

# بنام خداوند بخشنده و مهربان



دانشگاه بوعلی سینا

مواد آلی خاک

گردآوری و نگارش

دکتر علی اکبر صفری سنجانی

۱۳۹۴

|           |                                                          |
|-----------|----------------------------------------------------------|
| ۵         | صفری سنجانی، علی اکبر                                    |
| ۵۹۲/۶     | مواد آلی خاک / گردآوری و نگارش: علی اکبر صفری سنجانی..   |
| ۹ م ۷ ص / | همدان: مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا؛ ۱۳۹۴.                |
| ۱۳۹۴      | ۳۷۰ ص.: مصور، جدول، نمودار.                              |
|           | شابک: ۷-۱۹۰-۱۲۸-۶۰۰-۹۷۸                                  |
|           | ۱. خاک- ترکیب‌های آلی ۲. خاک- زیست شیمی ۳. خاک- حاصلخیزی |
|           | الف. عنوان                                               |
|           | ۶۳۱/۴۱                                                   |

|                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| عنوان:         | مواد آلی خاک                |
| مؤلف:          | علی اکبر صفری سنجانی        |
| ناشر:          | مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا |
| مدیر مرکز نشر: | محمدجواد بدالی              |
| چاپخانه:       | پیام رسانه                  |
| صفحه و قطع:    | ۳۶۴- وزیری                  |
| نوبت چاپ:      | اول                         |
| تیراژ:         | ۱۰۰۰                        |
| قیمت:          | ۱۹۰۰۰ تومان                 |
| تاریخ انتشار:  | ۱۳۹۴                        |
| شماره کتاب:    | ک/۳۵۹                       |
| شابک:          | ۷-۱۹۰-۱۲۸-۶۰۰-۹۷۸           |

#### کلیه حقوق برای مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا محفوظ است

- مراکز فروش در همدان: ۱. دانشگاه بوعلی سینا، مرکز نشر دانشگاه، تلفن: ۰۸۱-۳۸۲۹۰۷۶
۲. خیابان شهید حسین فهمیده، روبروی پارک مردم، فروشگاه اداره اوقات فراغت
۳. خیابان مهدیه، روبروی خانه معلم- انتشارات دانشجو
- نمایندگی فروش در تهران: ۱. موسسه کتابیران، میدان انقلاب، خیابان لبافی نژاد غربی (بعد از چهار راه کارگر جنوبی)، بعد از فروشگاه شیلات، پلاک ۲۳۷ تلفن: ۶۶۴۲۳۴۱۶ و ۶۶۹۲۶۶۸۷-۰۲۱
۲. نوبردازان، میدان انقلاب، خیابان لبافی نژاد- بین فروردین و اردیبهشت- پلاک ۲۰۴، ۶۶۴۹۴۴۰۹ و ۶۶۴۱۱۱۷۳-۰۲۱

|   |          |
|---|----------|
| ۱ | پیشگفتار |
| ۵ | دیاچه    |

## بند یکم

|    |                                  |
|----|----------------------------------|
| ۱۰ | بخش های مواد آلی در خاک          |
| ۱۴ | ریخت های گوناگون مواد آلی در خاک |
| ۱۴ | بخش لاشبرگ ها و لاشریزه ها       |
| ۱۹ | بخش سبک ماده آلی                 |
| ۲۱ | بخش سنگین ماده آلی               |
| ۲۲ | دگرگونو بخش سبک و سنگین مواد آلی |
| ۲۴ | بخش زنده مواد آلی خاک            |
| ۳۳ | بخش محلول مواد آلی خاک           |
| ۳۴ | ماده آلی محلول در آب سرد         |
| ۳۵ | ماده آلی محلول در آب گرم         |
| ۳۶ | بخش هموسی مواد آلی خاک           |

