



Food and Agriculture Organization  
of the United Nations



# کربن آلی خاک ظرفیت پنهان

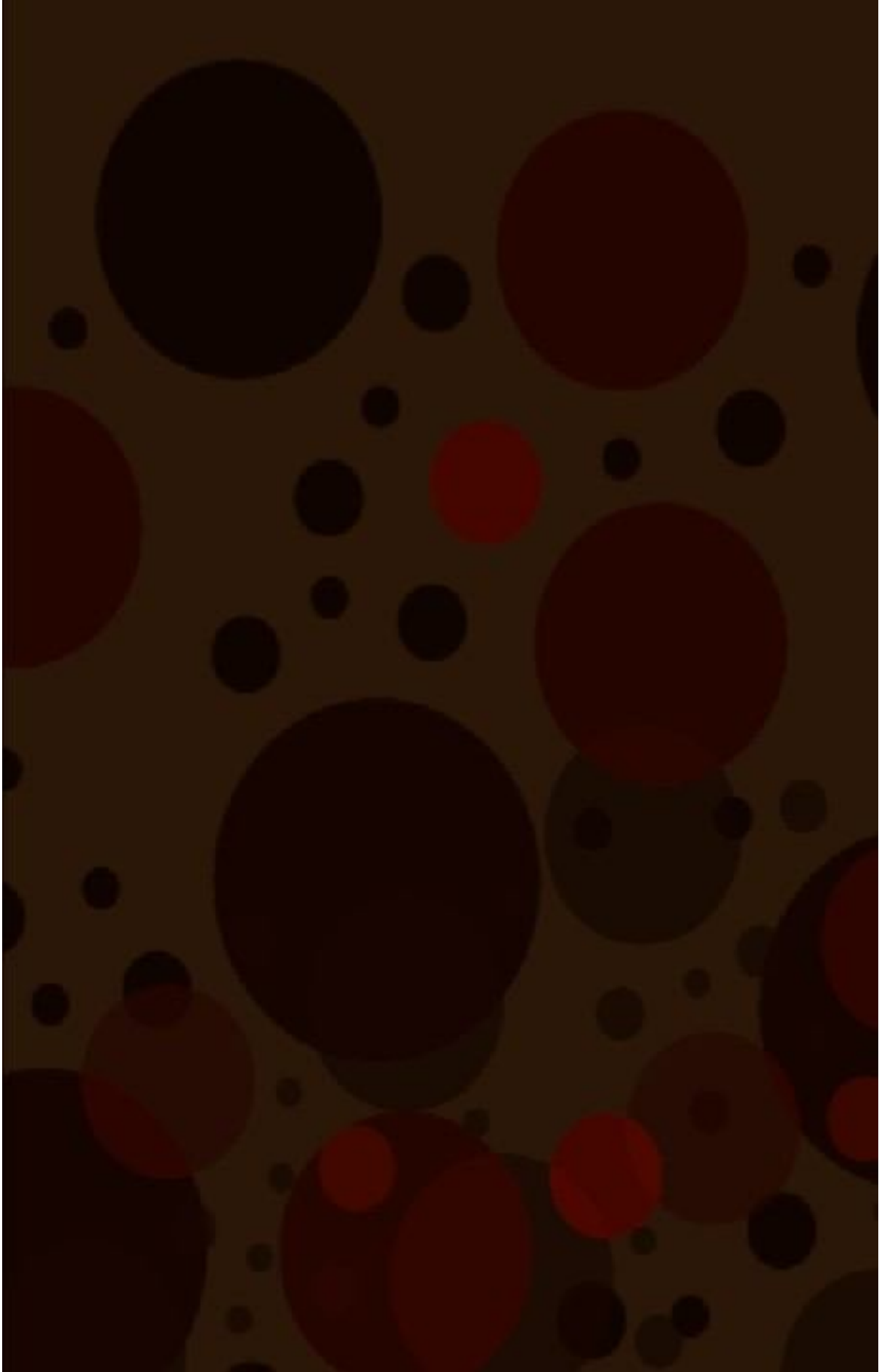
مترجمین

فرهاد مشیری  
مریم سبطی  
زهرا زیبایی

۱۴۰۲







# گرین آلی خاک

## ظرفیت پنہان

نویسندگان

کلارا لوور

فاطمہ رکیک

ویریدیانہ آلکانترا

و لیزل ویز

مترجمین

فرہاد مشیری

مریم سبطی

زہرا زبانی



**کربن آلی خاک**

**ظرفیت پنهان**

Published by arrangement with the  
Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)  
by the  
Soil and Water Research Institute – Islamic Republic of Iran

منتشر شده با تنظیمات سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO)

توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب – جمهوری اسلامی ایران

سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد

م، 2017



سازمان اسناد و کتابخانه ملی  
جمهوری اسلامی ایران

عنوان و نام پدیدآور	: کربن آلی خاک، ظرفیت پنهان/ کلارا لوور ... [ و دیگران]؛ مترجمین فرهاد مشیری، مریم سبطی، زهرا زیبایی؛ ویراستار علمی ناصر دواتگر؛ ویراستار ادبی زهرا محمدی.
مشخصات نشر	: کرج: موسسه تحقیقات خاک و آب، 1402.
مشخصات ظاهری	: ه، 103 ص: مصور (رنگی).
شابک	: 978-622-6705-32-5
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Soil Organic Carbon: The Hidden Potential, 2017.
یادداشت	: کلارا لوور، فاطما رکیک، ویریدیانا آلکانترا، لیزل ویز.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: خاک -- کربن Soils -- Carbon content کربن گیری و ذخیره سازی کربن Carbon sequestration
شناسه افزوده	: لوفور، کلارا
شناسه افزوده	: Lefevre, Clara :
