمولاً بر روی سطح مشاهده می‌گردند و به رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز دیده می‌شوند، در تبدیل مواد آلی به کمپوست نقش به‌سزایی دارند. این موجودات با تجزیه، معدنی کردن ترکیبات آلی قابلیت جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهند. از این گروه به کرم کمپوست *Eisenia foetida* اشاره کرد.

## ۲-۱-۲-۲- کرم خاکی اندوژئیک (Endogeic)

این نوع کرمها دارای اندازه کوچک تا متوسط و به رنگ روشن بوده، حرکت اینها کند است در قسمت‌های عمیق خاک و در عمق بیش از ۱۰ الی ۳۰ سانتی متری خاک یافت می‌شوند. و از مواد آلی پروفیل خاک مانند ریشه‌های مرده گیاهان تغذیه می‌نمایند. همچنین از مواد هومیک مخلوط شده با خاک نیز استفاده می‌نمایند. این گروه از کرمها در خاک دالانهای افقی حفر می‌کنند و بدون رنگدانه هستند. *Apporectoeda caliginosa* از این نوع کرم می‌باشد.

## ۲-۱-۲-۳- کرم خاکی آنسیک (Anecic)

این نوع کرمهای خاکی به انواع حفر معروفند. در اندازه‌های درشت و دارای رنگدانه قرمز بوده، سرعت رشد پایین دارند و در خاک دالانهای عمودی حفر می‌کنند و با این عمل خود در بالا آوردن خاک عمقی و پایین بردن بقایای گیاهی از جمله لاشبرگها موثرند. کرم های آنسیک قادر به پیشروی در عمق ۶۰ الی ۹۰ سانتی متری از خاک بوده و طی حرکت و جا به جا شدن حفرات تو در تو تشکیل می‌دهند. از این گروه می‌توان به *Lumbricus terrestris* اشاره کرد.

## ۲-۲-۲- تغذیه کرمهای خاکی

کرم‌های خاکی را عموماً تحت عنوان ساپروفاژها (خرده ریزخوارها) می‌نامند، این جانداران می‌توانند براساس عادات غذایی‌شان به دو دسته خرده ریز خوار و خاک خوارها تقسیم بندی کردند (Lee و همکاران، ۱۹۸۵). خرده‌ریزخوارها بر روی یا مجاورت سطح خاک تغذیه می‌نمایند و غذای آنها عمدتاً از بقایای برگهای گیاهان یا ریشه‌های مرده و دیگر بقایای آلی که در افقهای سطح خاک بوده و از نظر مواد آلی غنی می‌باشند و یا روی سطح فضولات پستانداران یافت می‌شوند می‌باشد. این کرمها به عنوان سازندگان هوموس طبقه بندی می‌شوند و اشکال آنسیک و اپی ژئیک را دربردارند. *Eisenia foetida* و *Perionyx excavates* نمونه‌هایی از انواع کرمهای خرده‌ریزخوار می‌باشند.

کرم‌های خاک‌خوار در لایه‌های زیرین و عمیق‌تر خاک رفته و مقادیر بسیاری زیادی از خاک غنی از مواد آلی را می‌بلعند. این نوع کرم‌های خاکی را عموماً تحت عنوان تغذیه‌کنندگان هوموس نام می‌نهند و کرم های اندوژئیک جز این دسته می‌باشند. *Octochaetona thurstoni* جز این کرم‌های خاکی می‌باشد.

بطور کلی منبع اصلی غذای این جانداران خاکزی بقایای آلی بدست آمده از گیاهان می‌باشد. با وجود اینکه بقایای گیاهان مرده حجم وسیعی از غذای بلعیده شده توسط کرم‌های خاکی را تشکیل می‌دهد ولی میکروارگانسیم‌های زنده، قارچها، ریزموجودات جانوری و گیاهی و بقایای مرده آنها نیز قسمت عمده‌ای از رژیم غذایی این جانداران را تشکیل می‌دهند (Pierce، ۱۹۹۰؛ Parle، ۱۹۶۳). با بررسی نتایج تحقیقات متعدد علمی اظهار کردند که کرم‌های خاکی بقایای گیاهی را انتخاب می‌کنند که حاوی نیتروژن بالایی هستند (Edward و همکاران، ۱۹۹۶). برخی کرم‌های خاکی میکروارگانسیم‌های موجود در بستر خود را به عنوان یک منبع غذایی مورد استفاده قرار داده و به طور انتخابی قادر به هضم برخی میکروارگانسیم‌ها می‌باشند (Day و همکاران، ۱۹۸۰؛ Cook و همکاران، ۱۹۸۰).

## ۲-۲-۳- تأثیر مواد آلی بر فعالیت کرم‌های خاکی

کشاورزی پایدار همواره به کیفیت و مقدار مواد آلی خاک توجه داشته است و بقایای آلی یکی از منابع مهم مواد آلی خاک به شمار می‌روند (مسکرباشی و همکاران، ۱۳۸۳). مواد آلی فاکتور کلیدی در چرخه نیتروژن دارد (Tisdall و همکاران، ۱۹۸۶).

مواد آلی خاک کارکردهای متنوعی از جمله بهبود ظرفیت نگهداری مواد غذایی، ثبات خاکدانه‌ها، ذخیره کربن و ترسیب آن را دارند و تأمین کننده انرژی فعالیت‌های هتروتروفی در خاک هستند (Velasques و همکاران، ۲۰۰۷).

