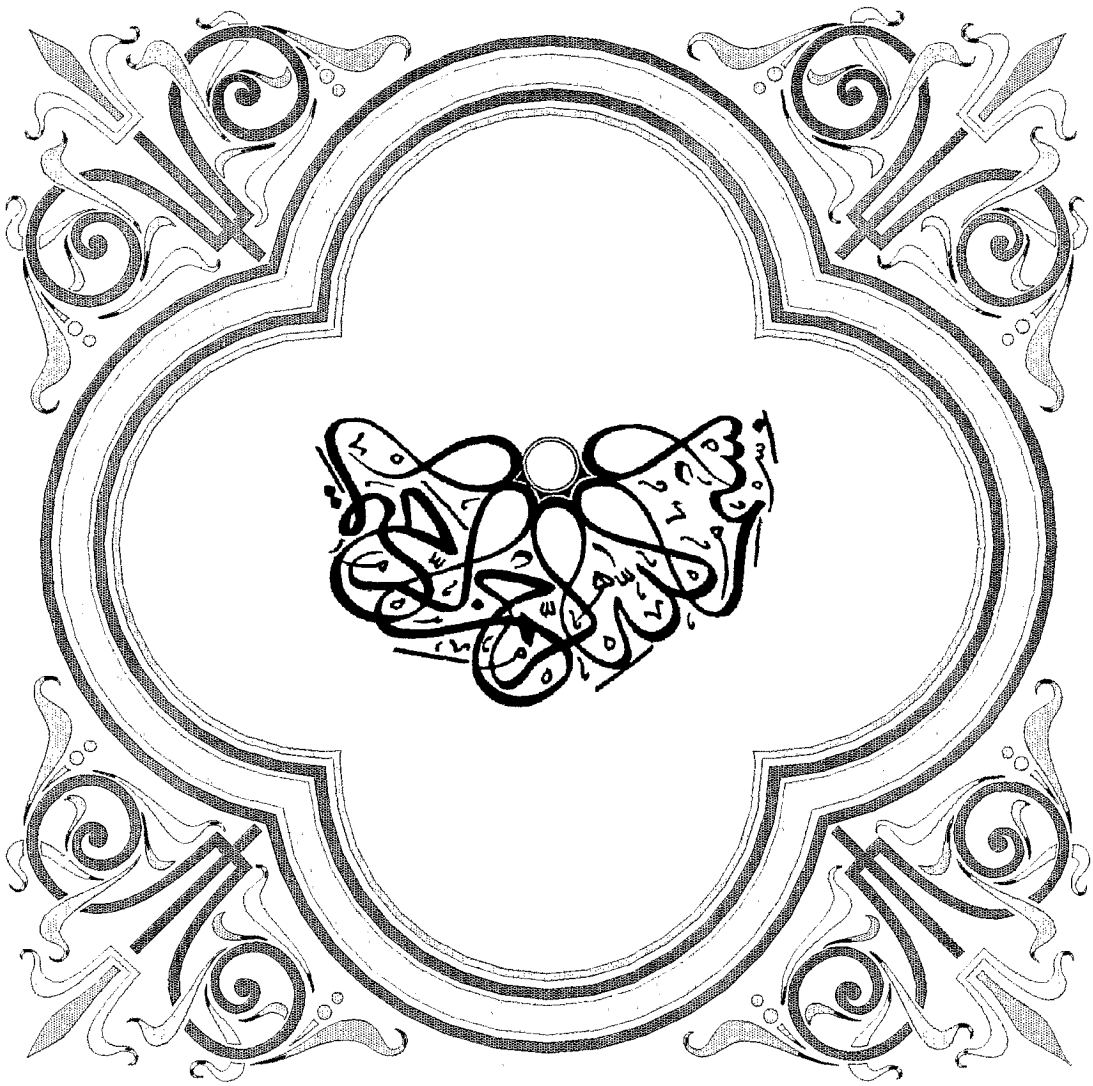


١١٥١٤

دانشگاه شهرکرد
دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی علوم خاک

# تأثیر یک نوع کرم خاکی آنسیک (*Lumbricus terrestris L.*) بر فعالیت میکروبی و آنزیم‌های خاک، و پایداری خاکدانه‌ها

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی علوم خاک

**فخرالسادات موسوی**

استاد راهنما:
**دکتر فایز رئیسی**

استاد مشاور:
**مهندس مجتبی یحیی آبادی**

۱۳۸۷

۱۳۸۸/۱۲/۳۱
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
قسمت مدارک
۱۱۳۵۱۴

دانشگاه شهرکرد

**دانشکده کشاورزی**

**گروه مهندسی علوم خاک**

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی علوم خاک خانم فخرالسادات موسوی

تحت عنوان

# تأثیر یک نوع کرم خاکی آنسیک (*Lumbricus terrestris L.*) بر فعالیت میکروبی و آنزیم‌های خاک، و پایداری خاکدانه‌ها

در تاریخ ۱۳۸۷/۱۲/۱۸ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

| | |
|---|---|
| ۱- استاد راهنمای پایان‌نامه | دکتر فایز رئیسی |
| ۲- استاد مشاور پایان‌نامه | مهندس مجتبی یحیی آبادی |
| ۳- استاد داور پایان‌نامه | دکتر شجاع قربانی |
| ۴- استاد داور پایان‌نامه | دکتر مهران عربی |
| رئیس تحصیلات تکمیلی دانشکده | دکتر مجید اولیاء |

بنی آدم سرشت از خاک دارند　　اگر خاکی نباشد، آدمی نیست

خداوند متعال را سپاس می گویم که توان و فرصت یادگیری به من عطا بخشید و همواره در تمام لحظات تحصیل و آموختن علم مرا به حال خود رها ننمود.

اکنون که تدوین این پایان نامه به پایان رسید، بر خود واجب می دانم که در برابر پدر و مادر مهربانم که سال هاست لطف و مهرشان مرا گرم و زنده نگهداشته، سر تعظیم و سپاس فرود آورده و بر دستان پر مهرشان بوسه زده و قدردانی نمایم.