شناسه افزوده	: مشیری، فرهاد، 1354 - مترجم
شناسه افزوده	: سبطی، مریم، 1360 - مترجم
شناسه افزوده	: زیبایی، زهرا، 1367 - مترجم
شناسه افزوده	: دواتگر، ناصر، 1339 - ویراستار
شناسه افزوده	: Davatgar, Naser :
شناسه افزوده	: موسسه تحقیقات خاک و آب
شناسه افزوده	: Soil & water research institute :
رده بندی کنگره	: S591 :
رده بندی دیویی	: 631/4 :
شماره کتابشناسی ملی	: 9276773 :
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا

#### مشخصات اثر

**عنوان: کربن آلی خاک، ظرفیت پنهان**

**نویسنده:** کلارا لوور، فاطما رکیک، ویریدیانا آلکانترا و لیزل ویز

**مترجمین:** فرهاد مشیری، مریم سبطی و زهرا زیبایی

**ناشر:** موسسه تحقیقات خاک و آب

**لیتوگرافی، چاپ و صحافی:** انتشارات سنا

**ویراستار علمی:** ناصر دواتگر

**ویراستار ادبی:** زهرا محمدی

**صفحه آرا:** سمانه پورمنصور

**طراح جلد:** راضیه محمدی

**شابک:** 978-622-6705-32-5

**سال انتشار:** 1402

این اثر با شماره 3140219 در تاریخ 1402/6/11 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت

رسیده است.

**حق چاپ برای ناشر محفوظ است.**

**نشانی:** کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب

**کد پستی:** 3177993545

**صندوق پستی:** 311-31785

**تلفن:** 026-36201900

**نمبر:** 02636210121

**پست الکترونیکی:** info@swri.ir

**وبسایت:** http://www.swri.ir

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

این ترجمه توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) انجام نشده است. فائو در قبال محتوا و یا صحت این ترجمه مسئولیتی ندارد. نسخه اصلی انگلیسی نسخه معتبر خواهد بود.

