ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/331168103

مدیریت پایدار خاک در کشاورزی

Book · February 2011

CITATIONS
0

READS
1,484

1 author:

Farhad Khorsandi
Islamic Azad University
54 PUBLICATIONS **249** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Project Haloculture View project

Project Haloengineering (Haloculture Engineering) View project

All content following this page was uploaded by Farhad Khorsandi on 18 February 2019.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

مدیریت پایدار خاک‌درکشاورزی

فرهاد خورسندی

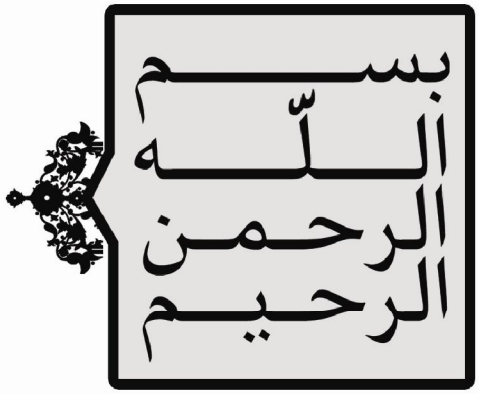
مدیریت پایدار خاک‌درکشاورزی

فرهاد خورسندی

مبحث توسعه پایدار یکی از مهمترین چالش‌های فراروی جوامع انسانی در دو دهه اخیر بوده است. با توجه به اهمیت امنیت غدایی به عنوان یکی از مهمترین ارکان توسعه پایدار، توجه به کشاورزی پایدار ضرورتی اجتماعی-اقتصادی است. خاک به عنوان یکی از منابع چهارگانه تولیدات کشاورزی، کاربرد گسترده و حیاتی در جوامع بشری دارد. از این رو، مبحث مدیریت پایدار خاک از ارکان مهم کشاورزی پایدار می‌باشد. بنابراین، آشنایی دانشجویان رشته‌های مختلف کشاورزی، به ویژه دانشجویان رشته خاکشناسی یا علوم خاک با این مبحث ضروری است. هدف از نگارش این کتاب آشنایی اساتید، محققین، اندیشمندان و دانشجویان رشته‌های مختلف علوم کشاورزی با عوامل تخریب خاک، مفاهیم پایداری و مدیریت پایدار خاک، و همچنین، راهکارهای مناسب مدیریتی جهت حفظ، پیشگیری و جلوگیری از تخریب خاک می‌باشد. پس از بررسی مباحث مختلف پایداری، مباحث مهم کاربری خاک، کیفیت و سلامت خاک، تخریب خاک و ارزیابی و پایش سلامت خاک، با دیدگاه کاربردی به اساتید، اندیشمندان و دانشجویان محترم ارائه شده است.

انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد

978-964-10-0840-8


بسم
اللّه
الرحمن
الرحيم

مدیریت پایدار خاک در کشاورزی

دکتر فرهاد خورسندی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد داراب

سرشناسه	:	خورسندی، فرهاد، ۱۳۴۰ –
عنوان و نام پدیدآور	:	مدیریت پایدار خاک در کشاورزی / فرهاد خورسندی.
مشخصات نشر	:	فیروز آباد (شیراز): دانشگاه آزاد اسلامی (فیروز آباد)، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	:	ث، ۱۷۳ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	۳۹۰۰۰ ریال: 978-964-10-0840-8
یادداشت	:	کتابنامه: ص. ۱۷۳.
موضوع	:	خاک – مدیریت
موضوع	:	کشاورزی پایدار
موضوع	:	توسعه پایدار
شناسه افزوده	:	دانشگاه آزاد اسلامی. واحد فیروز آباد
رده بندی کنگره	:	S۵۹۱/خ۹م۴ ۱۳۹۰
رده بندی دیویی	:	۶۳۱/۴
شماره کتابشناسی ملی	:	۲۳۹۳۳۹۶