تشکر ویژه من از استاد فرزانه جناب آقای دکتر فایز رئیسی می باشد که همچون پدری دلسوز، صبور و متعهد، مرا نه تنها در تدوین این پایان نامه، بلکه در جهت چگونگی تغییر نیکو در تفکر، نگرش و عملکرد هدایت و راهنمایی نمودند. از محبت، همت و حمایت بیکران این بزرگوار کمال تشکر و امتنان را دارم.

از مشاور محترم جناب آقای مهندس یحیی آبادی به خاطر زحمات بی دریغ و راهنمایی های ارزنده صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از همراهان و غمخواران زندگی ام، خواهر و برادر گلم، پریسا و علیرضا، به خاطر تمامی صبوری هایشان کمال تشکر را دارم.

از دوستان عزیزم سرکار خانم مهندس محسنی و سرکار خانم مهندس مرادمند (مهرسا و مریم عزیزم) که لطف، مهربانی و همدلی آنها مرا در رسیدن به اهدافم مصمم و مشتاق تر از گذشته می ساخت، تشکر می نمایم.

از کلیه اساتید گروه خاکشناسی که در طول دوران تحصیل در این دانشگاه از محضرشان کسب فیض نمودم، کمال تشکر و قدردانی دارم.

از جناب آقای دکتر احمدی که در طی تدوین پایان نامه بیشتر از آنچه در توان داشتند، مرا حامی بودند، بینهایت سپاسگذارم.

در مجموع از کلیه بزرگوارانی که مرا در این مسیر پر پیچ و خم راهنمایی و همراهی نمودند، متشکرم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

# تقدیم به

سلاطین مملکت انسانی، بانو فاطمه زهرا (س) و مولا علی (ع)

و اسطوره های حیات، پدر و مادر عزیزم

و تمامی برزگوارانی که قلبشان برای آموختن می تپد

مهندس ملیکا موسوی

اسفند ۱۳۸۷

# فهرست مطالب

عنوان صفحه


فهرست مطالب ---------- هشت
فهرست شکل‌ها ---------- دوازده
فهرست جدول‌ها ---------- سیزده
چکیده ---------- چهارده


## فصل اول: مقدمه و بررسی منابع


۱-۱- مقدمه ---------- ۱
۱-۲- موجودات زنده خاک ---------- ۳
کرم‌های خاکی ---------- ۴
الف- مورفولوژی کرم‌های خاکی ---------- ۶
ب- تولید مثل کرم‌های خاکی ---------- ۷
ج- تغذیه کرم‌های خاکی ---------- ۷
د- اکولوژی کرم‌های خاکی ---------- ۸
هـ- جمعیت کرم‌های خاکی ---------- ۸
و- نقش کرم‌های خاکی در اکوسیستم خاک ---------- ۹
۱-۳- نقش کرم‌های خاکی بر فعالیت و بیوماس میکروبی خاک ---------- ۱۲
۱-۳-۱- معدنی شدن کربن (تنفس خاک) ---------- ۱۵
۱-۳-۲- معدنی شدن مواد آلی نیتروژن دار ---------- ۲۰
۱-۳-۳- فعالیت های آنزیمی ---------- ۲۴
الف- اوره آز ---------- ۲۶
ب- بتاگلوکوسیداز ---------- ۲۶
ج- فسفاتاز قلیایی ---------- ۲۷
د- آریل سولفاتاز ---------- ۲۸
هـ- ساکاراز (اینورتاز) ---------- ۲۹
۱-۳-۴- بیوماس میکروبی ---------- ۲۹
۱-۴- تشکیل خاکدانه و ساختمان خاک ---------- ۳۱
۱-۴-۱- پایداری خاکدانه‌های میکرو و ماکرو ---------- ۳۲
۱-۴-۲- پایداری فضولات کرم‌های خاکی ---------- ۳۳
۱-۴-۳- پایداری فضولات تر کرم‌های خاکی ---------- ۳۴
۱-۴-۴- نقش مواد آلی در پایداری فضولات کرم‌های خاکی و خاکدانه ها ---------- ۳۴
۱-۵- اثر نوع و کیفیت مواد آلی بر فعالیت کرم‌های خاکی ---------- ۳۷

۱-۶- اهداف تحقیق ---------- ۳۸
۱-۷- فرضیات تحقیق ---------- ۳۸

## فصل دوم: مواد و روش ها

۲-۱- شناسایی جنس، گونه و ویژگی‌های کرم خاکی ---------- ۴۰
۲-۲ – جمع آوری و تکثیر کرم‌های خاکی ---------- ۴۱
۲-۳- آماده سازی بستر های کشت ---------- ۴۲
۲-۳-۱ – تهیه گلدان‌ها ---------- ۴۲
۲-۳-۲- تهیه و آماده سازی خاک مورد نیاز برای تیمارها ---------- ۴۲
۲-۳-۳- آماده سازی بقایای گیاهی (یونجه)، کود حیوانی (گاوی) و کمپوست ---------- ۴۲
۲-۳-۴- تخلیه ی روده‌ی کرم‌های خاکی ---------- ۴۲
۲-۳-۵- توزین کرم‌ها جهت تعیین وزن زنده و خشک ---------- ۴۳
۲-۳-۶- تجزیه‌های اولیه خاک ---------- ۴۳
۲-۳- ۷- اضافه کردن تیمارهای مواد آلی به خاک ---------- ۴۳
۲-۳- ۸- قرار دادن جارهای پلاستیکی در سطح گلدان‌ها جهت اندازه گیری تنفس ---------- ۴۳
۲-۴ - مراقبت های لازم در طول آزمایش ---------- ۴۴
۲-۵- نمونه برداری از گلدان‌ها ---------- ۴۴
۲-۶- اندازه گیری معدنی شدن کربن آلی (تنفس خاک) ---------- ۴۵
۲-۷- سنجش فعالیت آنزیم‌ها ---------- ۴۶
الف- فسفاتاز قلیایی ---------- ۴۶
ب- اوره آز ---------- ۴۶
ج- آریل سولفاتاز ---------- ۴۷
د- بتا گلوکوسیداز ---------- ۴۷
هـ- ساکاراز (اینورتاز) ---------- ۴۷
۲-۸- اندازه گیری معدنی شدن نیتروژن ---------- ۴۸
۲-۸-۱-اندازه گیری N- $NO_3^-$ ---------- ۴۹
۲-۸-۲-اندازه گیری N- $NH_4^+$ ---------- ۴۹
۲-۹ -کربن بیوماس میکروبی (MBC) ---------- ۵۰
۲-۱۰- محاسبه ضریب متابولیکی ($qCO_2$) ---------- ۵۱
۲-۱۱- شمارش و توزین کرم‌های خاکی در پایان آزمایش ---------- ۵۱
۲-۱۲- اندازه گیری فسفر قابل جذب خاک ---------- ۵۱
۲-۱۳- اندازه گیری کلسیم و منیزیم ---------- ۵۲
۲-۱۴- اندازه گیری پایداری خاکدانه‌ها ---------- ۵۲
۲-۱۵- توزیع اندازه ذرات خاکدانه‌ها ---------- ۵۴