## بند دوم

|    |                                                              |
|----|--------------------------------------------------------------|
| ۴۰ | بخش بندی مواد آلی خاک                                        |
| ۴۳ | روش های شیمیایی بخش بندی مواد آلی                            |
| ۴۳ | جداسازی ماده آلی محلول در آب                                 |
| ۴۳ | جداسازی ماده محلول در اسید و باز (فولویک اسید و هیومیک اسید) |
| ۴۵ | اندازه گیری ماده آلی به روش اکسیداسیون تر                    |
| ۴۷ | روش اندازه گیری گنجایش تبادل کاتیونی                         |
| ۴۹ | هیومین                                                       |
| ۵۴ | روش های فیزیکی بخش بندی مواد آلی                             |
| ۵۵ | روش های بخش بندی اندازه دانه ای                              |
| ۵۶ | جداسازی ترکیب های آلی - کانی ثانویه                          |

|    |                                                        |
|----|--------------------------------------------------------|
| ۵۷ | روش جداسازی ترکیبهای آلی-کانی ثانویه                   |
| ۵۹ | جداسازی دانه‌های آلی-کانی نخستین                       |
| ۶۴ | روش جداسازی ترکیبهای آلی-کانی نخستین                   |
| ۷۰ | همتافته‌ها و کمپلکس‌های آلی-کانی                       |
| ۷۵ | چگالی بخش بندی ماده آلی خاک                            |
| ۷۸ | روش چگالی بخش بندی ماده آلی خاک                        |
| ۷۸ | ساخت مول دانسیته                                       |
| ۸۰ | اندازه گیری کربن زیتوده                                |
| ۸۰ | نمونه‌برداری از خاک، آماده سازی و نگهداری آن           |
| ۸۰ | روش‌های اندازه گیری کربن زیتوده خاک                    |
| ۸۱ | شمارش مستقیم میکروسکوپی                                |
| ۸۱ | دوددهی با کلروفرم و انکوباسیون                         |
| ۸۲ | نمونه‌های خاک برای دوددهی                              |
| ۸۲ | روش دوددهی نمونه‌های خاک با کلروفرم                    |
| ۸۴ | اندازه گیری دی‌اکسید کربن کانی شده                     |
| ۸۵ | برآورد کربن زیتوده در روش دوددهی و انکوباسیون          |
| ۸۷ | کمبودهای روش دوددهی و انکوباسیون در اندازه گیری زیتوده |
| ۸۷ | دوددهی با کلروفرم و عصاره گیری                         |
| ۸۸ | روش کار دوددهی با کلروفرم و عصاره گیری                 |
| ۸۹ | ارزیابی کربن زیتوده در روش دوددهی و عصاره گیری         |
| ۹۰ | برآورد کربن زیتوده در روش دوددهی و عصاره گیری          |
| ۹۰ | روش تنفس برانگیخته شده با سوستر                        |
| ۹۱ | برآورد کربن زیتوده از روش تنفس برانگیخته خاک           |
| ۹۳ | روش‌های شیمیایی اندازه گیری کربن زیتوده                |
| ۹۳ | اندازه گیری ادنوزین تری فسفات خاک                      |

- روش عصاره گیری ادنوزین تری فسفات خاک با آمیخته اسید فسفریک ..... ۹۴
- اندازه گیری ادنوزین تری فسفات ..... ۹۵
- ارزیابی روش های گوناگون اندازه گیری زیتوده ..... ۹۷

### بند سوم

- کربن اندوزی در خاک ..... ۹۹
- آب و هوا ..... ۱۰۰
- پوشش گیاهی و جانداران خاک ..... ۱۰۰
- پست و بلندی ..... ۱۰۱
- مواد مادر ..... ۱۰۲
- زمان ..... ۱۰۳
- کاربری زمین و شیوه بهره بردی از خاک ..... ۱۰۴
- پيامد چرای دام بر اندوخته کربن آل خاک ..... ۱۰۷
- پاسخ دهی بخش های گوناگون داده آل خاک ..... ۱۱۴
- شدت دست خوردگی خاک ..... ۱۱۷
- مواد آلی و کشاورزی پایدار ..... ۱۱۹