ارجاع به کتاب:

FAO 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy

نامگذاری‌ها استفاده شده و ارائه مطالب در این کتاب به معنای بیان عقاید از سوی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) در مورد وضعیت حقوقی یا توسعه هر کشور، قلمرو، شهر یا منطقه یا مقامات آن و یا تعیین حدود مرزهای آن نیست. ذکر نام شرکت‌ها خاص و یا محصولات تولیدکنندگان، خواه ثبت اختراع شده و یا نشده باشند، به معنای تأیید و یا توصیه آن‌ها توسط فائو نسبت به دیگر موارد مشابه که یاد نشده نیست. نظرات بیان شده در این کتاب نظر نویسنده (گان) است و لزوماً منعکس کننده نظرات و یا سیاست‌های فائو نیست.

ISBN 978-92-5-109681-9

© FAO, 2017



برخی از حقوق برای این کتاب محفوظ است. این اثر با مجوز Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 IGO) در دسترس است. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/legalcode>)

بر اساس شرایط این مجوز، این اثر می‌تواند برای اهداف غیرتجاری کپی، توزیع دوباره و یا استفاده شود، به شرط آنکه به شکل مناسب به آن ارجاع داده شود. در هر گونه استفاده از این کتاب، هیچ پیشنهادی مبنی بر تأیید FAO از سازمان، محصولات و یا خدمات ویژه‌ای وجود ندارد. استفاده از آرم FAO مجاز نیست. اگر از این کتاب استفاده شده باشد می‌بایست با همان مجوز Creative Commons و یا معادل آن مجوز داشته شود. اگر این اثر ترجمه شود، می‌بایست در آن به سلب مسئولیت زیر به همراه ارجاع موردنیاز اشاره شده باشد: "این ترجمه توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) انجام نشده است. فائو در برابر محتوا و یا درستی این ترجمه مسئولیتی ندارد. نسخه اصلی انگلیسی نسخه معتبر خواهد بود."

اختلافات ناشی از مجوز که نمی‌توانند به شکل مسالمت‌آمیز حل و فصل شوند، با میانجیگری و داوری به شرح ماده 8 مجوز حل می‌شوند، مگر در موارد دیگری که در اینجا یادآوری شده است. قوانین میانجیگری قابل اجرا، قوانین میانجیگری سازمان جهانی مالکیت فکری (<http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules>) خواهد بود و هرگونه داوری بر پایه قوانین داوری کمیسیون حقوق تجارت بین الملل سازمان ملل متحد (United Nations Commission on International Trade Law=UNCITRAL) انجام خواهد شد.

مطالب شخص ثالث. کاربرانی که مایل به استفاده دوباره از مطالب این کتاب مانند جداول، شکل‌ها یا تصاویر، هستند که به شخص ثالث نسبت داده می‌شود، مسئولیت تعیین نیاز به استفاده دوباره از آن و یا گرفتن اجازه از دارنده حق چاپ را بر عهده دارند. خطر ادعاهای ناشی از نقض هر جز متعلق به شخص ثالث در کتاب تنها به عهده کاربر است.

فروش، حقوق و صدور مجوز. محصولات اطلاعاتی FAO در وب سایت ([www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)) در دسترس هستند و می‌توان آن‌ها را از آدرس: [Publications-sales@fao.org](mailto:Publications-sales@fao.org) خریداری کرد. درخواست‌های استفاده تجاری باید از آدرس: [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request) ارسال شوند. همچنین پرسش‌های مربوط به حقوق و صدور مجوز باید به آدرس [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org) ارسال شوند.