- عنوان : مدیریت پایدار خاک در کشاورزی
- مؤلف : فرهاد خورسندی
- ویراستار : حسن حقیقت نیا و محمد حسین ضیائیان
- چاپ اول : ۱۳۹۰
- تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
- ناشر : مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی
- طرح روی جلد : علیرضا خاکپور
- چاپ و صحافی و لیتوگرافی :
- :
- :
- قیمت : ۳۹۰۰۰ ریال

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فرهاد خورسندی به سال ۱۳۴۰ در بابل متولد شد. در سال ۱۳۶۳ به اخذ درجه لیسانس در رشته علوم خاک از دانشگاه ایالتی پلی تکنیک کالیفرنیا ، در سال ۱۳۶۷ به اخذ درجه فوق لیسانس در رشته مدیریت خاک(شیمی خاک) از دانشگاه ایالتی نیومکزیکو و در سال ۱۳۷۳ به اخذ درجه دکتری در رشته مدیریت خاک (فیزیک خاک) از دانشگاه ایالتی می سی سی پی نایل آمد. انتشارات علمی ایشان شامل۱۴ مقاله وگزارش علمی فارسی در نشریات علمی تخصصی داخلی و۲۹ مقاله علمی به زبان انگلیسی در نشریات علمی تخصصی و کنفرانسهای بین المللی که ۱۲مقاله آن ISI ویک فصل کتاب می باشد. کتاب شورورزی : استفاده پایدار از منابع آب وخاک شور درکشاورزی توسط کمیته ملی آبیاری وزهکشی در سال ۱۳۸۹ به چاپ رسیده است.

تقدیم به:

روح بزرگوار پدرم: دکتر احمد خورسندی

مادر ارجمندم: خانم دکتر ماهیه ربیعی

و همسر صبورم که همواره در این راه پشتیبان من بودند

پیشگفتار

مبحث توسعه پایدار یکی از مهمترین چالش‌های فراروی جوامع انسانی در دو دهه اخیر بوده است. با توجه به اهمیت امنیت غدایی به عنوان یکی از مهمترین ارکان توسعه پایدار، توجه به کشاورزی پایدار ضرورتی اجتماعی-اقتصادی است. خاک به عنوان یکی از منابع چهارگانه تولیدات کشاورزی، کاربرد گسترده و حیاتی در جوامع بشری دارد. از این رو، مبحث مدیریت پایدار خاک از ارکان مهم کشاورزی پایدار می‌باشد. بنابراین، آشنایی دانشجویان رشته‌های مختلف کشاورزی، به ویژه دانشجویان رشته خاکشناسی یا علوم خاک با این مبحث ضروری است. با توجه به اهمیت موضوع، "مدیریت پایدار خاک" در سرفصل دروس رشته خاکشناسی (علوم خاک) گنجانده شده است. با پیشرفت گسترده مباحث مختلف توسعه پایدار، کشاورزی پایدار و علوم مرتبط با آنها، به نظر می‌آید که نیاز به تدوین کتاب درسی مناسب در این زمینه برای برطرف کردن نیازهای دانشجویان در این زمینه وجود دارد.

کتاب حاضر، با توجه به ضرورت تدوین کتب درسی دانشگاهی برای دانشجویان رشته‌های مختلف کشاورزی، به ویژه دانشجویان رشته خاکشناسی، نگاشته شده است. هدف از نگارش این کتاب آشنایی اساتید، محققین، اندیشمندان و دانشجویان رشته‌های مختلف علوم کشاورزی با عوامل تخریب خاک، مفاهیم پایداری و مدیریت پایدار خاک، و همچنین، راهکارهای مناسب مدیریتی جهت حفظ، پیشگیری و جلوگیری از تخریب خاک می‌باشد. پس از بررسی مباحث مختلف پایداری، مباحث مهم کاربری خاک، کیفیت و سلامت خاک، تخریب خاک و ارزیابی و پایش سلامت خاک، با دیدگاه کاربردی به دانشجویان ارائه شده است.