### بند چهارم

- کارکرد مواد آلی در خاک ..... ۱۲۱
- ویژگی های زیستی وابسته به مواد آلی ..... ۱۲۱
- ویژگی های شیمیایی وابسته به مواد آلی ..... ۱۲۲
- گنجایش تبادل آنیونی و کاتیونی مواد آلی ..... ۱۲۳
- پی اچ و پتانسیل رد اکس خاک ..... ۱۳۲
- زیست فراهمی عناصر غذایی ..... ۱۳۵
- ویژگی های فیزیکی وابسته به ماده آلی ..... ۱۴۱
- نقش مواد آلی در ساختمان خاک ..... ۱۴۳



- ۱۴۵..... روش‌های ارزیابی پایداری ساختمان خاک
- ۱۵۰..... گام‌های خاکدانه‌سازی
- ۱۵۲..... نیروهای سازنده خاکدانه
- ۱۵۶..... نگره‌های خاکدانه‌سازی
- ۱۵۶..... نگره راسل برای پیدایش خاکدانه‌های خرده اسفنجی
- ۱۵۷..... نگره پیوند کلسیمی ویلیامز و پیترسون
- ۱۵۷..... نگره گسره‌ای رسی
- ۱۵۸..... نگره پیردکناره‌های رویه‌های نزدیک بهم
- ۱۵۸..... نگره خاکدانه‌های ریز
- ۱۶۰..... نگره پیدایش زنجیره‌ای خاکدانه‌ها
- ۱۶۳..... نگره کاهش پوکی در پیدایش خاکدانه‌های ریز
- ۱۶۴..... مدل شناختی هسته‌ای ماده آلی دانه‌ای

## بند پنجم

- ۱۷۱..... چگونگی پیدایش هوموس
- ۱۷۴..... فروزینگی زیستی مانده‌های کشاورزی
- ۱۷۴..... قندها و اسیدهای آمینه
- ۱۷۸..... لیگنوسلولز
- ۱۷۹..... مواد پکتیکی
- ۱۸۱..... پلی اوزهای دیواره یاخته‌ای گیاهی
- ۱۸۵..... سلولز
- ۱۹۲..... لیگنین
- ۱۹۸..... تانن‌ها
- ۲۰۷..... نگره‌های پیدایش هوموس
- ۲۰۷..... نگره لیگنین - پروتئین
- ۲۱۱..... نگره پلی فنل

|          |                                                      |
|----------|------------------------------------------------------|
| ۲۱۷..... | نگره قهوه‌ای شدن با واکنش میلارد.....                |
| ۲۲۴..... | گروه بندی هوموس خشکی ها.....                         |
| ۲۲۷..... | ریخت‌های هوموس خشکی ها.....                          |
| ۲۲۷..... | هوموس مول.....                                       |
| ۲۲۹..... | هوموس مودر.....                                      |
| ۲۳۰..... | هوموس مور.....                                       |
| ۲۳۳..... | پی آبی ریخت‌های گوناگون هوموس در جنگل‌های انبوه..... |

## بند ششم

|          |                                                               |
|----------|---------------------------------------------------------------|
| ۲۳۸..... | پویایی کربن آلی در خاک.....                                   |
| ۲۴۰..... | واکنش‌های مرتبه دوم.....                                      |
| ۲۴۱..... | واکنش‌های مرتبه یک.....                                       |
| ۲۴۵..... | واکنش‌های مرتبه دو.....                                       |
| ۲۴۷..... | واکنش‌های هیپربولیک.....                                      |
| ۲۵۰..... | پیامد فراسنجه‌هایی گوناگون بر پویایی ماندگاری آلی در خاک..... |
| ۲۵۳..... | کارایی آنزیم‌های خاک.....                                     |
| ۲۵۳..... | ریخت‌های آنزیم‌ها در خاک.....                                 |
| ۲۷۰..... | ارزیابی کمپوست و درجه هوموسی شدن مواد آلی.....                |