پایین بودن ماده آلی خاک باعث بروز مشکلات فیزیکی، شیمیایی، تغذیه‌ای و به ویژه بیولوژیک در خاک شده که به تدریج کاهش حاصلخیزی و کیفیت آنها را به دنبال دارد، بنابراین یکی از راه‌های صحیح و عملی برای بهبود ماده آلی خاک، مدیریت استفاده صحیح از بقایای گیاهی محصولات کشاورزی است، به گونه‌ای که مدیریت درست این پسماندها باعث افزایش کربن آلی خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی خاک را به دنبال دارد (Bastida و همکاران، ۲۰۰۶؛ Li و همکاران، ۱۹۹۵؛ Raiesi، ۲۰۰۶؛ Ros و همکاران، ۲۰۰۳).

مطالعات نشان داده که با اضافه شدن بقایای گیاهی به خاک میزان تصاعد دی‌اکسیدکربن که در واقع نمایانگر فعالیت تنفسی ریزجانداران خاک و در نتیجه تجزیه مواد آلی اضافه شده به خاک می‌باشد، به طور معنی‌دار افزایش پیدا می‌کند (Hadas و همکاران، ۲۰۰۴؛ Martens، ۲۰۰۰؛ Trinsoutrot و همکاران، ۲۰۰۰). کاربرد پسماندهای گیاهی در خاک نه تنها ویژگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد،

بلکه روی سرعت تبدیل عناصر غذایی به شکل قابل استفاده برای گیاهان نیز تأثیر می‌گذارد (Michael و همکاران، ۲۰۰۰). از طرف دیگر کمبود مواد آلی یک فاکتور محدودکننده مهم در تکثیر و فعالیت کرم‌های خاکی به ویژه در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید (Achuthan و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین مصرف مواد آلی در این خاکها باعث حفظ و ازدیاد کرم‌های خاکی می‌شود. اولین بار در سال ۱۸۸۱، نقش کرم‌های خاکی در تجزیه بقایای آلی خاک‌های سطحی و فرآیند برگردان مواد آلی خاک توسط Darwin پیگیری شد. مواد آلی پایه غذایی برای جامعه کرم‌های خاکی فراهم می‌کند که در تعیین توزیع و فراوانی آنها به طور حیاتی بسیار مهم است و گاهی اوقات مقدار مواد آلی می‌تواند پیش‌بینی‌کننده خوبی برای فراوانی کرم‌های خاکی باشد (Stefaan و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج اثر مواد آلی بر تعداد کرم‌های خاکی نشان داد افزودن مواد آلی به خاک بر افزایش تعداد کرم‌های خاکی موثر می‌باشد (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸). بسیاری از پژوهشگران اظهار می‌کنند که معمولاً جمعیت کرم‌های خاکی تا زمانی افزایش می‌یابد که غذا یک فاکتور محدودکننده نباشد (Edwards، ۲۰۰۴). کرم‌های خاکی بخشی از چرخه تجزیه مواد آلی در زنجیره غذایی بوده که مقدار زیادی از باقیمانده‌های گیاهی را مصرف می‌کنند، در نتیجه بر ساختمان و پویایی مواد آلی خاک، که از شاخصه‌های مهم کیفیت خاک هستند، اثر می‌گذارند (Garg و همکاران، ۲۰۰۵). کرم‌های خاکی ۸۵ تا ۹۵ درصد مواد آلی بلعیده شده را مجدداً به صورت مدفوعات به خاک برمی‌گردانند. آزمایشات نیز نشان داده است تجزیه مواد آلی با حضور کرم‌های خاکی  $1/5$  تا  $1/6$  سریعتر از حالتی است که این جانداران در خاک وجود نداشته باشند. تعداد و انواع کرم‌های خاکی به مواد آلی بستگی دارد و در خاکهای اسیدی و هوموس خام مستقر نمی‌شوند بلکه در خاکهای خنثی ( $7-7/5$ )، مواد آلی با  $C/N$  پایین، لاشبرگهای با تانن و اسانس کم و جنگلهای پهن برگ به وفور و بیشتر از کلیه مهره‌داران یافت می‌شوند (حق پرست، ۱۳۷۲). Babel و همکاران (۱۹۹۲) در تحقیقات خود نشان دادند که کرم‌خاکی به شدت به خوش‌خوراک بودن مواد غذایی حساس می‌باشد بیشترین فراوانی و بیومس کرم‌خاکی را در جنگلهای پهن‌برگ آمیخته صنوبر و توسکا ( $C/N$  پایین) و کمترین فراوانی را در جنگلهای بلوط به همراه بید ( $C/N$  بالا) بیان نمودند. Cortez (۱۹۹۸) در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که کرم‌خاکی، لاشبرگی را که دارای نسبت کربن به نیتروژن کمتر می‌باشد، را مورد مصرف قرار می‌دهند. در یک آزمایش گلخانه‌ای مشاهده گردید که کرم‌های خاکی در حضور مواد آلی فعالیت بیوشیمیایی و آنزیمی خاک را تحریک می‌کنند (Nannipieri و همکاران، ۱۹۹۰). طی آزمایش‌هایی نشان داده شده که تجزیه مواد آلی با حضور کرم‌های خاکی ۶ تا ۲۰ درصد سریعتر از زمانی بوده است که این جانداران در خاک نباشند (حق پرست تنها، ۱۳۷۱؛ اعزازی، ۱۳۶۰).