

خاک‌های بایدار:

جایگاه مادهٔ آله در بایداری
و حاصل‌خیزی خاک

بنجامین ولف - جورج استایدر

مترجمان: عبدالمجید مهدوی دامغانی
رضا دیهیم فرد - رضا میرزایی تالار بیتت



خاک‌های پایدار

خاک‌های پایدار

جایگاه مادهٔ آلی در پایداری و حاصلخیزی خاک

بنیامین ولف - جورج اسنایدر

ترجمهٔ

عبدالمجید مهدوی دامغانی - رضا دیهیم‌فرد -

رضا میرزایی تالارپشتی

فهرست

پیشگفتار مترجمان.....	سیزده
پیشگفتار نویسندگان.....	هفده
پیش‌درآمد.....	بیست و سه
فصل ۱: کشاورزی فشرده و تولید غذا.....	
۱.....	۱
معضلات کشاورزی فشرده.....	۲
اصلاح مشکلات کشاورزی فشرده.....	۴
فرسایش.....	۴
آفت‌کش‌ها.....	۵
کودها.....	۶
کشاورزی جایگزین.....	۱۰
کشاورزی پایدار.....	۱۳
دانش خاک پایدار.....	۱۴
جایگاه ماده آلی در پایداری خاک.....	۱۴
اهمیت مواد آلی در پایداری کشاورزی.....	۱۷
افزایش مواد آلی، کشاورزی پایدار و نیاز به نهاده‌ها.....	۱۸
فصل ۲: مفاهیم بنیادی ماده آلی.....	
۲۱.....	۲۱
تجزیه ماده آلی.....	۲۱
مواد مقاوم و غیرمقاوم به تجزیه.....	۲۵
ماده آلی خاک و هوموس.....	۲۵
اثر شرایط محیطی بر تجزیه مواد آلی.....	۲۹
اکسیژن خاک.....	۲۹
دی اکسید کربن جوی.....	۳۲
رس.....	۳۴
دما.....	۳۴
رطوبت.....	۳۵
مقدار عناصر غذایی و pH.....	۳۵

۳۷	مقدار تجزیه
۳۷	تلفات ماده آلی خاک و کاهش عملکرد گیاهان زراعی
۴۰	افزایش ماده آلی خاک
۴۰	افزودن مواد آلی
۴۱	تغییر عملیات زراعی
۴۲	جنبه‌های منفی افزودن مواد آلی به خاک
۴۲	ماده آلی مازاد
۴۵	آثار منفی ناشی از ترکیب شیمیایی مواد آلی
۵۱	فصل ۳: مواد آلی: منبع عناصر غذایی
۵۳	مواد آلی و تأمین عناصر غذایی
۵۴	عناصر غذایی آزادشده از مواد آلی
۶۰	عناصر غذایی دیگر
۶۱	آزادسازی عناصر غذایی
۶۲	آزادسازی نیتروژن، فسفر و گوگرد
۶۵	آزادسازی عناصر غذایی غیر از نیتروژن، فسفر و گوگرد
۶۵	آثار غیرمستقیم مواد آلی بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی
۶۷	عوامل افزایش‌دهنده قابلیت دسترسی عناصر غذایی
۷۳	عوامل مؤثر بر تلفات عناصر غذایی
۷۴	محاسبه عناصر غذایی موجود در ماده آلی
۷۷	آزادسازی نیتروژن از کود دامی
۷۷	کاهش مقدار توصیه‌شده کود شیمیایی بر اساس کاربرد کود دامی
۷۸	کاهش مقدار توصیه‌شده کود شیمیایی بر اساس محصول زراعی قبلی
۷۹	آزاد شدن عناصر غذایی از مواد آلی خاک
۹۱	فصل ۴: ویژگی‌های کیفی فیزیکی خاک
۹۲	ساختمان خاک
۹۳	شکل‌گیری ساختمان خاک
۹۳	انواع ساختمان خاک
۹۵	اهمیت ساختمان خاک
۹۶	عوامل مؤثر بر ساختمان خاک
۹۷	تخلخل
۹۸	اندازه خلل و فرج
۱۰۰	تخلخل مناسب و مطلوب
۱۰۴	حفظ تخلخل مطلوب

۱۰۵	وزن مخصوص ظاهری خاک
۱۰۷	ارتباط وزن مخصوص ظاهری با تخلخل
۱۰۸	فشردگی
۱۱۰	نفوذ و فرونشست آب
۱۱۳	ثبات خاکدانه‌ها
۱۱۵	ظرفیت نگهداری رطوبت
۱۱۸	فرسایش
۱۱۸	فرسایش آبی
۱۲۱	فرسایش بادی
۱۲۳	فصل ۵: آثار زیستی ماده آلی
۱۲۳	موجودات خاکزی و کارکرد آنها
۱۲۵	مهره‌داران کوچک خاک
۱۲۶	بندپایان
۱۲۷	حشرات
۱۲۸	کرم‌های خاکی
۱۲۹	نرم‌تنان
۱۳۰	نماتدها
۱۳۱	جلبک‌ها
۱۳۱	آغازیان
۱۳۲	قارچ‌ها
۱۳۴	پوده‌رست‌ها
۱۳۵	انگل‌ها
۱۳۵	همزیست‌ها
۱۳۶	اکتینومیست‌ها
۱۳۷	باکتری‌ها
۱۳۹	فرایندهای ضروری برای سلامت خاک
۱۳۹	چرخش عناصر غذایی
۱۴۱	کسب عناصر غذایی
۱۴۸	کنترل آفات از طریق مدیریت موجودات و ماده آلی خاک
۱۴۸	مدیریت آفات در بوم‌نظام‌های متعادل
۱۵۳	استفاده از مواد آلی در کنترل آفات خاص
۱۶۳	فصل ۶: افزودن مواد آلی به خاک
۱۶۳	کاشت درون‌مزرعه‌ای مواد آلی