بدون شک راهنمایی‌های ارزنده اساتید و اندیشمندان محترم می‌تواند به افزایش غنا و بهتر شدن محتوای کتاب حاضر کمک شایانی بنماید.

در خاتمه از اساتید گرامی آقایان دکتر حسن حقیقت‌نیا و دکتر عبدالحسین ضیائیان که ویراستاری علمی و ادبی این کتاب را به عهده گرفتند، و همچنین، آقای مهندس فرشید نوابی، خانم دکتر فاطمه محمدی، خانم مهندس سیده هدی بلاغی و سرکار خانم سلیمی کمال قدردانی و سپاسگزاری خود را تقدیم داشته، و توفیق روزافزون آنها را آرزومندم.

فرهاد خورسندی

پاییز ۱۳۹۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه و کلیات	۱
فصل دوم: مفاهیم پایداری در کشاورزی و مدیریت پایدار خاک	۵
توسعه پایدار	۵
توسعه پایداررروستایی	۷
کشاورزی پایدار	۸
نظام‌های مدیریت زراعی	۱۸
مدیریت پایدار خاک	۲۵
فصل سوم: تخریب خاک	۳۱
علل و انواع تخریب خاک	۳۳
بیابان‌زایی	۳۷
فرسایش	۳۸
شوری	۴۵
تراکم خاک	۴۶
کاهش ماده آلی خاک و عدم تعادل بین عناصر غذایی	۴۸
فصل چهارم: کیفیت خاک	۴۹
تعریف کیفیت خاک	۴۹
ارزیابی و پایش کیفیت خاک	۵۴

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل پنجم: عملیات مطلوب کشاورزی در مدیریت پایدار خاک	**۷۳**
آبخیزداری	۷۴
حفاظت خاک و مدیریت فرسایش	۸۰
ماده آلی خاک	۸۸
حفاظت از تنوع زیستی خاک	۹۲
شوری خاک	۹۹
شورورزی: بهره‌برداری پایدار از منابع خاک و آب بسیار شور	۱۰۳
خاک‌ورزی	۱۰۹
تراکم و ساختمان خاک	۱۱۲
نظام‌های کاشت و بهره‌برداری از مزرعه	۱۱۶
خاک‌های مقاوم به کم‌آبی، خشکی و خشکسالی	۱۲۳
فصل ششم: مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک	**۱۲۷**
بازدهی و حاصلخیزی خاک	۱۲۷
مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک	۱۲۹
مدیریت تلفیقی عناصر غذایی یا سیستم‌های تلفیقی تغذیه گیاه	۱۳۱
کودهای آلی	۱۳۳
مدیریت حاصلخیزی خاک‌های شور	۱۴۵
فصل هفتم: اقدامات ضروری در گذار به سوی مزرعه پایدار	**۱۵۷**
پیوست: پایش کیفیت خاک در مزرعه	**۱۶۳**
منابع مورد استفاده	**۱۷۳**

فصل اول: مقدمه و کلیات

منابع پایه مهم در تولید عبارتند از خاک، آب، هوا و منابع طبیعی که تنوع زیستی (گیاهی و جانوری) را نیز در بر می‌گیرد. حفاظت و بهره‌برداری صحیح از کلیه این منابع حیاتی بسیار مهم می‌باشد. هوا و خاک، از حیث کمیت و گستردگی از بزرگترین منابع طبیعی و پایه در کره زمین محسوب می‌شوند. گستردگی و فراهمی این دو منبع (در مقیاس کره زمین) به قدری عظیم بوده و افراد بشر به طور طبیعی با آنها در ارتباط هستند، که غالباً خواسته یا ناخواسته موجبات تخریب این منابع حیاتی را فراهم می‌سازند.