عکس‌های روی جلد: © FAO/Nicoletta Forlano



## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

أ.....	خلاصه اجرایی.....
د.....	سپاسگزاری.....
ه.....	کلمات اختصاری.....
2.....	1-1. کربن آلی خاک: بخش حیاتی چرخه جهانی کربن.....
5.....	2-1. کربن آلی خاک: بخشی از ماده آلی خاک.....
8.....	3-1. خاک: منبع و مخزنی برای گازهای گلخانه‌ای کربنی.....
9.....	1-3-1. دی‌اکسیدکربن (CO <sub>2</sub> ).....
10.....	2-3-1. متان (CH <sub>4</sub> ).....
11.....	4-1. ترسیب کربن آلی خاک.....
16.....	1-2. دستیابی به اهداف توسعه پایدار.....
17.....	2-2. کربن آلی خاک و تنوع زیستی.....
17.....	1-2-2. اهمیت تنوع زیستی خاک.....
19.....	2-2-2. کاهش تنوع زیستی خاک.....
20.....	3-2. کربن آلی خاک، تولید غذا و تامین آب.....
20.....	1-3-2. حاصلخیزی خاک به منظور تولید غذا.....
21.....	2-3-2. تاثیر کربن آلی خاک بر ظرفیت نگهداری آب و تخلخل خاک.....
22.....	4-2. اثرات تغییر اقلیم بر کربن آلی خاک.....
22.....	1-4-2. اثرات افزایش دما و بارندگی بر ذخیره مواد آلی خاک.....
24.....	2-4-2. اثرات افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر.....
25.....	3-4-2. اطمینان نداشتن از واکنش یا پاسخ کربن آلی خاک به تغییر اقلیم.....
28.....	5-2. اهمیت مواد آلی خاک در چارچوب بین‌المللی کاهش و سازگاری با تغییرات اقلیمی.....
32.....	1-3. وضعیت کنونی ذخایر جهانی کربن آلی خاک.....

- 2-3. مناطق با ذخایر عمده و ناچیز کربن آلی خاک: مناطق اصلی برای توجه و رسیدگی ..... 34
- 1-2-3. خاک‌های سیاه ..... 34
- 2-2-3. خاک‌های یخ زده دائمی ..... 35
- 3-2-3. پیتزارها ..... 36
- 4-2-3. مراتع ..... 37
- 5-2-3. خاک‌های جنگلی ..... 38
- 6-2-3. اراضی خشک ..... 39
- 1-4. اندازه‌گیری، گزارشدهی و اعتبارسنجی (MRV) ..... 42
- 1-1-4. MRV چیست و به چه منظور استفاده می‌شود؟ ..... 42
- 2-1-4. راهنمای گزارش کربن آلی خاک در فهرست ملی گازهای گلخانه‌ای ..... 44
- 1-2-1-4. استفاده از جدول کاربری اراضی و تغییرات آن ..... 45
- 2-2-1-4. محاسبات مختلف برای انواع خاک‌ها ..... 45
- 3-2-1-4. سطوح مختلف اطلاعات: استفاده از روش سطوح درجه‌بندی شده ... 47
- 2-4. اندازه‌گیری و پایش کربن آلی خاک ..... 48
- 1-2-4. اندازه‌گیری کربن آلی خاک ..... 48
- 1-1-2-4. روش‌های اندازه‌گیری مقدار کربن آلی خاک ..... 48
- 2-1-2-4. محاسبه ذخیره کربن آلی خاک ..... 49
- 3-1-2-4. عوامل مهم مدنظر در محاسبات ذخیره کربن آلی خاک ..... 51
- 4-1-2-4. تعمیم داده‌های کربن آلی خاک ..... 53
- 5-1-2-4. پایش تغییرات ذخایر کربن آلی خاک در طول زمان ..... 53
- 6-1-2-4. شبکه پایش خاک ..... 54
- 2-2-4. چالش‌های اندازه‌گیری و پایش کربن آلی خاک ..... 55
- 3-2-4. بازبینی و واری برآوردهای ذخیره کربن آلی خاک ..... 57
- 1-5. مدیریت کربن آلی خاک برای تولید پایدار غذا ..... 60
- 2-5. مدیریت کربن آلی خاک برای کاهش و سازگاری تغییرات اقلیمی ..... 61
- 3-5. چالش‌های ترسیب کربن آلی خاک ..... 65
- 1-3-5. موانع پذیرش اقدامات کاهش و سازگاری با تغییرات اقلیمی ..... 65
- 1-1-3-5. موانع مالی ..... 65
- 2-1-3-5. موانع فنی و سازماندهی ..... 66