۱۶۴	گیاهان علوفه ای و مرتعی
۱۶۵	تناوب
۱۷۲	تناوب با گیاهان پوششی
۱۹۴	بقایای گیاهی
۱۹۷	آثار بقایای گیاهی گوناگون
فصل ۷: به کارگیری مواد آلی برون مزرعه ای	
۲۰۱	کود دامی
۲۰۳	مقدار کود آلی تولیدشده
۲۰۴	ارزش غذایی کود آلی
۲۰۷	منبع ریز مغذی ها
۲۰۸	آزادسازی عناصر غذایی از کود آلی
۲۱۱	کود دامی برای افزایش ماده آلی خاک
۲۱۱	کمپوست
۲۱۲	مواد آلی برای تولید کمپوست
۲۱۳	کنترل رطوبت و اکسیژن
۲۱۳	تغییرات دما
۲۱۴	اندازه توده کمپوست و کنترل اکسیژن، رطوبت و دما
۲۱۵	عملیات کمپوست سازی در سطح بزرگ تر
۲۱۶	نیاز به فراوری کامل در تهیه کمپوست
۲۱۷	کمپوست بدون خاک
۲۱۸	نگهداری کمپوست های بدون خاک
۲۱۹	ارزش کمپوست برای گیاهان زراعی
۲۲۱	کاربرد کمپوست در مزرعه
۲۲۳	پساب های فاضلاب و پسماندهای آلی جامد
۲۲۵	عناصر سنگین
۲۲۶	استفاده پساب در کشاورزی
۲۲۸	تورب ها
۲۲۸	مواد زاید حیوانی غنی از عناصر غذایی و دیگر مواد زاید
۲۳۰	محصولات جانبی فراوری مواد غذایی
۲۳۳	فراورده های چوبی
فصل ۸: کاربرد مواد آلی	
۲۳۷	مخلوط کردن مواد آلی اولیه با خاک
۲۳۸	خاکپوش پلاستیکی

۲۳۹	..... خاکپوش‌های آلی طبیعی
۲۴۴	..... انواع خاک‌پوش آلی طبیعی
۲۶۰	..... آثار زیانبار خاکپوش آلی
۲۶۰	..... کاهش آثار نامطلوب رطوبت اضافی
۲۶۱	..... دمای پایین‌تر خاک
۲۶۲	..... مواد شیمیایی دگرآسیب و آفت‌کش‌ها
۲۶۵	..... استفاده از خاکپوش آلی برای جلوگیری از خسارت آفات
۲۶۹	فصل ۹: خاک‌ورزی حفاظتی
۲۶۹	..... افزایش مواد آلی خاک
۲۷۱	..... دیگر مزایای خاک‌ورزی کاهش‌یافته
۲۷۱	..... رطوبت خاک
۲۷۲	..... دماهای پایین‌تر خاک
۲۷۲	..... خاکدانه و ساختمان خاک
۲۷۳	..... تخلخل و تهویه
۲۷۵	..... فرسایش
۲۷۷	..... کاهش هزینه‌های تولید
۲۷۸	..... نظام بدون خاک‌ورزی
۲۷۹	..... واکنش‌های ضعیف به نظام بدون خاک‌ورزی
۲۸۲	..... خاک‌ورزی کاهش‌یافته
۲۸۳	..... خاکپوش کلشی
۲۸۳	..... خاک‌ورزی موضعی یا نواری
۲۸۴	..... خاک‌ورزی پشت‌های
۲۸۷	..... مشکلات آفات در خاک‌ورزی حفاظتی
۲۹۳	..... اصلاح مشکلات خاک‌ورزی حفاظتی
۲۹۵	فصل ۱۰: تغییرات ناشی از خاک‌ورزی حفاظتی در خاک
۲۹۵	..... روش‌های زراعی
۲۹۵	..... ادوات مورد نیاز خاک‌ورزی حفاظتی
۳۰۴	..... تغییرات حاصلخیزی خاک
۳۰۴	..... تغییرات pH
۳۰۶	..... عناصر غذایی
۳۱۱	..... آفات
۳۱۳	..... حشرات مفید
۳۱۴	..... حشره‌کش‌ها و موجودات مفید

۳۱۶.....	کنترل حشرات آفت با گیاهان تراریخته
۳۱۶.....	بیماری‌های گیاهی.....
۳۲۲.....	نماتدها.....
۳۲۴.....	علف‌های هرز.....
۳۳۳.....	علف‌کش‌ها.....
۳۳۶.....	آفات دیگر.....
۳۳۷.....	فصل ۱۱: جمع‌بندی نهایی
۳۳۷.....	ترکیب کاربرد ماده آلی و خاک‌ورزی حفاظتی.....
۳۳۷.....	رهیافت‌های پایه.....
۳۴۱.....	افزودن ماده آلی اولیه.....
۳۴۱.....	کاربرد ماده آلی درون مزرعه‌ای.....
۳۴۴.....	کاربرد ماده آلی اولیه برون مزرعه‌ای.....
۳۵۲.....	تأمین عناصر غذایی مورد نیاز.....
۳۵۳.....	کنترل آفات.....
۳۶۰.....	افزودن آب.....
۳۶۴.....	ادوات لازم برای خاک‌ورزی حفاظتی.....
۳۷۱.....	خلاصه
۳۷۷.....	کتابنامه
۳۸۹.....	واژه‌نامه فارسی – انگلیسی.....
۳۹۷.....	واژه‌نامه انگلیسی – فارسی.....
۴۰۳.....	نمایه

تقریظ

خاک بستر حیات است، بستری زنده، پویا و پایا. به آنچه در خاک اتفاق می‌افتد، چون از چشم ما ظاهراً پنهان است و قادر به ارزیابی کمی آن نیستیم، زیاد توجه نمی‌کنیم. این درحالی است که فرایندهای متکی به خاک بسیار پیچیده‌تر از آن است که در روی خاک حادث می‌شود. خاک لنگرگاه همه موجودات و از جمله موجودات زنده است و با تغذیه مداوم و تأمین آب به بخش زنده زیست‌سپهر، پایداری آنها را تضمین می‌کند. از این رو، ضروری است در فرایند تولید به معنای عام و تولیدات کشاورزی به معنای خاص، نگرش متکی به «تغذیه گیاهی» به «تغذیه خاک» تغییر داده شود. این مهم مبنا و اساس رهیافتی است که از آن با نام‌های «کشاورزی بوم‌شناختی»، «کشاورزی بیولوژیک» یا «کشاورزی پایدار» یاد می‌شود.