## بند هفتم

|          |                                                     |
|----------|-----------------------------------------------------|
| ۲۷۳..... | روش‌های ارزیابی پویایی کربن آلی در خاک.....         |
| ۲۷۳..... | روش‌های مستقیم ارزیابی پویایی کربن آلی در خاک.....  |
| ۲۷۳..... | روش آزمایشگاهی.....                                 |
| ۲۷۵..... | اندازه‌گیری مستقیم پویایی کربن آلی در کشتزارها..... |
| ۲۷۵..... | بهره‌گیری از کربن نشان‌دار.....                     |
| ۲۷۹..... | روش لوله‌گذاری در کشتزارها.....                     |

|     |                                          |
|-----|------------------------------------------|
| ۲۸۱ | بررسی پویایی لاشبرگ‌ها به کمک کیسه گذاری |
| ۲۸۳ | بررسی لاشبرگ‌های فروزینه شده             |
| ۲۸۴ | روش زمان سنجی با کربن ۱۴                 |
| ۲۸۸ | ارزیابی پویایی کربن آلی به کمک کربن ۱۳   |

## بند هشتم

|     |                                                          |
|-----|----------------------------------------------------------|
| ۲۹۵ | روش‌های شناسایی کربن آلی                                 |
| ۲۹۵ | روش‌های شیمی تر                                          |
| ۲۹۷ | طیف رزونانس مغناطیسی هسته                                |
| ۲۹۸ | اصول فیزیکی طیف رزونانس مغناطیسی هسته                    |
| ۳۰۵ | جابه جایی شیمیایی                                        |
| ۳۱۰ | چگونگی پخش هسته‌های پرنم انرژی                           |
| ۳۱۱ | فرایند آسایش هسته                                        |
| ۳۱۱ | فرایند آسایش طولی                                        |
| ۳۱۲ | فرایند آسایش عرضی                                        |
| ۳۱۳ | جفت شدن و باز شدن اسپین هسته‌ها                          |
| ۳۱۸ | روش‌های گوناگون NMR                                      |
| ۳۱۸ | روش موج پیوسته                                           |
| ۳۱۹ | روش سری نوسان یا پالس سکوانس                             |
| ۳۲۲ | روش گذر قطبیت یا کراس پلارایز                            |
| ۳۲۳ | روش گذر قطبیت یا کراس پلارایز مواد جامد                  |
| ۳۲۵ | پخش‌های سازنده دستگاه NMR                                |
| ۳۲۷ | تفسیر پیک‌های $^{13}\text{C}$ NMR                        |
| ۳۲۸ | کربن پیوسته به هیدروژن، آلیفاتیک یا الکیل کربن (Alkyl-C) |
| ۳۲۸ | کربن پیوسته به اکسیژن، او-الکیل کربن (O-Alkyl-C)         |
| ۳۲۹ | کربن آروماتیک، (Aromatic-C)                              |



- ۳۳۰ .....(Carboxylic-C) کربن کربوکسیلیک
- ۳۳۲ .....خوبی و بدی های روش طیف رزونانس مغناطیسی هسته در بررسی کربن آلی خاک
- ۳۳۳ .....کاربردهای NMR
- ۳۳۵ .....منابع و نوشتارها

www.ketab.ir

سپاس به درگاه پروردگار که ذوق و اندوختی را در نهاد مکارنده گذاشت تا بر آن شوم که چهارمین کتاب خود را با انگیزه کمک دانشجویان دوره‌های کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای رشته‌های کشاورزی، محیط زیست و دیگر رشته‌های وابسته گردآوری و محارث کنم.