۲-۱۶- تجزیه و تحلیل آماری ---------- ۵۴

## فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و بقایای آلی مورد آزمایش ---------- ۵۵
۳-۲- اثر مواد آلی بر جمعیت و وزن کرم‌های خاکی ---------- ۵۵
۳-۲-۱- جمعیت کرم‌های خاکی در پایان آزمایش ---------- ۵۵
۳-۲-۲- وزن کرم‌های خاکی در پایان آزمایش ---------- ۵۷
۳-۳- اثرات مواد آلی و کرم خاکی بر پویایی کربن خاک ---------- ۵۸
۳-۳-۱- معدنی شدن کربن خاک ---------- ۵۸
۳-۳-۲- سرعت معدنی شدن کربن (CMR) ---------- ۶۳
۳-۳-۳- کربن بیوماس میکروبی ---------- ۶۷
۳-۳-۴- ضریب متابولیکی ($qCO_2$) ---------- ۶۹
۳-۴- اثرات مواد آلی و کرم خاکی بر پویایی نیتروژن خاک ---------- ۷۰
۳-۴-۱- آمونیفیکاسیون ---------- ۷۱
۳-۴-۲- نیتریفیکاسیون ---------- ۷۲
۳-۴-۳- معدنی شدن کل نیتروژن خاک (Nmin) ---------- ۷۳
۳-۵- اثر کرم خاکی و مواد آلی و اثرات متقابل آنها بر فعالیت آنزیم‌های خاک ---------- ۷۵
۳-۵-۱- فعالیت آنزیم ساکاراز (اینورتاز) ---------- ۷۵
۳-۵-۲- فعالیت آنزیم اوره‌آز ---------- ۸۰
۳-۵-۳- فعالیت آنزیم آریل‌سولفاتاز ---------- ۸۲
۳-۵-۴- فعالیت آنزیم بتاگلوکوسیداز ---------- ۸۳
۳-۵-۵- فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی ---------- ۸۵
۳-۶- اثر کرم خاکی و مواد آلی بر فسفر قابل جذب، کلسیم و منیزیم خاک ---------- ۸۹
۳-۶-۱- فسفر قابل جذب خاک ---------- ۸۹
۳-۶-۲- کلسیم و منیزیم ---------- ۹۴
۳-۷- اثر کرم خاکی و مواد آلی بر پایداری خاکدانه‌ها ---------- ۹۵
۳-۷-۱- میانگین وزنی قطر ذرات (MWD) ---------- ۹۵
۳-۷-۲- توزیع اندازه ذرات خاکدانه‌ها ---------- ۹۷
۳-۷-۳- نسبت خاکدانه سازی (AR) ---------- ۹۸

۳-۷-۴- میانگین هندسی قطر ذرات (GMD) ---------- ۹۹
۳-۷-۵- درصد خاکدانه‌های پایدار در آب (WSA) ---------- ۹۹
۳- ۸- نتیجه گیری نهائی ---------- ۱۰۰
۳-۹- پیشنهادات لازم برای مطالعات آتی ---------- ۱۰۲
منابع مورد استفاده ---------- ۱۰۳
چکیده انگلیسی ---------- ۱۱۵

# فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ مکانیسم تأثیر کرم های خاکی بر تغییرات شیمیایی محیط و رشد گیاه ---------- ۵
شکل ۱-۲ نظریه سلسله مراتبی اثرات کرم‌های خاکی بر فرآیندهای چرخه عناصر غذایی ---------- ۱۲
شکل ۱-۳ اثرات مستقیم و غیرمستقیم کرم‌های خاکی بر فعالیت میکروبی ---------- ۱۶
شکل ۱-۴ مکانیسم‌های مهم تأثیر کرم‌های خاکی بر تصاعد و اتلاف C ---------- ۱۸
شکل ۱-۵ مدل ارزیابی مکانیسم‌های تأثیر کرم‌های خاکی بر قابلیت دسترسی و سرنوشت نیتروژن سیستم ---------- ۲۲
شکل ۲-۱ الگوی ترکیب تیمارهای آزمایش ---------- ۴۰
شکل ۳-۱ روند معـــــدنی شدن تجمعی کربن خاک و مواد آلی مختلف در غیاب کرم خاکی (A) و حضور کرم خاکی (B) طی آزمایش ---------- ۶۴
شکل ۳-۲ سرعت تصاعد $CO_2$-C (CMR) از خاک و مواد آلی مختلف در غیاب کرم خاکی (A) و حضور کرم خاکی (B) طی آزمایش ---------- ۶۶

## فهرست جدول‌ها


جدول۱-۱ تأثیر نوع مواد آلی بر خاکدانه‌سازی خاک ---------- ۳۵

جدول ۲-۱ مشخصات تیمارهای آزمایشی ---------- ۳۹

جدول ۳-۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و مواد آلی مورد آزمایش ---------- ۵۶