- 67.....3-1-3-5. موانع نهادی
- 68.....4-1-3-5. موانع اطلاعاتی
- 69.....5-1-3-5. موانع مرتبط با منابع
- 70.....6-1-3-5. موانع اجتماعی - فرهنگی
- 72.....2-3-5. عوامل محدودکننده غیر انسانی ترسیب کربن آلی خاک: عوامل غیر زیستی
- 96.....پیوست‌ها
- 96.....پیوست 1: روش‌های اصلی تعیین مقدار کربن آلی خاک
- 98.....پیوست 2: نمونه‌هایی از نظام‌های موجود پایش ملی کربن آلی خاک (غیر کامل)

## فهرست نکته‌ها

صفحه

عنوان

---

- نکته 1. حساسیت مناطق با ذخیره عمده و ناچیز کربن آلی خاک به تغییرات اقلیمی 26
- نکته 2. قراردادهای و تصمیمات کلیدی در رابطه با تغییرات اقلیمی با در نظر گرفتن ملاحظات خاکی ..... 29
- نکته 3. محاسبه ذخیره کربن آلی خاک برای انواع خاک‌ها ..... 50
- نکته 4. راهکارهای پیشنهادی برای غلبه بر موانع ..... 71

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
18.....	جدول 1. موجودات زنده اصلی خاکزی براساس اندازه آنها.....
22.....	جدول 2. کارکردهای خاک در ارتباط با چرخه آب و خدمات زیست بوم.....
33.....	جدول 3. مروری بر مطالعات برآورد ذخایر جهانی کربن آلی خاک.....
36.....	جدول 4. برآوردهای جدید از ذخایر کربن آلی خاک در مناطق یخ زده دائمی.....
45.....	جدول 5. نمونه‌ای ساده شده از تبدیل کاربری اراضی.....
47.....	جدول 6. سطوح درجه‌بندی شده برای پایش گازهای گلخانه‌ای.....
53.....	جدول 7. مروری بر روش‌های اصلی تعمیم داده‌های کربن آلی خاک.....

## فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- 
- شکل 1. کربن آلی خاک (SOC) در چرخه جهانی کربن ..... 4
  - شکل 2. مشارکت کربن آلی خاک در اهداف توسعه پایدار ..... 17
  - شکل 3. اثر کاربری اراضی بر تنوع زیستی خاک ..... 19
  - شکل 4. برون‌یابی مکانی آسیب‌پذیری دمایی ذخایر کربن آلی خاک ..... 23
  - شکل 5. مدل تخمین ظرفیت انتشار و رهاسازی کربن تجمعی ناشی از ذوب شدن مناطق با یخبندان دائمی تا سال 2100، 2200 و 2300 ..... 26
  - شکل 6. نمودار شماتیک از چرخه‌های بازخورد قطعی و گسترش اراضی خشک به دنبال تغییر اقلیم و کاهش کربن آلی خاک (SOC) ..... 27
  - شکل 7. جدیدترین نقشه میزان کربن آلی خاک تا عمق یک متری ( $\text{MgC ha}^{-1}$ ) ..... 32
  - شکل 8. توزیع پیتزارها در جهان ..... 37
  - شکل 9. توزیع مراتع در جهان ..... 38
  - شکل 10. توزیع جنگل‌ها در جهان ..... 39
  - شکل 11. مقدار کربن در هکتار در اراضی خشک ..... 40
  - شکل 12. خلاصه چارچوب فرآیند اندازه‌گیری، گزارش‌دهی و اعتبارسنجی کربن آلی خاک ..... 58
  - شکل 13. راهبردهای مدیریتی توصیه شده و نهی شده برای ترسیب کربن در خاک و تاثیر آن‌ها بر تولید مواد غذایی و کاهش و سازگاری با تغییرات اقلیمی ..... 64