از گذشته‌های دور مردمانی که در زمین‌های خشک و نیمه خشک کشاورزی می کرده اند، جایگاه بالایی مواد آلی در خاک را می شناخته اند. آن‌ها پسندیدنی سودمند کاربرد کودهای آلی گیاهی و جانوری در خاک به خوبی آگاهی داشته و در هر بار کشت آن‌ها را با خاک آمیخته و بکار می برده اند. در سده گذشته با افزایش سودجویی مردم در کشاورزی صنعتی و مکانیزه با کاربرد نهادهای کوناکو، سموم شیمیایی، کشاورزی پایدار در بسیاری از کشورها به فراموشی سپرده شده است. امروزه بار دیگر کشاورزی پایدار به ویژه خود را پیدا کرده است که در این راستا سودمندی شناخت مواد آلی و رفتار و کارکرد آن در خاک بر کسی پوشیده نیست.

گذشته از بافت و کافی شناسی خاک، همه ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به گونه‌ای وابسته به مواد آلی آن است. ساختمان، پوکی، رسانایی آبی (هدایت هیدرولیکی)، توان نگهداری آب، گنجایش زراعی، رنگ، دما، رسانایی گرمایی، گنجایش تبادل کاتیونی و آنیونی، گنجایش بافری، زیست فراهمی

عناصر غذایی، اسیدیت، پتانسیل رد اکس، فراوانی و کارکرد ریز جانداران، پایداری و کارایی آنزیم ها، آبشویی فلزها و فرایندهای کوناگون دیگر در خاک بهمگی وابسته به مواد آلی آن است. توان بارآوری خاک ها بستگی به مواد آلی آن دارد. مواد آلی به اندازه ای برای رشد گیاه سودمند است که گیاهان گرانباراد آن می کارند. گرانزده مواد آلی در خاک بنده و بسینه باشد، نیاز خدانی به شناخت آن نیست و مانند هوایی که زندگی به آن وابسته است. بسیاری مانند سازمان آب نیاز نیست. ولی اندازه مواد آلی در پهنه گسترده ای از خاک های کشاورزی کشور ایران به اندازه ای کم است که باید محاسبی دیگر به برنامه های آموزشی و کارفرمایی خود داشت.

مواد آلی در خاک مانند آب زندگی بخش است و زندگی جانداران خاک زری به آن وابسته است. شناخت مواد آلی خاک شاه کلید کشاورزی پایدار در سرزمین های خشک و نیمه خشک است. مواد آلی مانند آب در خاک این سرزمین ها کم و اندک است. بنابراین مردمانی که این سرزمین ها زندگی می کنند برابر مردمان سرزمین های دیگر، نیاز به شناخت بیشتری از کارکرد و جایگاه مواد آلی در خاک ها دارند. سکفت است که در برنامه دسی دانشجویمان رشته های کشاورزی و محیط زیست جایگاهی شایسته همانند آب و رشته آبیاری برای آن باز نشده است. از اینرو انگیزه نوشتن این کتاب بسیار بیشتر از کتاب های پیشینم بود.

در این کتاب بخش‌های زیر به گونه‌ای بسیار فشرده گنجانده شده است: (۱) در بند نخست آن به شناساندن به سخت‌ها و اندوخته‌های گوناگون مواد آلی در خاک پرداخته شده است. در بندهای دیگر به دنبال هم از (۲) روش‌های بخش‌بندی مواد آلی، (۳) کربن اندوزی در خاک، (۴) کارکرد مواد آلی در خاک، (۵) چگونگی پیدایش هوموس، (۶) پویایی کربن آلی در خاک، (۷) روش‌های ارزیابی پویایی کربن آلی در خاک و (۸) روش‌های شناسایی کربن آلی در خاک یاد شده است. امید است که این آشنایی پایه‌ای برای شناخت بهتر بخش‌های گوناگون مواد آلی خاک، چگونگی دگرگونی و کارکرد حرکات برای بهره‌گیری از آنها در راستای کشاورزی پایدار، که پیش‌آلیمی و او بهبود زندگی مردم باشد.