جدول ۳-۲ نتایج تجزیه واریانس اثر مواد آلی بر جمعیت و وزن کرم‌های خاکی ---------- ۵۶

جدول ۳-۳ اثر مواد آلی مختلف بر تعداد کرم‌های خاکی ---------- ۵۷

جدول ۳-۴ مقایسات میانگین مربوط به توزین کرم‌های خاکی (بدون تخلیه Gut) ---------- ۵۸

جدول ۳-۵ نتایج تجزیه واریانس اثر کرم خاکی و مواد آلی به تنهایی و اثرات متقابل آنها بر شاخص‌های پویائی کربن و نیتروژن خاک ---------- ۵۹

جدول ۳-۶ اثرات کرم خاکی و مواد آلی مختلف بر شاخص‌های میکروبیولوژیکی خاک ---------- ۶۰

جدول ۳-۷ نتایج تجزیه واریانس اثر ساده کرم خاکی و مواد آلی و اثرات متقابل آنها بر فعالیت آنزیم‌های خاک ---------- ۷۷

جدول ۳-۸ اثرات کرم خاکی و مواد آلی مختلف بر فعالیت آنزیم‌های خاک ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از شروع آزمایش ---------- ۷۸

ادامه جدول ۳-۸ ---------- ۷۹

جدول ۳-۹ نتایج تجزیه واریانس اثر کرم خاکی و مواد آلی و اثرات متقابل آنها بر فسفر قابل جذب، کلسیم و منیزیم خاک و شاخص‌های مختلف پایداری خاکدانه ---------- ۹۰

جدول ۳-۱۰ اثرات کرم خاکی و مواد آلی مختلف بر فسفر قابل جذب، کلسیم و منیزیم خاک و شاخص‌های مختلف پایداری خاکدانه ---------- ۹۱

ادامه جدول ۳-۱۰ ---------- ۹۲

## چکیده

کرم‌های خاکی مهمترین جزو فون خاک محسوب می‌شوند که تکثیر، رشد و فعالیت آنها تحت تأثیر اقلیم، نوع خاک، پوشش گیاهی، کیفیت و سهولت دسترسی به مواد آلی قرار می‌گیرد. اگرچه نقش حیاتی این موجودات بر اغلب فعالیت‌های میکروبی خاک محرز می‌باشد، ولی مطالعات اندکی در باره اثرات متقابل مواد آلی و کرم خاکی بر فعالیت میکروبی خاک، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، انجام شده است. پایین بودن میزان ماده‌ی آلی در خاک‌های این مناطق، و در عین حال نقش مهم کرم‌های خاکی در بهبود شرایط میکروبیولوژیکی خاک‌های این اقلیم ضرورت توجه خاص به اثرات متقابل بقایای آلی و کرم‌های خاکی بر فعالیت ریزجانداران را گوشزد می‌کند. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار، تحت شرایط کنترل شده گلخانه‌ای برای مدت ۱۵۰ روز اجرا گردید. فاکتور اول شامل حضور یا عدم حضور کرم خاکی و فاکتور دوم شامل با و یا بدون بقایای آلی مختلف بود. در این آزمایش از یک نوع کرم خاکی آنسیک (*Lumbricus terrestris L.*) استفاده شد. عکس العمل شاخص‌های میکروبیولوژیکی خاک شامل معدنی شدن کربن و نیتروژن، کربن بیوماس میکروبی، فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، فسفاتاز قلیایی، اینورتاز، بتاگلوکوسیداز و آریل سولفاتاز (در سه مرحله به فواصل زمانی هر ۳۰ روز یکبار)، کلسیم و منیزیم خاک، فسفر قابل جذب و همچنین پایداری خاکدانه‌ها به تلقیح کرم خاکی و افزودن مواد آلی مختلف (بقایای یونجه، کود کمپوست و مخلوط بقایای یونجه + کود کمپوست و کود گاوی) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تلقیح کرم خاکی و افزودن مواد آلی سبب افزایش معنی دار معدنی شدن کربن و نیتروژن شد، در حالی که تلقیح کرم‌های خاکی سبب کاهش و افزودن مواد آلی باعث افزایش معنی دار کربن بیوماس میکروبی گردید. تلقیح کرم خاکی و افزودن مواد آلی به تنهایی و نیز اثرات متقابل آنها سبب افزایش معنی‌دار فعالیت اغلب آنزیم‌ها در مراحل مختلف آزمایش گردید. پایداری خاکدانه‌ها بر اثر تلقیح کرم‌های خاکی و اضافه کردن مواد آلی مختلف بدلیل تشکیل خاکدانه های ماکرو افزایش معنی دار داشت. کرم‌های خاکی و مواد آلی میزان فسفر قابل جذب، کلسیم و منیزیم خاک را نیز به طور معنی دار افزایش دادند. در پایان مدت آزمایش (۱۵۰ روز)، مواد آلی سبب افزایش معنی‌دار تعداد کرم‌های خاکی، متوسط وزن زنده و خشک کرم‌های خاکی گردید. به طور خلاصه، نتایج این مطالعه نشان داد که تلقیح کرم خاکی در حضور مواد آلی مختلف می‌تواند نقش مثبت و محرک بر اغلب فعالیت‌های میکروبی خاک و در نتیجه چرخه‌های مختلف عناصر غذایی داشته باشد. پایداری خاکدانه ها بطور محسوس در حضور کرمهای خاکی و مواد آلی افزایش یافت و بنابراین در کاهش فرسایش خاک مؤثر خواهد بود. از این رو کاربرد همزمان مواد آلی و کرم های خاکی نوع آنسیک می‌تواند کیفیت خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک را بهبود بخشد.



**واژه‌های کلیدی:** آنزیم‌های خاک، بیوماس میکروبی، پتانسیل معدنی شدن کربن و نیتروژن، شهرکرد، کرم خاکی آنسیک، مناطق خشک و نیمه خشک، مواد آلی.