خاک از مهمترین منابع پایه در زندگی جوامع بشری است، و نقش بسیار مهم و اساسی در ادامه حیات سالم بشر در کره زمین ایفا می‌نماید. "خاک" قشر نازکی از پوسته زمین (حداکثر به عمق ۲ متر) است که در طول زمان از مواد معدنی و آلی ناهمگن و تحت تأثیر عوامل خاکسازی ماده مادری، اقلیم، موجودات زنده و پستی و بلندی (توپوگرافی)، به وجود می‌آید (۱). در حقیقت خاک از تجزیه و هوازدگی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سنگهای مختلف، که همان مواد مادری هستند، در طول زمان و تحت تأثیر عوامل اقلیمی و محیطی به دست می‌آید. عامل *زمان* که در تعریف خاک عنوان شد، از اهمیتی خاص برخوردار است، زیرا خاک آنطور که در سطح زمین مشاهده می‌شود، در طول زمان‌های بسیار طولانی و قرن‌ها تشکیل و تکوین یافته، ولی، تخریب آن معمولاً در زمان‌هایی کوتاه انجام می‌پذیرد. بنابراین، احیاء و بازسازی آن و یا تشکیل خاک جدید به زمان‌های بسیار طولانی نیاز دارد، که همین امر اهمیت حفاظت و نگهداری از خاک را دو چندان می‌سازد. البته تأکید می‌گردد که هر یک از منابع پایه نقشی اساسی در زندگی بشر ایفا می‌نمایند. از این رو، حفاظت از همه منابع پایه مورد تأکید می‌باشد زیرا کلیه این منابع از جهات مختلف با یکدیگر ارتباط متقابل داشته و تخریب هر یک به تدریج موجب نقصان و تخریب منابع دیگر می‌گردد.

موارد استفاده و کاربرد خاک در زندگی روزمره کلیه افراد کره زمین و جانداران به وضوح قابل مشاهده است. اهمیت خاک و آب آنچنان است که خداوند در قرآن کریم از خاک به عنوان سرشت همه موجودات و از آب به عنوان مایه حیات و

زنده گردانیدن همه چیز یاد فرموده است. به عبارت دیگر، خاک بستر حیات (مانند بدن) و آب، روح حیات است. همانطور که روح بدن را زنده می‌گرداند، آب به خاک حیات می‌بخشد، که نتیجه آن تولید و رویش انواع گیاهان و جانداران و ریزجانداران است. از جمله کاربردهای مهم خاک در زندگی جامعه انسانی در کره زمین می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (۵۶ و ۶۱):

- بستری برای زندگی انسان، گیاهان و حیوانات
- بستری برای تولید غذا و الیاف
- مخزنی برای نگهداری آب، تصفیه آب، و بستری برای منابع آب سطحی (مانند اقیانوس‌ها و دریاها)
- بستری برای ایجاد تأسیسات زیربنایی (مانند راه‌ها و غیره)، شهرها و ساختمان‌ها
- مخزنی برای انواع کانی‌ها، مصالح و سوخت‌های فسیلی
- مخزنی برای دفن، تجزیه و فساد انواع پسماندها، فضولات، فاضلاب و مواد سمی
- گنجینه‌ای از تاریخ تمدن‌های پیشین و تاریخ طبیعی زمین

برخی از کارکردها یا خدمات خاک در کشاورزی عبارتند از (۴۱):

- حفظ تولیدات بیولوژیکی
- ذخیره‌سازی و بازچرخانی آب و عناصر غذایی
- تجزیه مواد آلی
- تجزیه و غیرفعال‌سازی ترکیبات سمی
- فرونشاندن عوامل بیماری‌زا (پاتوژن‌ها)
- حفظ کیفیت آب و تقویت سلامت حوضه آبگیر

با توجه به کاربردهای مهم خاک، بشر نیازمند است تا کیفیت آن را برای مقاصد مختلف حفظ و حتی بهبود بخشد، تا حیات بشر در کره خاکی به صورتی مطلوب و سالم برای نسل‌های حاضر و نسلهای آتی تداوم یابد.