بار دیگر تلاش بر این بوده است که کتابی فارسی در ماکمل از نوشته‌های بیکانه نوشته شود. آشکار است که این کار به دلیل ناتوانی نگارنده در فارسی نویسی از روانی نوشته‌های نگارنده می‌کاهد و کار نویسنده خواننده را دوچندان می‌کند. امید است که خواننده گرامی پذیرای آن باشد. شاید در این کتاب نیز کاستی‌ها و نارسایی‌های بسیاری دیده شود. امید آن است که استادان و دانشجویان با دیده‌ای انتقادی به آن گردند و از یادآوری کاستی‌ها و نارسایی‌های کتاب و پیشنهادهای خود دریغ نفرمایند. در نوشتن این کتاب از کتاب‌ها و جزوه‌های بسیاری بهره‌گیری شده است که در این جا از همه نویسندگان آنها به ویژه استاد بزرگوار جناب آقای دکتر احمد کچین بسیار سپاسگزارم. بسیاری از کاستی‌ها و نارسایی‌های این کتاب را دانشجویان،

دوران و ویراستاران بزرگ واریاد آوری نموده اند و تلاش شد که بهسازی و ویرایش آنها پیش از چاپ نخست کتاب انجام شود؛ از کمک همه آنان بسیار خرسند و سپاسگزارم.

همچنین از کمک های بکاران و استادان دانشگاه بوعلی سینا، معاون محترم پژوهشی دانشگاه کشاورزی و دانشگاه ویراستاران خوب و پرتلاش بخش انتشارات دانشگاه که امکان چاپ و انتشار این کتاب را فراهم کرده اند، بسیار سپاسگزارم.

علی اکبر صفری سنجانی

بهمن - بهار ۱۳۹۴



## دیباچه

گیاهان، جانوران و ریزجانداران بسیاری در درون خاک زندگی می‌کنند و به آن زندگی می‌بخشند. گیاهان بزرگترین سازندگان مواد آلی و پرانرژی در خاک هستند. آنها به کمک انرژی نورانی که از خورشید می‌گیرند، عناصر غذایی پرنیاز و کم‌نیاز خود را که بیشتر به ریخت آلی است، به ریخت آلی در می‌آورند که در این میان برخی عناصر مانند کربن، نیتروژن و گوگرد با پیوند به اتم‌های هیدروژن کاهیده می‌شوند. فرایند جذب عناصر کانی از زیستگاه‌ها و کاهش آنها در یاخته‌های زنده برای تغذیه را کاهش همانند یا احیا جذبی (Assimilatory reduction) عناصر می‌گویند. همچنین فرایند آلی شدن عناصر کانی جذب شده از زیستگاه‌ها را آلی شدن (Immobilization) عناصر می‌گویند.

عناصر کاهیده و آلی پس از مرگ جانداران و رسیدن به خاک، خواستگاه انرژی برای انجام همه واکنش‌های زیستی در خاک است که بر زندگی با شکستن، اکسید کردن و رها کردن آنها در خاک به انرژی یاخته‌ای (Adenosine triphosphate, ATP) دسترسی پیدا می‌کند. به فرایند جدا شدن عناصر غذایی (مانند نیتروژن، فسفر، گوگرد) از مواد آلی و رها شدن آنها به ریخت کانی در زیستگاه‌ها، کانی شدن (Mineralization) عناصر می‌گویند. افزون بر این بخشی از این عناصر به ریخت آلی دیگری درآمده و توده زنده (جانداران) خاک را پدید می‌آورند.

هم‌زمان یا پس از کانی شدن عناصر، فرایند دیگری به نام اکسایش (Oxidation) آنها انجام می‌شود که در این فرایند عناصری مانند کربن، نیتروژن و گوگرد به اکسیژن پیوسته و انرژی آزاد می‌کنند. این انرژی رمز زنده ماندن کموتروف‌ها است. بیشتر جانداران

کموتروف، هوازی هستند. کموارگانوتروف‌های هوازی برای اکسید کردن کربن آلی و کمولیتوتروف‌های هوازی برای اکسید کردن نیتروژن و گوگرد کانی و یا آلی، تنفس هوازی دارند. آنها در این فرایند از اکسیژن مولکولی همانند پذیرنده پایانی الکترون (Terminal electron acceptor, TEA) بهره می‌گیرند.