کتاب *خاک‌های پایدار* که با چنین بینشی انتخاب و به همت پژوهشگران بخش کشاورزی اکولوژیک پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی به فارسی برگردانده شده است، در نوع خود از نخستین کتاب‌های در این زمینه است. در این کتاب نه تنها به خاک به عنوان موجودی زنده نگریسته شده، بلکه زاویه نگرش و نوع آن نیز حیات‌آفرین است. ضمن آرزوی توفیق برای مترجمان کتاب و نیز قدردانی از پژوهشکده علوم محیطی امید است این آغاز با روندی هموار به سرانجامی پایدار ختم شود.

علیرضا کوچکی

استاد دانشگاه فردوسی مشهد

پیشگفتار مترجمان

خاک سه کارکرد بنیادی دارد: تولید غذا، نگهداری و تجزیه زیستی ضایعات و فضولات و خاستگاه زیبایی‌های طبیعی. خاک باعث استقرار پوشش گیاهی می‌شود و به این ترتیب نیازهای انسان را از لحاظ غذایی و الیاف تأمین می‌کند. همچنین خاک به مثابه انبار ضایعات و پسماندهای شهری، کشاورزی و صنعتی عمل می‌کند و با کمک شبکه پیچیده و گسترده ریزموجودات خاکزی، بخش عظیمی از این ضایعات را که در این شکل قابل استفاده نیستند، تجزیه و به مواد قابل جذب گیاهی تبدیل می‌کند. بنابراین ضمن پالایش محیط، بستری مناسب برای رشد و تولید محصولات زراعی فراهم می‌آورد. تمام شبکه‌های غذایی نظام‌های خشکی وابسته به خاک و مواد در حال تجزیه آن هستند؛ به عبارت دیگر، اقلیم خاک که ریزموجودات خاک جزء زنده آن را تشکیل می‌دهند بر تمام برهمکنش‌های تغذیه‌ای شبکه‌های غذایی خشکی تأثیر می‌گذارد، زیرا جریان مواد غذایی از خرداقلیم خاک شروع می‌شود. به همین دلیل، هرگونه آسیبی که به خاک و کارکردهای آن از طریق نهاده‌ها و عملیات کشاورزی وارد شود، بر کل بوم‌نظام تأثیر می‌گذارد.

نوع خاک هر منطقه نقش مهمی در تعیین جایگاه اقتصادی، اجتماعی و سیاسی آن در معادلات جهانی دارد. به طور مثال، بیش از دوسوم خاک‌های کشور لائوس در جنوب شرق آسیا را خاک‌هایی اسیدی با pH کمتر از ۵ تشکیل داده است. بدین ترتیب، امکان پرورش بسیاری از محصولات زراعی در چنین خاکی وجود ندارد و به تبع آن توسعه کشاورزی و صنعت نیز در این منطقه با چالشی شدیدتر از کشورهای دیگر روبه‌روست. بنابراین خاک بهینه خاکی است که علاوه بر نگهداری و استقرار فیزیکی گیاه، امکان رشد، نمو و بروز کارکردهای لازم جهت حداکثر تولید را در درازمدت فراهم کند. اهداف

مدیریت خاک در کشاورزی پایدار عبارت است از: (۱) حفظ و بهبود ماده آلی خاک، (۲) به حداقل رساندن فرسایش خاک، و (۳) موازنه بین تولید محصول و سلامت خاک. تغییر عملیات کشاورزی در طول تاریخ به‌ویژه در چند دهه اخیر، که همراه با ورود نهاده‌های برون‌مزرعه‌ای نظیر ماشین‌ها و ادوات خاک‌ورزی و کودهای شیمیایی بوده، موجب آسیب‌های جدی به ساختار و کارکرد خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی شده است. خاک‌ورزی حفاظتی، کاشت گیاهان پوششی، وارد کردن بقایای گیاهی به داخل یا نگهداری آنها در سطح خاک، افزودن مواد آلی و سوزاندن بقایا، که به طور عام عملیات کشاورزی حفاظتی خوانده می‌شوند، در کشاورزی پایدار به منظور مقابله با پیامدهای منفی کشاورزی رایج به کار می‌روند.

در حالی که نظام‌های رایج کشاورزی برای حفظ و تقویت حاصلخیزی خاک عمدتاً به کودهای شیمیایی وابسته هستند، حاصلخیزی خاک در کشاورزی پایدار در وهله اول مرهون پویایی و حیات خاک است. ماده آلی خاک، مهم‌ترین عامل حفظ پویایی خاک است، زیرا با تأمین انرژی و مواد غذایی لازم برای مجموعه موجودات زنده خاک، از آنها حمایت و به استقرار جمعیت‌های باثبات این جانداران کمک می‌شود. طبیعی است که پس از استقرار این موجودات زنده، چرخه عناصر معدنی در خاک فعال و بدین ترتیب خاک در درازمدت قادر می‌شود میان ورودی و برون‌داد عناصر غذایی تعادل برقرار کند. علاوه بر این، ماده آلی موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز می‌شود. تحقیقات نشان داده است که افزایش ماده آلی خاک با بهبود نفوذپذیری آب خاک، تخلخل و وزن مخصوص ظاهری آن همراه است و در نهایت با کاهش فرسایش و فروسایش خاک به پایداری آن کمک قابل توجهی می‌کند.

کتاب حاضر با زبانی ساده و علمی به بررسی جامع نقش ماده آلی خاک در تولید گیاهان زراعی پرداخته است. پیشگفتار و نخستین فصل کتاب، ضمن مروری کوتاه بر کشاورزی فشرده رایج و معضلات آن، به کشاورزی پایدار به مثابه جایگزینی برای این سامانه‌های تولیدی کشاورزی اختصاص دارد. در فصل‌های بعدی، اصول و مفاهیم ماده آلی خاک و نقش آن در تأمین عناصر غذایی گیاهان زراعی و بهبود ویژگی‌های خاک بررسی می‌شود. در ادامه تأثیر عملیات مدیریتی کشاورزی بر ماده آلی خاک، تجزیه و

تحلیل و راهکارهای مدیریتی برای پایداری ماده آلی در خاک نظام‌های کشاورزی ارائه می‌شود.