خاکشناسی، یا به عبارت صحیح‌تر *علوم خاک*[1]، مطالعه و بررسی خاک به عنوان یک منبع طبیعی در سطح کره زمین است (۵۵ و ۷۸). علوم خاک در برگیرنده تشکیل، طبقه‌بندی و نقشه‌برداری خاک، تعیین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک‌ها، و ارتباط آنها با *مدیریت و استفاده از خاک* می‌باشد (۷۸). همانطور که ملاحظه می‌شود، مجموعه‌ای از علوم مختلف خاک در نهایت باید به نحوه مدیریت و استفاده از خاک کمک بنمایند. تعریف کلی "مدیریت خاک[2]" را می‌توان چنین بیان کرد: "مجموعه عملیاتی که بر روی خاک انجام می‌گیرد یا روی خاک اعمال می‌شود تا خاک در حد مطلوب بتواند آن کاربری خاص و مورد نظر را برآورده سازد". کاربری‌های دیگر خاک، همانطور که در پیش عنوان شد، می‌تواند کاربری‌های مدنی و شهری و زیست محیطی نیز باشد که در این صورت، هر یک از آنها مجموعه عملیات خاص خود را برای مدیریت می‌طلبد. طبق تعریف انجمن علوم خاک آمریکا[3]، "*مدیریت خاک* مجموعه‌ای از کلیه عملیات خاک‌ورزی، روشهای کشت و کار، کوددهی و کارهای دیگری است که به منظور تولید گیاهان برروی خاک انجام می‌شود یا روی خاک اعمال می‌گردد" (۷۸). این تعریف بر اساس استفاده از خاک برای تولید محصولات زراعی، یا به عبارت دیگر، مقاصد کشاورزی بیان شده است. در این تعریف بر مدیریت علمی خاک به منظور تولید گیاهان زراعی تأکید شده است، که شاخه‌ای از علوم خاک به نام *آگرونومی*[4] است. *آگرونومی* کاربرد علوم خاک و گیاه در مدیریت زمین و تولید محصولات زراعی است (۷۸). با توجه به این تعاریف، واژه"زراعت[5]" به عنوان معادل و ترجمه *اگرونومی* در ایران به نظر نادرست می‌باشد. ترجمه مناسبی برای این کلمه ارائه نشده است، ولی احتمالاً "مدیریت خاک‌های کشاورزی" یا "مهندسی زراعی" ترجمه‌های صحیح‌تری از آگرونومی نسبت به *زراعت* می‌باشند.

خاکشناس، متخصص یا کارشناسی است که خاک را به عنوان یکی از مؤلفه‌ها و اجزای تشکیل‌دهنده سیستم‌های طبیعی (مانند جنگل) و مصنوعی (مانند مزرعه)

[1] Soil Science
[2] Soil Management
[3] Soil Science Society of America
[4] Agronomy
[5] Crop Science

مطالعه و بررسی می‌کند. آگرونومیست یک متخصص یا کارشناس در مدیریت خاک و تولید گیاهان زراعی است. لذا، آگرونومی رشته‌ای از علوم خاک و خاکشناسی بوده، و یک خاکشناس با گرایش تولیدات گیاهان زراعی و یا باغی آگرونومیست محسوب می‌شود. رشته‌های کاری دیگر برای متخصصین علوم خاک عبارتند از اشتغال در مؤسسات آموزشی، مؤسسات پژوهشی، بخش عمران (مکانیک خاک)، بهداشت و محیط زیست، جرم‌شناسی (به ویژه متخصصین کانی‌شناسی خاک)، مدیریت واحدهای تولیدی کشاورزی (مزرعه، باغ و گلخانه) و تولیدکننده محصولات کشاورزی (به عنوان کشاورز، باغدار، گلخانه‌دار).