## خلاصه اجرایی

با وجود تغییرات اقلیمی، تخریب زمین و کاهش تنوع زیستی، خاک به یکی از آسیب‌پذیرترین منابع در جهان تبدیل شده است. خاک‌ها مخزن اصلی و عمده کربن به شمار می‌روند که دارای میزان کربن بیشتری نسبت به مجموع کربن اتمسفر و پوشش گیاهی موجود در خشکی‌ها هستند. کربن آلی خاک (SOC)، پویا است و در عین حال اثر فعالیت‌های انسانی بر روی خاک می‌تواند آن را به یک منبع انتشار و یا مخزن خالص از گازهای گلخانه‌ای تبدیل کند. پیشرفت‌های علمی بزرگی در شناخت و توضیح پویایی کربن آلی خاک حاصل شده است. با این حال، حفاظت و پایش ذخایر کربن آلی خاک در سطح ملی و جهانی هنوز با چالش‌های پیچیده‌ای مواجه است که مانع از طراحی موثر سیاست و خط‌مشی آن روی زمین و همچنین اجرای مناسب و سازگار منطقه‌ای می‌شود.

پس از این که کربن به شکل مواد آلی از جانوران و گیاهان خاکزی وارد خاک شد، می‌تواند برای دهه‌ها، قرن‌ها یا حتی میلیون‌ها سال در خاک باقی بماند. البته کربن آلی خاک می‌تواند به دلیل انتشار دی‌اکسید کربن ( $\text{CO}_2$ ) یا متان ( $\text{CH}_4$ ) به اتمسفر، فرسایش خاک‌ها یا کربن آلی محلول شسته شده به درون رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها هدر رود. پویایی این فرایندها، اهمیت کمی‌سازی انتشار کربن جهانی را برای اطمینان از بیشترین توان کربن آلی خاک برای رفاه انسان، تولید غذا، تنظیم آب و اقلیم برجسته می‌نماید.

کربن آلی خاک بخش اصلی مواد آلی خاک (SOM) است و به عنوان شاخصی از سلامت خاک، به دلیل مشارکت در تولید مواد غذایی، کاهش و سازگاری با تغییرات اقلیمی و دستیابی به اهداف توسعه پایدار (SDGs)، دارای اهمیت است. میزان زیاد ماده آلی خاک، عناصر ضروری را برای رشد گیاهان فراهم می‌کند و دسترسی آب را نیز ارتقاء می‌بخشد که هر دو این موارد، منجر به افزایش حاصلخیزی خاک و سرانجام بهبود تولید مواد غذایی می‌شوند. افزون‌بر این، کربن آلی خاک، پایداری ساختمان خاک را با افزایش خاکدانه‌سازی تقویت نموده که همراه با تخلخل، تهویه مناسب و نفوذ آب کافی برای حمایت از رشد گیاه را تضمین می‌کند. با مقدار بهینه کربن آلی خاک، ظرفیت تصفیه آب خاک‌ها از تامین آب تمیز بیشتر پشتیبانی و حمایت می‌کند. با معدنی شدن سریع کربن آلی خاک، خاک‌ها می‌توانند یک منبع قابل توجه برای انتشار گازهای گلخانه‌ای به

اتمسفر باشند. اگرچه تاثیر کلی تغییر اقلیم بر ذخایر کربن آلی خاک با توجه به منطقه و نوع خاک بسیار متغیر است، افزایش دما و افزایش فراوانی پدیده‌های کرانه‌ای هواشناسی چه بسا منجر به افزایش هدر رفت کربن آلی خاک می‌شود.

در سطح جهانی، ذخایر کربن آلی خاک به شکل متوسط 1500 پتاگرم کربن در یک متر اولیه خاک تخمین زده می‌شود، اگرچه توزیع آن‌ها از نظر مکانی و زمانی متغیر است. مناطق با ذخایر بزرگ و ناچیز کربن آلی خاک که به ترتیب مناطق با میزان کربن آلی زیاد (مانند پیتزارها یا خاک‌های سیاه) و سطح گسترده‌ای با مقدار کربن آلی کم (مانند اراضی خشک) هستند، مناطق اصلی برای توجه و رسیدگی به شمار می‌روند. با تغییر اقلیم و مدیریت ناپایدار، این مناطق احتمالاً به منابع خالص انتشار گازهای گلخانه‌ای تبدیل می‌شوند. با این حال، اگر به شکل عاقلانه مدیریت شوند، ظرفیت ترسیب مقدار زیادی کربن در خاک‌های خود را دارند که می‌توانند در کاهش و سازگاری تغییرات اقلیمی مشارکت کنند.