مترجمان بر خود لازم می‌دانند از استاد ارجمند جناب آقای دکتر قربان نورمحمدی، ویراستار محترم علمی کتاب که با حوصله و صرف وقت بسیار متن ترجمه را بازخوانی و نکات ارزشمندی را یادآوری کردند، صمیمانه سپاسگزاری کنند. همچنین از استادان ارجمند آقایان دکتر مهدی نصیری محلاتی و دکتر اسکندر زند که متن را مطالعه کردند و نکات اصلاحی مفیدی را متذکر شدند قدردانی می‌شود. از همکاران ارجمند معاونت پژوهشی و مرکز انتشارات دانشگاه شهید بهشتی برای فراهم آوردن امکان انتشار این اثر سپاسگزاری می‌شود. همچنین به طور ویژه از همکار ارجمند سرکار خانم آذرمه سنجری به دلیل دقت نظر و حوصله فراوان در مراحل مختلف آماده‌سازی کتاب سپاسگزاریم. امید است مطالعه این کتاب برای دانشجویان مقاطع گوناگون رشته‌های کشاورزی، پژوهشگران و کشاورزانی که به طور مستقیم در تولید گیاهان زراعی فعالیت دارند مفید واقع شود. بی‌شک، ترجمه حاضر خالی از اشکال نیست. انتقادات و پیشنهادهای خوانندگان ارجمند، مایه سپاس مترجمان و موجب اصلاح کاستی‌ها در چاپ‌های بعدی کتاب خواهد شد.

عبدالمجید مهدوی دامغانی - رضا دیهیم فرد - رضا میرزایی تالارپشتی

گروه کشاورزی اکولوژیک

پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

تابستان ۱۳۸۶

پیشگفتار نویسندگان

کشاورزی فشرده باعث شده است ایالات متحد آمریکا بتواند نیازهای غذایی خود را تأمین کند؛ هر چند این امر پیامدهایی منفی نیز داشته است. بسیاری از خاک‌های ایالات متحد از آغاز کشاورزی در آنها، بین ۳۰ تا ۵۰ درصد ماده آلی خود را از دست داده‌اند. یکی از موارد حاد در این مورد خاک‌های آلی جنوب فلوریداست که تخلیه عناصر غذایی و خاک‌ورزی سنگین باعث تلفات شدید ماده آلی و در نتیجه نشست سه متری خاک آن شده است. از دوره تول (۱۷۴۱-۱۶۷۴)، کارشناس انگلیسی علوم کشاورزی و مخترع بذرکار، که به ستایش خاک‌ورزی یک‌دست و نقش آن در فراهم کردن بستر مناسب بذر پرداخت، تلاش‌های بسیاری برای ساخت و بهره‌برداری از ماشین‌ها و ادواتی صورت گرفته که بتوانند خاک را به طور کامل زیرو کرده یا با بقایای گیاهی مخلوط کنند. تولید و گسترش گاوآهن با تیغه‌های آهنی و در ادامه گاوآهن‌های برگردان‌دار و دیسک‌های فولادی باعث یکنواخت و برگرداندن کامل خاک شد. پیدایش گاوآهن با خیش‌گردان نیز به مخلوط‌شدن کامل خاک و بقایای گیاهی منتهی شد. درحالی‌که به‌کارگیری این تجهیزات در ابتدا تأثیر مثبتی در استخراج عناصر غذایی از ماده آلی خاک داشت، باعث کاهش شدید ماده آلی خاک نیز شد و به همین دلیل در کاربرد این ادوات باید تجدید نظر شود.

مزایای خاک‌ورزی فشرده در آغاز، از نظر کاهش فشردگی خاک سطحی و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی خاک، چنان قابل توجه و ارزشمند بود که از ورود ماشین‌آلات جدیدتر و در نتیجه اجرای بهتر این وظایف استقبال می‌شد. گاوآهن‌های نوظهور، خاک را سریع‌تر، عمیق‌تر، کامل‌تر و بهتر از قبل شخم می‌زدند. نکته تناقض آمیز، با توجه به اطلاعاتی که امروز از پیامدهای منفی خاک‌ورزی فشرده داریم، این است که هنوز هم در بسیاری از نظام‌های کشاورزی از چنین خاک‌ورزی‌های سنگین و فشرده‌ای استفاده می‌شود. این امر لزوم آموزش کشاورزان و تغییر افکار

عمومی جامعه کشاورزی را درباره آثار منفی خاک‌ورزی فشرده بر تلفات ماده آلی خاک – که در این کتاب به تفصیل بررسی می‌شود – خاطر نشان می‌کند.

نخستین اشاره‌ها به پیامدهای زیست‌محیطی منفی خاک‌ورزی در نوشته‌های اولیه هاوارد^۱ (وصیت‌نامه کشاورزی،^۲ ۱۹۴۳، دانشگاه آکسفورد، لندن) و فاکنر^۳ (حماقت‌های مردی که شخم می‌زند،^۴ دانشگاه اوکلاهوما) آمده است. مفهوم خاک‌ورزی کاهش‌یافته با هدف حفظ و افزایش ماده آلی و بهبود ساختمان خاک و نیز کاهش مصرف انرژی را پژوهشگران دانشگاه‌های ایالتی، وزارت کشاورزی ایالات متحد و مرکز تحقیقات رودیل^۵ (پنسیلوانیا) آغاز کردند. مجموع فعالیت‌های پژوهشی صورت‌گرفته در این مورد، استفاده از رهیافت‌های خاک‌ورزی حفاظتی و کاهش‌یافته را که بخشی از جامعه کشاورزی پذیرفته بود، تأیید و ترویج کرد. این تلاش‌ها به ظهور مفهوم کشاورزی حفاظتی^۶ به مثابه نظام پایدار تولید محصولات زراعی منتهی شد.