# فصل اول
# مقدمه و بررسی منابع

## ۱-۱- مقدمه

خاک به عنوان جایگاه رشد و نمو گیاه و سایر موجودات خاکزی، محیطی است که بایستی با بهره‌برداری صحیح و حفاظت از آن، بقاء و تنوع زیستی موجودات زنده اعم از گیاه، حیوان و میکروب را تضمین نماید. عدم شناخت کافی نسبت به اهمیت خاک در اکوسیستم باعث شده تا جوامع بشری برای این ماده‌ی حیاتی بهای لازم قائل نباشند. از سوی دیگر، افزایش روز افزون جمعیت در چند دهه‌ی اخیر نیاز برای دستیابی به کشاورزی پایدار را در دنیا افزایش داده است و تلاش محققان بر این است که به جای کاربرد ماشین آلات کشاورزی (در خاک‌ورزی)، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و غیره از روش‌های بیولوژیک برای نیل به کشاورزی پایدار استفاده کنند که در این راستا کرم‌های خاکی جایگاه ویژه‌ای دارند و این موجودات اغلب معماران اکوسیستم[1] نامیده می‌شوند. کرم‌های خاکی در اصل موجودات آبزی بوده‌اند و تصور می رود که این موجودات در حدود ۵۷۰ میلیون سال پیش تکامل یافته و در محیط‌های خاکزی ادامه حیات داده‌اند. آگاهی از بیولوژی و اکولوژی کرم‌های خاکی، سبب استفاده بهینه از آنها در کشاورزی مدرن، برنامه‌های کنترل آلاینده‌ها و غیره می گردد.

کرم‌های خاکی را در بیشتر خاک‌ها می‌توان جستجو کرد ولیکن تنوع، فراوانی و میزان فعالیت آنها در خاک‌های مختلف به عوامل متعددی همچون دما، رطوبت، pH، حضور و تنوع مواد آلی، بافت خاک، وضعیت زهکشی خاک و غیره بستگی دارد. حال سؤالات مطرح این است که وضعیت کرم‌های خاکی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک (مانند مناطق مرکزی ایران) چگونه است؟ کرم‌های خاکی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک چه نقشی در بهبود حاصلخیزی خاک، خصوصیات فیزیکی آن،

---

[1] - Ecosystem Engineers

تولید و پایداری آنزیم‌های خاک و چرخه عناصر غذایی دارند؟ و مهمتر از همه آیا در مناطق خشک و نیمه خشک مانند شهرکرد، مطالعاتی در زمینه اهمیت نسبی کرم‌های خاکی انجام شده است ؟

با بررسی اجمالی خاک‌های این مناطق می‌توان دریافت که کرم‌های خاکی در اغلب خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک نیز یافت می‌شوند ولی به دلایلی همچون عدم وجود رطوبت مناسب در خاک، خشک بودن دائم خاک‌های سطحی و نیز کمبود ماده آلی در لایه‌های سطحی خاک، آنها به اعماق خاک مهاجرت کرده و شاید به همین علت به نقش مفید کرم‌های خاکی در این مناطق توجه شایانی نشده است. البته برخی از خصوصیات خاک‌های این مناطق مانند بافت مناسب (کلاس بافتی غالب لوم رسی سیلتی)، زهکش طبیعی مناسب، EC پایین، pH خنثی و قلیایی ضعیف (به طور متوسط در دامنه ۶ تا ۸) ، بالا بودن درصد $CaCO_3$ و Ca می‌تواند برای حضور، زنده ماندن و فعالیت کرم‌های خاکی مفید واقع شوند، از این رو با رفع مشکلات مذکور، می‌توان نقش واقعی کرم‌های خاکی را بهتر بیان نمود.

از طرف دیگر، یکی از مشکلات بشر در عصر حاضر، تولید مقادیر بسیار زیاد زباله‌های شهری و شیوه‌ی دفع آنهاست. سالانه میلیون‌ها تن زباله‌های آلی (عمدتاً زباله‌های شهری) دفع یا سوزانیده می‌شوند که علاوه بر اینکه مشکلات زیست محیطی فراوانی را به وجود می‌آورند، بسیار پر هزینه هستند و این در حالی است که در ایران اغلب خاک‌های زراعی از کمبود مواد آلی در تنگنا هستند. معمولاً کرم‌های خاکی قادر هستند مواد آلی موجود در زباله‌های شهری را به یک کود غنی و قابل مصرف تبدیل سازند و از آنجا که کاهش سریع مواد آلی در خاک‌ها، نیل به کشاورزی پایدار را مشکل می‌سازد، توجه به اثرات متقابل کرم‌های خاکی و زباله‌های شهری حائز اهمیت می‌باشد. راهکارهای ساده و عملی برای حداکثر استفاده از مواد آلی غیر قابل استفاده (مانند زباله‌های شهری، بقایای گیاهی که سالانه میلیون‌ها تن از آنها به علت سرعت تجزیه پایین، C:N بالا، درصد لیگنین بالا سوزانده می‌شوند، برگ درختان که سنگفرش خیابان‌ها را در فصل پاییز لزج و لغزنده می‌سازد) در حضور کرم‌های خاکی وجود دارند، که شدیداً حاصلخیزی خاک، زندگی و فعالیت ریزجانداران فعال و همچنین فعالیت آنزیم‌های خاک را می‌توانند، افزایش دهند. بنابراین کرم‌های خاکی می‌توانند یکی از نیروهای محرکه برای ادامه فعالیت میکروب‌های خاک باشند و این موجودات قادرند اثرات متقابل مثبت و یا منفی بر ادامه زندگی یکدیگر داشته باشند. البته این بر همکنش متقابل به نوع و میزان ماده‌ی آلی خاک بستگی دارد.