برخی جانداران کموارگانوتروف خاک تنفس بی‌هوازی دارند. آنها برای اکسید کردن کربن آلی از ریخت اکسید شده عناصر دیگر مانند نیتروژن نیتراتی یا گوگرد سولفاتی، همانند پذیرنده پایانی الکترون (TEA) بهره می‌گیرند. در این فرایند عناصر یاد شده در تنفس بی‌هوازی کاهیده می‌شوند. این ریزجانداران بیشتر ریخت کاهیده آنها در زیستگاه خود رها می‌سازند. به چنین فرایندی کاهش ناهمانند یا احیا غیرجذبی (Dissimilatory reduction) عناصر می‌گویند.

انجام چنین فرایندهای زیستی ما به چرخش عناصر در هوا، آب، خاک و جانداران گوناگون می‌شود. آشکار است که داشت آگاهی از این فرایندها برای کارفرمایان و کارشناسان کشاورزی و محیط زیست یک نیاز بزرگ است. در این میان آگاهی از چرخه کربن و رفتار مواد آلی در خاک و آب، برای کارشناسان کشاورزی و محیط زیست به ویژه در سرزمین‌های خشک و نیمه خشک، به اندازه آگاهی از نگهداری آب در خاک، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.

چرخه کربن از جذب دی‌اکسید کربن هوا و کاهیدن آن به فرم فستوز (یا کموستز) در جانداران اتوتروف آغاز شده و به رها شدن دی‌اکسید کربن مواد آلی در فرایند تنفس جانداران هتروتروف پایان می‌یابد. در این زنجیره غذایی گروهی از جانداران به نام مصرف‌کننده (Consumers) مواد آلی (جانوران) می‌توانند در میان گروه‌های سازنده (Producers) مواد آلی (گیاهان، جلبک‌ها و برخی باکتری‌ها) و فروزینه‌کننده (Degradators) آن (قارچ‌ها و بیشتر باکتری‌ها) جا گیرند. انرژی خورشیدی (یا در برخی باکتری‌ها انرژی شیمیایی) توان ساخت و پیوند C-H را به جانداران سازنده مواد آلی می‌دهد.

جانوران و ریزجانداران برای به دست آوردن بخشی از این انرژی، مایه به گردش افتادن چرخه عناصر در خاک می شوند.

غلظت دی اکسید کربن در هوا تا سال ۱۸۰۰ میلادی تقریباً ثابت بوده است ولی پس از آن دی اکسید کربن رها شده در هوا بیش از جذب آن از هوا شده است. بکارگیری سوخت های سنگواره ای (فسیلی) مانند ذغال سنگ، نفت، بنزین و مانند آنها و همچنین نابودی جنگل ها، دی اکسید کربن بالایی را به هوا می دهند که مایه گرم تر شدن هوای زمین شده است که این خود مایه افزایش تنفس در خاک و آب ها و در پی آن رها شدن دی اکسید کربن می شود. بیشتر رنگی از کربن آلی که به خاک می رود از مانده های گیاهی به ویژه ریشه آنها پدید می آید. پیدایش مایه های گیاهی در زمین های جنگلی و کشاورزی بسیار بالا است. برآورد شده است که دانه نزدیک ۱۵۵ بیلیون تن لیگنوسلولز (Lignocellulose) در فرآیند فتوسنتز در کره زمین ساخته می شود؛ نزدیک دو سوم آن در خشکی ها و یک سوم دیگر در اقیانوس ها پدید می آیند. بخش بزرگی (۱۵٪) از لیگنوسلولز پدید آمده در خشکی ها در جنگل ها و چوبزارها (Woodlands) ساخته می شود. در زمین های کشاورزی در کشت بسیاری از گیاهان تنها بخش کوچکی از گیاه مانند دانه، میوه آن، داشت می شود و مانده آن بر یا درون خاک می ماند. برآورد شده است که سالانه نزدیک ۲/۴۶ بیلیون تن کاه از خانواده گندمیان در جهان ساخته می شود. هنگامی که رشد گیاهان خانواده گندمیان، انه ریز خوب باشد، اگر کاه در خاک بماند، سالانه ۲/۲ تا ۳/۳ تن، و اگر کاه آن برداشت شود سالانه ۰/۵ تن در هکتار، مانده گیاهی به خاک کشتزارها افزوده می شود.