با گذشت زمان مفهوم کشاورزی حفاظتی فراتر از خاک‌ورزی حفاظتی توسعه یافت و به کار رفت. کشاورزی حفاظتی بیانگر سامانه‌ای تولیدی است که چنانچه به شکل مناسب به کار گرفته شود می‌تواند نظام‌های تولید محصولات زراعی را پایدار کند. این مفهوم در بردارنده فقط یک نوع عملیات یا روش نظیر خاک‌ورزی نیست، بلکه شامل تمام فعالیت‌ها و عملیات صورت‌گرفته در نظام زراعی است و کلیه برهمکنش‌های آن را مد نظر قرار می‌دهد. یکی از امتیازات مهم کشاورزی حفاظتی، تغییر مقدار و نوع خاک‌ورزی در نظام تولیدی است که به سهم خود تلفات ماده آلی خاک و عناصر غذایی و آب را همراه با هزینه نهاده‌های انرژی، زمان و نیروی کار در مقایسه با خاک‌ورزی رایج کاهش می‌دهد. در کشاورزی حفاظتی، امکان کاهش بالقوه فرسایش آبی و بادی، بهبود وضعیت آب خاک و خصوصیات و فرایندهای زیستی، شیمیایی و فیزیکی آن و کیفیت محیط زیست وجود دارد. به علاوه، در کشاورزی حفاظتی، سامانه تولیدی در حکم مخزن دی‌اکسیدکربن عمل می‌کند و باعث کاهش انتشار گازهای آلاینده در جو می‌شود.

با وجود پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای که در زمینه کشاورزی حفاظتی صورت گرفته است، هنوز باید تلاش‌های بسیاری انجام داد تا حفظ ماده آلی خاک در این

1. Howard

2. *The Agricultural Testament*

3. Faulkner

4. *Plowman's Folly*

5. Rodale

6. *Conservative Agriculture*

نظام‌ها سنگ بنای کشاورزی پایدار و تولید غذا و پوشاک کافی برای نسل حاضر و نسل‌های آینده شناخته شود. باید سطح زیر کشت زمین‌هایی را که از خاک‌ورزی کاهش یافته استفاده می‌کنند و همچنین اضافه کردن مواد آلی اولیه یا بقایای گیاهی را به داخل یا سطح خاک به شکل خاکپوش^۷ افزایش داد. در کنار این روش‌ها، باید از برخی نهادهای فشرده (نظیر کودهای شیمیایی‌ای که به سرعت آزاد می‌شوند و آفت‌کش‌هایی که آفات را کنترل و نه ریشه‌کن می‌کنند) نیز برای جبران محدودیت‌های مواد آلی در تأمین عناصر غذایی کافی و کنترل بهینه آفات استفاده کرد.

بخش زنده خاک نقش بسیار مهمی در بسیاری از فرایندهایی دارد که دسترسی و بازیافت عناصر غذایی و آب را کنترل می‌کند و بدین ترتیب بر تولید نظام‌های کشاورزی اثر می‌گذارد. بقایای گیاهی و مواد آلی خاک، منابع غذایی اصلی موجودات زنده خاک هستند و بنابراین باید به شکلی پایدار مدیریت شوند. بخش زنده خاک با گذشت زمان وظایفی را که از دیرباز بر عهده خاک‌ورزی بود بر عهده گرفته است که از آن جمله می‌توان به از بین بردن سختی بافت خاک و مخلوط کردن آن با بقایای گیاهی اشاره کرد. خلل و فرجی که در خاک بر اثر حرکت موجودات زنده آن شکل گرفته، مسیر حرکت هوا و آب است که نقش مهمی در تولید محصولات زراعی دارد. به علاوه، افزایش فعالیت زیستی خاک با انباشت ماده آلی باعث ثبات ساختمان خاک می‌شود. خاک‌ورزی سنگین و فشرده باعث از بین رفتن یکپارچگی بوم‌شناختی خاک و محدود کردن کارایی ریزموجودات خاک‌زی در چرخه عناصر غذایی می‌شود. بنابراین، مطلوب‌ترین روش خاک‌ورزی، کنار گذاشتن مطلق آن است تا بدین وسیله لایه‌ای از برگ، ساقه و کاه و کلش از محصول قبلی در سطح خاک باقی بماند و ماده آلی خاک افزایش یابد.

ما علاوه بر درک چگونگی حفظ ماده آلی خاک و تأثیر مثبت و مستقیم آن بر بهبود ویژگی‌های محیط، باید به درک مناسبی از آثار سودمند ثانویه زیست‌محیطی ناشی از مواد آلی خاک و تأثیر آن بر تولید محصولات کشاورزی نیز دست یابیم. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که برای به حداقل رساندن پیامدهای زیست‌محیطی خاک‌ورزی، باید میزان اختلال در خاک را به حداقل رساند و فقط

7. Mulch

قسمتی از خاک را شخم زد که در تهیه بستر بذر نقش دارد و قسمت‌های دیگر خاک باید به شکل دست‌نخورده باقی بماند تا آب و ماده آلی آن حفظ شود و فرسایش و تلفات دی‌اکسیدکربن به حداقل ممکن کاهش یابد. افزایش مواد آلی خاک باعث بهبود نفوذپذیری خاک و باروری آن، کیفیت آب و در نهایت کیفیت محیطی و کاهش فرسایش بادی و آبی، فشردگی خاک، انتشار دی‌اکسیدکربن و حرکت آفت‌کش‌ها در خاک می‌شود. قرار دادن مدیریت مواد آلی خاک در برنامه‌های حفاظت محیطی حاکی از نگرانی‌های جامعه جهانی در مورد منابع طبیعی کره زمین است. در میان گذاشتن این نگرانی‌ها با افکار عمومی، درک مردم را از مسئولیت بخش کشاورزی در حفظ این منابع افزایش خواهد داد. کشاورزی با بهره‌گیری از رهیافت خاک‌ورزی کاهش‌یافته در راستای مصالح اجتماع حرکت می‌کند و علاوه بر تأمین غذای انسان‌ها نگاهبان کره زمین نیز خواهد بود. گام بعدی در این راه، اطلاع‌رسانی به افکار عمومی در مورد منافع و هزینه‌های روش‌های حفاظتی است. در کتاب حاضر توصیه می‌شود که از رهیافت تلفیقی برای افزایش ماده آلی خاک استفاده شود. این رهیافت شامل دو مرحله است: (۱) افزودن مواد آلی به خاک به شکل پرورش کود سبز یا گیاه پوششی در خاک و کاربرد چرخه (تناوب) زراعی یا آوردن مواد آلی از مناطق دیگر در جهت افزایش ماده آلی خاک؛ و (۲) استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی به منظور جلوگیری از دفن مواد آلی یا تجزیه آنها به علت قرار گرفتن در معرض هوای خاک و تجزیه‌کنندگان آن. افزودن مواد آلی کافی به خاک به منظور دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی، مهم‌ترین هدف درازمدت مدیریت پایدار خاک، کشاورزی و محیط زیست است.