## ۱-۲- موجودات زنده خاک[1]

موجودات زنده خاک شامل گیاهان خاک[2]، جانوران خاک[3] و میکروب‌های خاک[4] می‌باشند که بر حسب اندازه بدن، تعداد سلول، نوع و منشأ سلولی، عرض بدن، ویژگی‌های ژنتیکی (RNA)، مشخصات سلولی، روش تغذیه، نیاز به اکسیژن ملکولی، نیاز به انرژی و الکترون، شرایط دمائی و غیره تقسیم بندی شده‌اند. علم میکروبیولوژی خاک با قدمت حدود ۱۰۰ سال و با قوت گرفتن در اوایل قرن بیستم و همچنین در سال‌های اخیر با استفاده از مدل‌های ریاضی و فیزیکی و نیز استفاده گسترده از علم آنزیم شناسی برای مطالعه فعالیت میکروبی خاک و استفاده از علم ژنتیک به بررسی موجودات زنده خاک پرداخته است. نیاز شدید جامعه به دستاوردهای پژوهشی، یکی از علل عمده پیشرفت سریع این علم در سال‌های اخیر می‌باشد. از آنجا که هر یک از موجودات خاکزی نقش مهمی در فرآیندهای بیولوژیک خاک، جریان و انتقال انرژی در اکوسیستم، پاکسازی محیط‌های آلوده و سر انجام باروری خاک ایفا می‌کنند، پژوهش درباره‌ی فراوانی، چگونگی زندگی و کارکرد موجودات خاکزی می‌تواند بسیار سودمند باشد. موجودات زنده خاک طیف وسیعی را شامل می شوند که همگی در برقراری وظایف اکوسیستم به فعالیت می‌پردازند و در حین فعالیت خود در قابل استفاده کردن مواد غذایی برای رشد گیاهان، تنظیم تغییرات مواد آلی، تشکیل ساختمان، کاهش تخریب و فرسایش خاک و غیره ایفای نقش می‌کنند.

برای جانوران خاک گروه بندی‌های مختلفی ارائه شده است؛ مثلاً، باشلیه[5] (۱۹۶۳) جانوران را بر پایه اندازه بدن بالغ در چهار گروه میکروفون (کوچکتر از ۰/۲ میلی متر)، مزوفون (بزرگتر از ۰/۲ و کوچکتر از ۴ میلی متر)، ماکروفون (۴ تا ۸۰ میلی‌متر) و مگافون (۸ سانتی متر تا ۱/۶ متر) رده‌بندی کرد که در این تقسیم بندی کرم‌های حلقوی جزو ماکروفون و کرم‌های خاکی غول آسا جزو مگافون قرار گرفتند. والورک[6] (۱۹۷۰) جانوران خاک را بر اساس اندازه در سه گروه میکروفون (۲۰ تا ۲۰۰ میکرون)، مزوفون (۲۰۰ میکرون تا ۱ سانتی متر) و ماکروفون (بیش از ۱ سانتی متر) قرار داد. محققان دیگر جانوران خاک را بر پایه موادی که مصرف می‌کنند به دوگروه اصلی ساپروفاگوس (که از مواد آلی مرده تغذیه می کنند) و بیوفاگوس (که از جانداران یا مواد آلی زنده تغذیه می‌کنند) تقسیم کردند. در مجموع این گروه بندی‌ها چندان در جدا سازی جانوران خاک کارآئی نداشتند، زیرا بسیاری از جانوران در چند گروه جای می‌گرفتند (صفری سنجانی، ۱۳۸۲).

---

[1] - Soil biota
[2] - Soil plants
[3] - Soil animals
[4] - Soil microbes
[5] - Bachelier
[6] - Wallwork

## کرم‌های خاکی

خاک‌های نواحی مختلف دارای گروه‌های بسیار متنوع موجودات زنده خاک در اندازه‌های متفاوت می‌باشند و همان طور که اشاره شد کرم‌های حلقوی بر اساس اندازه بدن بالغ جزو ماکروفون خاک (با میانگین اندازه ۸۰-۴ میلی‌متر) و کرم‌های خاکی غول آسا جزو مگافون خاک (با میانگین اندازه ۸ سانتی‌متر تا ۱/۶ متر) طبقه بندی می‌شوند. کرم‌های خاکی یک جزو اصلی اغلب اکوسیستم‌های خاکی هستند (ادواردس و بوهلن[1]، ۱۹۹۶). این موجودات در خاک‌های اسیدی معمولاً بر بیوماس بی‌مهرگان خاک چیره می‌شوند و بخصوص در خاک‌های جنگلی از طریق ساختمان سازی در محیط خاک به عنوان معماران اکوسیستم عمل می‌کنند (جونز[2] و همکاران، ۱۹۹۴). کرم‌های خاکی هنگام ایجاد کانال‌های زیرزمینی، تولید فضولات[3] و مخلوط کردن لاشبرگ سطحی و خاک (تخریب بیولوژیکی[4]) بر پایداری خاکدانه‌ها، ساختمان خاک، نفوذ آب، هوادهی لایه‌های عمقی خاک، چرخه عناصرغذایی، معدنی شدن عناصر غذایی، بیوماس میکروبی و دیگر بی‌مهرگان خاک تأثیر می‌گذارند (لی[5]، ۱۹۸۵؛ ادواردس و بوهلن، ۱۹۹۶؛ بوهلن[6] و همکاران، ۲۰۰۴a). این تغییرات اثرات مهمی بر پتانسیل و جوامع گیاهی در سیستم گیاه خواری دارند (اسچئو[7]، ۲۰۰۳). این موجودات از طریق تغییرات شیمیایی محیط ناشی از فرآیندهای گوناگون دستگاه گوارش[8] (GAPs) و فرآیندهای مرتبط با فضولات[9] (CAPs) بر رشد گیاه اثر مثبت دارند (شکل ۱-۱). اگر چه تعداد کرم‌های خاکی در بین فون خاک غالب نیست ولی اندازه‌ی آنها سهم عمده‌ای از بیوماس بی مهرگان خاک را به خود اختصاص می‌دهد و فعالیت آنها به شدت در حفظ حاصلخیزی خاک اهمیت دارد (ادواردس و بوهلن، ۱۹۹۶). پارمال[10] و همکاران (۱۹۹۵) در آزمایشی از داروی کرم کش کاربوفوران[11] استفاده کرد تا جمعیت‌های کرم خاکی را در اکوسیستم‌های کشاورزی تا بیش از ۹۰ درصد کاهش دهند. این محققان گزارش کردند که پس از گذشت ۲۹۲ روز مقادیر ریز، درشت و کل ذرات مواد آلی در کرت‌های آزمایشی به ترتیب ۴۳٪، ۳۰٪ و ۳۲٪ نسبت به شاهد افزایش یافت. آنها این طور بیان کردند که افزایش اندازه‌ی ذرات مواد آلی به علت کاهش جمعیت کرم‌های خاکی، نشان دهنده اهمیت کرم‌های خاکی در خرد نمودن و تجزیه مواد آلی و نیز آزاد شدن عناصر غذایی می‌باشد.