در بدنه‌ی چارچوب پیمان نامه ملل متحد در باره تغییر اقلیم (UNFCCC)، توافق‌های بین‌المللی گوناگونی مانند پروتکل کیوتو (KP) و قرارداد پاریس، قوانینی برای اهداف انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین لزوم گزارش منظم پیرامون نقش انسان در انتشار گازهای گلخانه‌ای تعیین شده است. به عنوان بخشی از اهداف، داده دقیق انتشار ناشی از تغییرات ذخیره کربن آلی خاک بایستی گزارش شود. هیات بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC)، شیوه‌نامه‌هایی را به منظور اندازه‌گیری، گزارش‌دهی و اعتبارسنجی موجودی ذخیره ملی کربن آلی خاک با پیروی از چارچوب اندازه‌گیری، گزارش‌دهی و اعتبارسنجی (MRV) ارائه می‌شود که تضمین می‌کند که این داده‌ها، معیارهای تکمیل بودن، شفافیت، ثبات، دقت و در نتیجه قابلیت مقایسه را برآورده و عملی می‌کنند. برای دستیابی به ویژگی و دقت بیشتر، روش‌های بهینه‌ای برای اندازه‌گیری، محاسبه، پایش و گزارش در باره این مخزن کربن خاص و ویژه نیاز است.

تغییرات اقلیمی با تاثیر شدید بر کشاورزی، تهدیدی بزرگ و جدی برای امنیت غذایی به شمار می‌روند. تصور بر این است که با کاهش عملکرد، مهاجرت بیولوژیکی و کاهش خدمات بوم‌سازگان بر تولید محصولات زراعی، دامی و شیلات تاثیر منفی



می‌گذارد که در ادامه کاهش درآمد کشاورزی و افزایش قیمت مواد غذایی را در پی خواهد داشت. ترسیب کربن آلی خاک می‌تواند در کاهش این مسئله یاری کند و در عین حال بخشی از راهکار گرمایش اقلیمی را نیز نشان دهد. از این‌رو، برای دستیابی به بیشترین ظرفیت کاهش و سازگاری تغییرات اقلیمی و تولید مواد غذایی، برخی از اقدامات حفاظتی کربن آلی خاک لازم الاجرا است. با این حال، موانعی نیز برای پذیرش این اقدامات وجود دارد که می‌توان به موانع مالی، فنی - سازماندهی، نهادی، دانشی، موانع مرتبط با منابع و اجتماعی - فرهنگی و همچنین روابط متقابل آن‌ها اشاره کرد. زمانی که این موانع با عوامل غیرزنده محدودکننده تجمع کربن آلی خاک ترکیب می‌شوند، از پذیرش اقدامات کاهش و سازگاری تغییرات اقلیمی جلوگیری می‌کنند. همچنین، با وجود برخی از راهکارهای شناخته شده برای غلبه بر موانع انسانی، نرخ پذیرش جهانی اقدامات مدیریت پایدار خاک به نسبت پایین باقی مانده است.

هدف این کتاب، ارائه یک چشم انداز کلی از حقایق علمی و اطلاعات کلی پیرامون دانش فعلی و شکاف‌های موجود در آن در رابطه با کربن آلی خاک به تصمیم‌سازان و دست‌اندرکاران است. این کتاب روشن می‌کند که چگونه می‌توان اطلاعات بهتر و اقدامات کارا تر را به منظور حمایت از پایان دادن به گرسنگی، کاهش و سازگاری با تغییرات اقلیمی و دستیابی به توسعه پایدار جامع، اجرا و پیاده‌سازی کرد.