داده‌های پژوهشی مربوط به دستاوردهای مثبت افزودن مواد آلی، استفاده از خاکپوش، فراهم کردن مواد غذایی مورد نیاز، کنترل آفات و تأمین ماشین‌آلات مناسب بذرکاری که با نظام خاک‌ورزی کاهش‌یافته سازگار باشد، نقش مهمی در پذیرش رهیافت تلفیقی پیش‌گفته دارد. دانشمندان باید رهبران اجتماعی و سیاسی را در مورد پذیرش عملیات حفاظتی به چالش بکشانند و آنها را توجیه کنند که کشاورزی حفاظتی با افزایش تولید غذا، پوشاک و سوخت‌های زیستی، ضمن برآوردن نیازهای انسان، از بوم‌نظام‌های طبیعی حفاظت می‌کند و کیفیت هوا، خاک، آب و در نتیجه کیفیت زندگی

ما را بهبود می‌بخشد. تلاش نویسندگان کتاب حاضر در بررسی مزایای خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بهبود و مدیریت مواد آلی خاک قابل تقدیر است.

دانلد ریکوسکی^۸

خاک‌شناس وزارت کشاورزی ایالات متحد آمریکا
آزمایشگاه مرکز تحقیقات حفاظت خاک شمال، مینه‌سوتا

8. Donald Reicosky

پیش درآمد

زمین‌های زراعی متروک افتاد. مزارع شنی جنوب فلوریدا زمانی علفزارهایی بود که گله‌های بزرگ گاو در آن چرا می‌کردند. با ظهور نیشکر، که درآمد بیشتر و باثبات‌تری را برای کشاورزان به همراه آورد، زمین‌ها به کشت محصولی اختصاص یافت که بخش زیادی از اندام‌های هوایی آن سوزانده یا خرد و از مزرعه خارج می‌شد و بخش ناچیزی از آن به شکل ماده آلی به خاک بازمی‌گشت. طی چند سال، با وجود کاربرد مناسب ارقام زراعی، آبیاری، کودها و آفت‌کش‌ها عملکرد چنان کاهش یافت که کشت نیشکر دیگر مقرون به صرفه نبود. زمین‌های زراعی متروک افتاد.

کشاورزان دوباره به برنج روی آوردند، محصولی که باروری مجدد زمین را تأمین می‌کند. مزارع به زیر کشت برنج رفت و ماه‌ها غرقاب بود. تلفات ماده آلی خاک که ناشی از نظام غرقاب بود به طور مرتب کنترل می‌شد. در محصول برنج این فقط دانه بود که از مزرعه خارج می‌شد. بقایای گیاهی با دیسک به خاک بازگردانده و به این ترتیب مقدار زیادی ماده آلی برای خاک تأمین می‌شد. دوباره امکان کشت نیشکر فراهم شد و تناوب برنج و نیشکر به تناوب زراعی استاندارد برای تأمین و حفظ باروری این خاک‌ها تبدیل شد.

در حالی که تولید گیاهان زراعی طی قرن بیستم به دلیل پیدایش عملیات و روش‌های نوین کشاورزی فشرده افزایش یافت، از مقدار ماده آلی خاک در اغلب این نظام‌ها به شکل قابل توجهی کاسته شد. این تلفات موجب دشوارتر شدن کشاورزی شد و بدین ترتیب نیاز به کاربرد هر چه بیشتر عملیات کشاورزی فشرده افزایش یافت. با این حال، امروزه آگاهی نسبت به اهمیت ماده آلی خاک در تولید گیاهان زراعی و جلوگیری از افزایش بی‌رویه دی‌اکسیدکربن جوّی افزایش یافته است. در این کتاب درباره عوامل مؤثر بر ماده آلی خاک، پیامدهای تلفات آن و مزایای افزایش آن بحث و بررسی می‌شود. به علاوه، روش‌های افزایش ماده آلی خاک، که سازگار با نظام‌های نوین

کشاورزی است، نیز در این کتاب بررسی می‌شود. پژوهش‌های جدید در کشاورزی پایدار نشان می‌دهد که دستیابی به پایداری نظام‌های کشاورزی امر بسیار دشواری است، مگر آنکه باروری خاک یکی از اجزای اصلی برنامه تولید محصولات کشاورزی تلقی شود. در برنامه‌های گوناگون کشاورزی جایگزین کاملاً آشکار شده است که نمی‌توان، حداقل در کوتاه‌مدت، به اهداف کشاورزی پایدار دست یافت، مگر آنکه ماده آلی به مقدار کافی وارد نظام تولید و از این مواد به شکل بهینه استفاده شود.

برای روشن شدن مطلب بهتر است بین ماده آلی‌ای که به‌تازگی وارد خاک شده و اجزای آن هنوز قابل شناسایی است و آن دسته از مواد آلی که کاملاً تجزیه شده و دیگر قابل شناسایی نیست – و با عنوان کلی ماده آلی خاک شناخته می‌شود – تفاوت قائل شد. دسته دوم موادی هستند که از منابعی کاملاً متفاوت و گوناگون وارد خاک و تجزیه شده‌اند و به ترکیب تقریباً همگنی تبدیل شده‌اند که به آن هوموس می‌گوییم. با وجود اینکه ثبات هوموس بیش از مواد آلی‌ای است که از آن به دست می‌آید، ماهیت هوموس نیز بی‌ثبات است و تجزیه آن در حضور مقدار زیادی اکسیژن و رطوبت بالا و دمای بالای محیط تشدید می‌شود. فرمول شیمیایی هوموس، بدون توجه به منشأ آن و ظاهر یکسانی که تمام هوموس‌ها دارند، تعیین نشده است که احتمالاً ناشی از تنوع بالای آن به دنبال تجزیه شیمیایی است.