روی هم رفته از همه مواد آلی که از مانده های ریزجانداران، گیاهان یا جانوران به خاک افزوده می شود، بخش بزرگی فروزینه زیستی شده (کانی شده) و به ریخت دی اکسید کربن در می آید و بر پایه قانون فیک<sup>۱</sup> از هوای خاک به بیرون رها می شود. بخشی بسته به راندمان سوخت و ساز (متابولیسم) ریزجاندار در ساختار یاخته ریزجانداران به زیتوده

<sup>۱</sup> Fick's law

(Microbial biomass) دگرگون شده و بخشی دیگر به ریخت هوموس خاک درمی آید. همچنین با گذشت زمان بخشی از هوموس سالخورده و کهن تر در خاک فروزینه می شود، به گونه ای که برای زمان هایی دراز اندوخته کربن آلی در خاک ها همسنگ با ویژگی های خاک، آب و هوا در هر سرزمینی چندان دگرگون نمی شود. بنابراین در یک خاک پیشرفته و هماهنگ با آب و هوا، همه کربن آلی (زنده و مرده) مانده در خاک تا زمانی که دگرگونی در پوشش گیاهی، خاک، آب و هوا پدید نیاید، همواره با کمی افزایش و کاهش سالانه در اندازه و بخشی می ماند. بزرگی اندوخته ماده آلی خاک در هر سرزمینی بستگی به تندی ساخت (درون داد، Input) و تندی فروزینگی (برون داد، Output) آن دارد. کربن پیوسته به ریخت آلی در امده و خاک افزوده می شود و از سوی دیگر، به ریخت دی اکسید کربن درآمده و از خاک بیرون می رود که اگر این کار انجام نشود و برای ۳۰ سال دی اکسید کربن به هوا برنگردد، دی اکسید کربن هوا به اندازه ای کم می شود که زندگی پایان می یابد. پس چه از راه واکنش های شیمیایی، مانند سوزاندن و چه از راه واکنش های زیست شیمیایی (سوختن در درون یاخته ها) کربن آلی با اکسیده شده و به ریخت دی اکسید کربن به هوا بازگردد.

از سال ۱۸۹۰ با کاربرد گسترده سوخت های سوختاری و به ویژه نفت (petroleum) دی اکسید کربن هوا به اندازه فراوانی افزایش یافته است به گونه ای که مایه آلودگی آن به گازهای گلخانه ای و افزایش دمای زمین شده است که این خود به نوبه خود فرایندهای زیستی و برون داد کربن از خاک و آب افزوده است. از سوی دیگر، نگهداری و اندوزش کربن آلی در خاک بسیار سودمند است چرا که بسیاری از ویژگی های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک وابسته به کربن آلی آن است و کربن آلی همه ویژگی های خاک را به سود گیاه بهبود می بخشد.

بنابراین هدف از شناخت مواد آلی خاک کاهش آلودگی هوا از راه کاهش برون داد کربن و افزایش توان بارآوری خاک (Soil productivity) از راه افزایش درون داد کربن آلی و نگهداری و اندوزش آن در خاک است.

www.ketab.ir