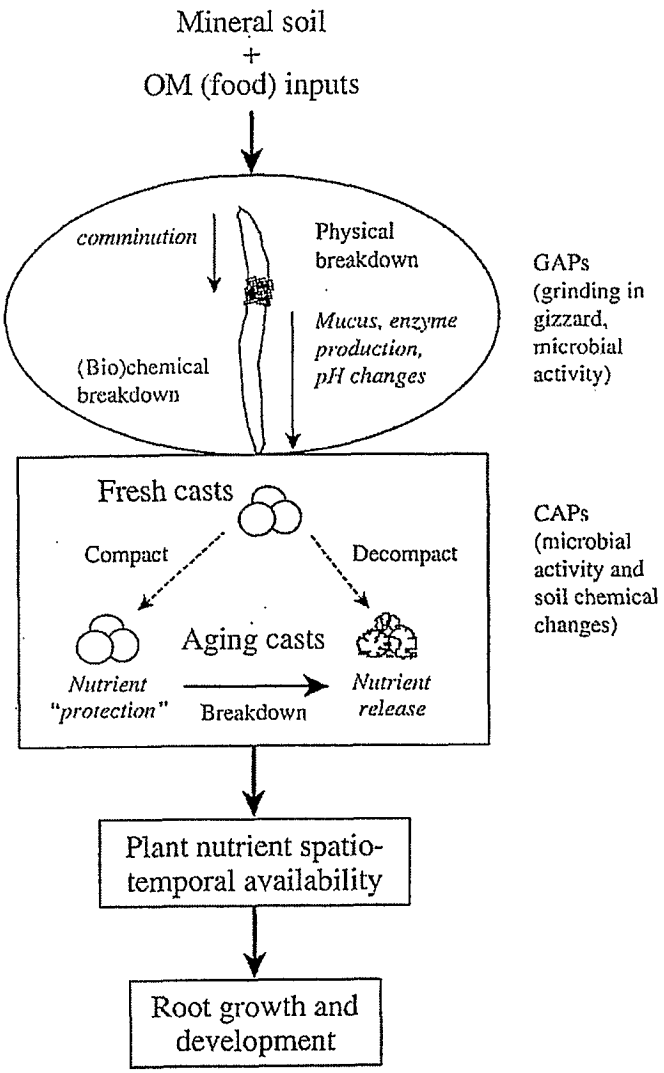
یکی از نقش‌های مهم مکانیکی- فیزیکی کرم‌های خاکی اختلاط ذرات جامد خاک شامل مواد آلی و ذرات معدنی در لایه‌های مختلف می‌باشد، اما درجه‌ی مخلوط کردن لایه‌های خاک بر حسب

---

1 - Edwards & Bohlen
2 - Jones
3 - Castings
4 - Biodegradation
5 - Lee
6 - Bohlen
7 - Scheu
8 - Gut-associated processes
9 - Cast-associated processes
10 - Parmalee
11 - Carbofuran

گونه‌های کرم‌خاکی متفاوت می‌باشد و بر این اساس در سه گروه اکولوژیکی اصلی شامل: گونه‌های اپی‌جیک[1]، اندوجیک[2] و آنسیک[3] طبقه بندی می‌شوند (ادواردس و بوهلن، ۱۹۹۶).

الف-گونه‌های اپی‌جیک مانند *Dendrobaena octaedra* عمدتاً در روی خاک و درون لاشبرگ‌ها زندگی می‌کنند و سبب اختلاط محدود لایه‌های آلی و معدنی می‌شوند. این کرم‌ها توانائی حفر کانال در خاک را ندارند. کرم‌های گونه‌های اپی جیک از لحاظ اندازه کوچک بوده و قرمز رنگ هستند.




شکل ۱-۱ مکانیسم تأثیر کرم‌های خاکی بر تغییرات شیمیایی محیط و رشد گیاه (ادواردس، ۲۰۰۴)

[1] - Epigeic
[2] - Endogeic
[3] - Anecic

ب-گونه‌های اندوجیک مانند *Octolasion tyrtaeum* در لایه‌های معدنی خاک تحتانی و کانال‌های افقی خاک زندگی کرده و هیچگاه در سطح خاک دیده نمی‌شوند. این کرم‌ها از ریشه گیاهان مرده تغذیه می‌کنند. کرم‌های گونه‌های اندوجیک از لحاظ اندازه بزرگ بوده و بدون رنگدانه هستند.

ج-گونه‌های آنسیک مانند *Lumbricus terrestris* قادر به تشکیل کانال‌های عمودی دائمی با بیش از ۲ متر عمق بوده و لاشبرگ را از سطح خاک به درون لایه‌های عمقی منتقل و مواد معدنی خاک را از طریق تولید فضولات به سطح جابجا می‌کنند. این گروه از کرم‌های خاکی غالباً در شب به سطح خاک می‌آیند و در روز به زیر خاک فرو می‌روند. کرم‌های گونه‌های آنسیک از لحاظ اندازه متوسط بوده و رنگ آنها قهوه‌ای می‌باشد.

در بسیاری از خاک‌ها گونه‌های آنسیک و اندوجیک کرم‌های خاکی همراه با هم بوده و احتمالاً این دو گونه به صورت تعاون و همکاری[1] بر توزیع مجدد مواد آلی در سرتاسر پروفیل خاک تأثیر گذار هستند. برخی از پژوهشگران به این نتیجه رسیدند، زمانی که گونه‌ی آنسیک *L. terrestris* و گونه‌ی اندوجیک *Octolasion cyaneum* همراه با هم در یک محیط خاکی بسته نگهداری شوند، می‌توانند بقایای گیاهی سطح خاک را به طور بسیار منظم‌تری در ماتریکس خاک، نسبت به زمانی که هر یک از این گونه‌ها به تنهایی حضور دارند، پخش کنند (در ادواردس، ۲۰۰۴).