نویسندگان کتاب حاضر سال‌هاست که در نوشته‌های گوناگون خود بر لزوم افزایش ماده آلی خاک برای پایداری درازمدت تولید گیاهان زراعی تأکید می‌کنند. اهمیت ماده آلی خاک از آغاز فعالیت تخصصی نویسنده ارشد بر وی آشکار بوده است. وی اندکی پس از آغاز به کار در سیبروک فارم کمپانی در جنوب نیوجرسی در سال ۱۹۴۱، به دنبال یافتن دلیل این امر بود که چرا در نیمی از موارد در یکی از قسمت‌های حدود ۲۵۰۰ هکتاری کشت سبزیجات این مزرعه ۳۷۰۰۰ هکتاری، عملکرد کاهش می‌یابد. این کاهش عملکرد عمدتاً در خاک شنی لومی و در منطقه‌ای مشاهده شد که مدت طولانی به کشت فشرده سبزیجات اختصاص داشت. بخش عمده‌ای از این مزرعه به شکل نظام مخلوط دام (بیشتر گاو شیری) و غلات دانه‌ریز و تولید سیب‌زمینی اداره می‌شد. قدیمی‌ترین بخش این مزرعه حدود ۳۰ سال زیر کشت سبزیجات بود، درحالی‌که بخش‌های جدیدتر طی ۵ تا ۱۰ سال پیش به نظام‌های فشرده تولید تبدیل شده بود.

تا اواخر دهه ۱۹۲۰، به گیاهان زراعی بخش قدیمی مزرعه مقدار زیادی کود اسب داده می‌شد که از اصطبل در فیلادلفیا به فاصله ۴۸ کیلومتری مزرعه تأمین می‌شد. عملکرد و کیفیت سبزیجات تولیدی عالی بود و این روند تا چند سال پس از قطع کاربرد کود اسبی ادامه داشت. با وجود افزایش کاربرد کود [شیمیایی]، عملکرد سبزیجات از دهه ۱۹۳۰ کاهش یافت و تلفات شدید عملکرد از اواسط این دهه مشاهده شد. این تلفات عملکرد به‌ویژه زمانی که هنگام رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه زراعی اصلی (نخود انگلیسی) تنش خشکی رخ می‌داد شدیدتر بود.

آزمایش‌های مکرر خاک نشان داد که تنها تفاوت این بخش از مزرعه، که با کاهش عملکرد مواجه بود، با بخش جدید مزرعه، که چنین مشکلی نداشت، این است که مقدار ماده آلی بخش قدیمی مزرعه حدود یک درصد و گاه کمتر بود، درحالی‌که این عدد در بخش جدید مزرعه ۱/۳ تا ۲/۰ و میانگین آن ۱/۵ درصد بود.

چنین فرض شد که بخش عمده‌ای از کاهش عملکرد گیاهان زراعی در این خاک‌ها که ماده آلی پایینی دارند به دلیل روابط ضعیف آب است که معمولاً در این خاک‌ها دیده می‌شود، زیرا مقدار عناصر غذایی خاک این منطقه مانند سایر بخش‌های مزرعه بود. کاهش عملکرد محصولات زراعی با آبیاری گیاه تا حد زیادی کاهش یافت.

به‌علاوه، به نظر می‌رسید تلفات عملکرد گیاهان زراعی در این بخش از مزرعه پیش از ورود نظام‌های آبیاری، به دلیل کاربرد کم گیاهان پوششی، نیز تشدید شده بود. اندکی پس از قطع مصرف کود اسبی، یک آزمایش دوساله به منظور مطالعه نقش گیاهان پوششی برای جایگزینی کود اسب در این مزرعه انجام شد. متأسفانه، فقط از دو گیاه چاودار یا گاورس یک‌ساله، که هر دو غیر بقولات هستند، برای گیاه پوششی استفاده شد که تولید ماده خشک این دو گیاه به دلیل زمان کوتاه برای رشد آنها بسیار اندک بود. این دو گیاه پوششی در اواخر اکتبر یا اوایل نوامبر و پس از برداشت اسفناج و کلم بروکلی پاییزه کشت شد و در ماه مارس و پیش از کشت نخود به خاک بازگردانده شد. از آنجا که نتایج آزمایش حاکی از تفاوت نداشتن عملکرد سبزیجات در شرایط کاربرد و عدم کاربرد گیاه پوششی بود، استفاده از گیاهان پوششی در این مزرعه به‌طور کلی به فراموشی سپرده شد. به نظر می‌رسد پیامدهای منفی قطع به‌کارگیری گیاهان پوششی برای گیاهانی که در بخش قدیمی مزرعه با ماده آلی کم کشت می‌شد

بیش از گیاهانی بود که در بخش جدید مزرعه با ماده آلی زیاد پرورش می‌یافت، و علت آن هم فرسایش شدیدتر خاک در بخش قدیمی مزرعه و در نتیجه کاهش شدیدتر عملکرد در این منطقه بود.

این آزمایش، تجربیات ارزنده‌ای به همراه داشت. یکی از دستاوردهای آن، لزوم توجه به حفظ و بهبود ماده آلی خاک برای دستیابی به پایداری درازمدت عملکرد گیاهان زراعی بود. تجربه نشان داده است که ناتوانی در این امر هزینه‌های بالایی به دنبال دارد. به‌علاوه، هزینه واقعی این امر ممکن است در کوتاه‌مدت آشکار نشود، زیرا تلفات ماده آلی خاک با چنان روند کندی به پیش می‌رود که اثر آن سال‌ها بعد پدیدار می‌شود.

یکی دیگر از تجربیات کمابیش مشابه، به کاهش شدید عملکرد خربزه در گواتمالا پس از شش سال کشت پیوسته این محصول در نظام بسیار فشرده همراه با کاربرد خاکپوش پلاستیکی، متیل بروماید به عنوان ماده دوددهنده و کاربرد کود مایع همراه با آبیاری قطره‌ای مربوط است. نخستین نشانه پیدایش مشکل، حرکت دشوار آب آبیاری (همراه با کود مایع) در بستر ردیف کاشت بود. در اینجا هم بخش عمده‌ای از مشکل به ویژگی‌های خاک نسبت داده شد که فقط حدود یک درصد ماده آلی داشت. در آغاز بهره‌برداری از نظام کشت فشرده، عملکرد خربزه عالی و مقدار ماده آلی خاک حدود ۲ درصد بود. به دنبال کاربرد گیاهان پوششی (عمدتاً سورگوم) در بین ردیف‌های کاشت خربزه، عملکرد تا حد زیادی افزایش یافت.

در مثالی دیگر و در جنوب ایالات متحده، بستر زمین گلف که از شن درشت و متوسط بافت تشکیل شده است، زیر کشت چمن آفریقایی قرار می‌گیرد و این گیاه به دلیل داشتن ساقه زیرزمینی و ساقه خزنده به سرعت سطح خاک را می‌پوشاند (شکل ۱). هنگامی که به خاک بستر چمن هیچ ماده آلی اضافه نشود، رشد چمن بسیار کند می‌شود. اما با افزودن تنها ۰٫۵ یا یک درصد (وزنی) ماده آلی (پیت اسفنگنوم) به خاک، رشد چمن به شدت تسریع می‌شود. وجود مقدار اندکی ماده آلی در خاک بستر، رشد چمن آفریقایی را به طور آشکار افزایش می‌دهد.

طی فعالیت‌های ترویجی نویسنده ارشد در ۵۰ سال گذشته، نسبت گیاهان زراعی که عملکردشان به دلیل کمبود ماده آلی خاک با کاهش مواجه شده، افزایش یافته است. بدون در نظر گرفتن مشکلات ناشی از آفات می‌توان گفت معضلات ناشی از کمبود یا

زیادبود عناصر غذایی، pH نامطلوب خاک و انباشت نمک‌ها از مهم‌ترین مسائل نظام‌های کشاورزی به شمار می‌رود. به نظر می‌رسد که این مشکلات، احتمالاً به دلیل تغذیه بهتر گیاه زراعی و کنترل pH خاک از طریق تجزیه خاک و گیاه، در حال حاضر کمتر شده باشد. با این حال به نظر می‌رسد مشکلات ناشی از کمبود ماده آلی خاک در حال افزایش است. مشکلاتی که به اعتقاد نگارندگان به کمبود ماده آلی خاک مربوط می‌شود عبارتند از: (۱) فشردگی خاک؛ (۲) نفوذ، نگهداری و حرکت ضعیف آب در خاک؛ و (۳) افزایش بیماری‌های خاک‌زاد.

مثال‌های دیگری نیز در ارتباط با نقش کمبود ماده آلی در افت عملکرد گیاهان زراعی در فصل‌های گوناگون کتاب و متناسب با موضوعات آن فصل ارائه شده است، اما باید توجه داشت که تأکید نگارندگان در این کتاب، اهمیت مقدار کافی ماده آلی در خاک است و نه پیامدهای کمبود آن بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی. فصل اول این کتاب اختصاص به مشکلات کشاورزی فشرده و روش‌های اصلاح آنها و همچنین جایگاه ماده آلی در پایداری خاک و نظام کشاورزی دارد. مفاهیم بنیادی ماده آلی در فصل دوم بررسی می‌شود. اهمیت کافی بودن مقدار ماده آلی در خاک در فصول بعدی بحث و بررسی می‌شود: ارزش ماده آلی اولیه و ماده آلی خاک در تأمین عناصر غذایی در فصل ۳؛ نقش این مواد در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و تأثیر آنها بر نفوذپذیری، نگهداری و حرکت آب در خاک و نیز آثار آن بر فرسایش در فصل ۴؛ و حفظ موجودات زنده و فرایندهای زیستی خاک در فصل ۵. منابع ماده آلی اولیه موضوع فصل‌های ۶ و ۷ است. بیشینه‌سازی اثر ماده آلی در دو فصل بعدی می‌آید که مربوط به خاکپوش (فصل ۸) و خاک‌ورزی حفاظتی (فصل ۹) است سازگاری عملیات کشاورزی با خاک‌ورزی کاهشی و حفاظتی در فصل ۱۰ بررسی می‌شود. در فصل آخر (۱۱) درباره امکان تلفیق افزودن ماده آلی خاک با استفاده از خاکپوش و کاربرد خاک‌ورزی حفاظتی و تغییرات مورد نیاز در عملیات کشاورزی برای گذار به نظام حفاظتی و افزودن ماده آلی خاک بحث و بررسی می‌شود. در این فصل مشخص می‌شود که اگر بتوانیم از حداکثر ماده آلی استفاده کنیم و به بهترین شکل خاکپوش و خاک‌ورزی حفاظتی را به کار گیریم و تا حدی نیز از نهاده‌های فشرده مانند کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی بهره گیریم، احتمال موفقیت نظام‌های کشاورزی در دستیابی به پایداری درازمدت و تأمین غذای کافی برای جمعیت روبه‌رشد جهانی بسیار زیاد خواهد بود.

کتاب حاضر برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی علوم خاک، تولیدات گیاهی، زراعت و باغبانی بسیار مفید است. به علاوه، اطلاعات ارزشمندی را در اختیار کشاورزانی قرار می‌دهد که به دنبال حفظ تولید در درازمدت با استفاده از رهیافت‌های زیست‌محیطی هستند. این کتاب کمک‌های ارزنده‌ای نیز در اختیار کارشناسان ترویج و مشاوران کشاورزی و بازرگانان محصولات غذایی قرار می‌دهد که به این مباحث علاقه‌مندند و نیز کشاورزانی که می‌خواهند از رهیافت‌های ارائه‌شده در این کتاب در درازمدت استفاده کنند.