کرم‌های خاکی به طور مستقیم از طریق تغذیه و به طور غیر مستقیم از طریق تولید فضولات غنی از عناصر غذایی، نقل و انتقال ریزجانداران و تغییر در سرعت تغذیه بر ویژگی‌های مهم خاک یا همان شاخص‌های کیفیت خاک تأثیر می‌گذارند (باردگت[2] و همکاران، ۱۹۹۸). با این حال، جمعیت کرم‌های خاکی از نظر فراوانی، بیوماس و تنوع شدیداً به دامنه‌ای از فاکتورها مانند pH، تیپ خاک، درجه حرارت، رطوبت و مهمتر از همه سهولت دسترسی به مواد آلی وابسته است (ادواردس، ۲۰۰۴). زندگی و کارکرد کرم‌های خاکی در خاک و به دنبال آن دگرگونی ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک همگی سبب بالا رفتن توان باروری خاک می‌شود به گونه‌ای که برخی از کرم‌های خاکی را، "کرم کشاورز" نامیده‌اند.

با توجه به اطلاعات محدود در مورد موجودات خاک به ویژه کرم‌های خاکی در خاک‌های آهکی، دستیابی به اسرار ناشناخته آنها اجتناب ناپذیر است.

## الف- مورفولوژی[3] کرم‌های خاکی

کرم‌های خاکی دارای بدن حلقه حلقه، استوانه‌ای و لوله‌ای شکل می‌باشند. تعداد حلقه‌ها و بندهای بدن کرم‌های خاکی، با افزایش سن آنها، بیشتر می‌شود. بر روی هر بند از بدن آنها تعدادی تار (۸-۴) وجود دارد

---

[1] - Synergistic
[2] - Bardgett
[3] - Morphology

که در گونه‌های مختلف اندازه‌های گوناگون و اشکال متنوعی دارند. هر بند از بدن کرم خاکی دارای یک سری ماهیچه حلقوی است که با باز و بسته شدن، توان جابجایی را به کرم خاکی می‌دهد که ماهیچه‌های طولی نیز به آن کمک می‌کنند. پهنای کرم‌های خاکی در میان گونه‌های مختلف، بسیار متفاوت است. دستگاه گوارش کرم خاکی از دهان آغاز و به گلو، مری، چینه دان، سنگدان، روده و مجرای دفعی ختم می‌شود. کرم‌های حلقوی اندام تنفسی ویژه‌ای ندارند و گازهای تنفسی را از طریق پوست مرطوب خود مبادله می‌کنند.

## ب- تولید مثل[1] کرم‌های خاکی

کرم‌های حلقوی نر- ماده یا هرمافرودیت هستند ولی برای تولید مثل به دو جنس و انجام جفت گیری نیاز دارند. آنها با اینکه هر دو اندام جنسی نر و ماده را دارند، خودباور نیستند و برای باروری تخمک‌های خود جفت گیری می‌کنند. تخم بارور شده کرم خاکی که پیله[2] نام دارد، در خاک رها می‌شود. در درون هر پیله ۳-۱ تخم بارور شده وجود دارد. پیله‌ها در ابتدا رنگ روشن و پوشش نازک دارند و از مواد شیری آلبومینوئیدی پر شده اند که با رشد جنین کرم‌ها این مواد هضم و جذب شده و درون پیله را کرم‌های جوان پر می‌کنند که پس از ۲ تا ۳ هفته کرم‌های جوان از آنها بیرون می‌آیند. زمان زنده ماندن یک کرم در خاک به تعداد پیله‌های تخم که بوجود می‌آورد، وابسته است و هرچه تعداد این پیله‌ها بیشتر باشد، زندگی کرم کوتاه‌تر خواهد بود.

## ج- تغذیه کرم‌های خاکی

کرم‌های خاکی از مواد آلی بیجان، لاشبرگ و پسمانده‌های گیاهی (اغلب بقایای گیاهی با نسبت C:N پایین را ترجیح می‌دهند)، کودهای دامی (از این رو می‌توانند در پیدایش هوموس خاک کارآیی داشته باشند)، ریز جاندارانی مانند قارچ‌ها، باکتری‌ها، پروتوزوآها (که سبب تعادل بیولوژیک جمعیت، جلوگیری از افزایش بی رویه ریزجانداران در خاک، جوان ماندن جمعیت ریزجانداران در خاک می‌شوند) و ذرات معدنی خاک تغذیه می‌کنند. برخی از محققان به این نتیجه رسیدند که هجوم کرم‌های خاکی به توده‌ی لاشبرگ موجود در کف جنگل، سبب کاهش ضخامت این لایه‌ی آلی می‌شود (کاهش ۱۰-۰ سانتی متری). تغییرات در لایه‌های آلی خاک که ناشی از حمله‌ی کرم‌های خاکی است، شدیداً زیستگاه‌های موجود در خاک و منابعی که ریزجانداران به تازگی به آنها متکی شده‌اند، را دگرگون می‌کند (در ادواردس، ۲۰۰۴). ایزن هایر[3] و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که تراکم کرم‌های خاکی همیشه با ضخامت لایه‌ی آلی خاک همبستگی مثبت ندارد. آنها اظهار داشتند تراکم کرم خاکی *L. terrestris* با ضخامت لایه‌ی آلی همبستگی منفی و تراکم کرم خاکی *D. octaedra* با ضخامت لایه‌ی آلی همبستگی مثبت دارد. عادات غذایی مختلف در گونه‌های کرم خاکی می‌تواند بر نقش کرم‌های خاکی، روی ریز و خرد کردن

---

[1] - Reproduction
[2] - Cocoon
[3] - Eisenhauer