از آنجا که خاک بستر تولید در اهم فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری (مانند تولید علوفه) محسوب می‌شود، یک کشاورز تحصیل کرده در علوم خاک، قاعدتاً باید یک کشاورز بهتر و با درک بیشتر در تولید انواع مختلف محصولات گیاهی، و دارای توانایی‌های لازم در زمینه مدیریت زمین و تولید اقتصادی باشد. زیرا او می‌تواند با آگاهی از نیازمندی‌های گیاهان، با مدیریت علمی خاک و گیاه، نیازهای مختلف برای ایجاد شرایط رشد بهینه و مطلوب گیاه را بهتر فراهم نماید و یا مشکلات و موانع آن را برطرف سازد. همچنین، یک کشاورز خاکشناس با آگاهی از اهمیت خاک و آب به عنوان منابع ارزشمند پایه در تولید محصولات کشاورزی، با رعایت و لحاظ نمودن موارد زیست محیطی کمک مؤثری به حفظ کیفیت آنها و محیط زیست و همچنین، پایداری فعالیت‌های مختلف اقتصادی در بخش کشاورزی می‌نماید.

فصل دوم: مفاهیم پایداری در کشاورزی و مدیریت پایدار خاک

مفهوم "پایداری" در بخش‌های مختلف جامعه کاربرد روز افزونی پیدا کرده، و امروزه به عنوان دیدگاهی مهم و بنیادی محسوب می‌شود. واژه *پایداری*[1] شرایط تداوم، ثبات و استمرار را می‌رساند. *پایداری* توانایی یک چیز (مانند یک فعالیت، یک سیستم) در ادامه مؤثر و بدون ایجاد اثرات منفی به یک کار است. برای مثال، در یک اکوسیستم (زیست‌بوم)، *پایداری* عبارت از توانایی آن اکوسیستم در حفظ و برقراری فرآیندها و فعالیت‌های اکولوژیکی، تنوع زیستی و سودمندی در طول زمان می‌باشد. انجمن علوم خاک آمریکا *پایداری* را چنین تعریف می‌کند: "مدیریت خاک و عملیات کشت و کار به نحوی که باعث نقصان و تخریب کیفیت محیط زیست در داخل و خارج از محل مورد نظر نگردد، و عملیات انتخابی، پتانسیل عملکرد را از طریق فرسودگی و تحلیل منابع داخلی محل یا نهاده‌های تجدیدناپذیر، به تدریج کاهش ندهد" (۷۸).

۱- توسعه پایدار[2]

مفاهیم "توسعه پایدار" و "کشاورزی پایدار" در سالهای اخیر وارد فرهنگ توسعه اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی دنیا شده و به سرعت توجه اندیشمندان و برنامه‌ریزان را به خود جلب نموده است. *توسعه* به معنای استنتاج و استخراج توانمندی‌ها و امکانات بالقوه می‌باشد، بدین مفهوم که وضعیتی پیشرفته‌تر و یا مؤثرتر حاصل گردد و وضعیت موجود را ارتقاء و بهبود بخشد (۶). *توسعه پایدار* در تعریف سازمان خواربار وکشاورزی جهانی[3] (فائو)، مدیریت و نگهداری منابع طبیعی و جهت بخشی فناوری و ساختار اداری است، به نحوی که تأمین مداوم نیازهای بشری و رضایتمندی نسل حاضر و نسل‌های آینده را تضمین نماید (۴۷). به عبارت دیگر، *توسعه پایدار* به مفهوم زیستن در حد ظرفیت محیط زیست و فراهم آوردن فرصت زیستن برای همه و برای همیشه بر روی کره

---

[1] Sustainability
[2] Sustainable Development
[3] United Nations Food and Agriculture Organization (FAO)

زمین تعریف می‌گردد. بنابراین، پایداری دارای ابعاد فناوری، زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی می‌باشد.

مسئله *امنیت غذایی*[1] از مهمترین چالش‌های فراروی توسعه پایدار می‌باشد. طبق تعریف فائو، "امنیت غذایی" دسترسی عملی، اجتماعی و اقتصادی همه مردم در همه زمان‌ها، به غذای کافی، سالم و مغذی است تا نیازهای رژیم غذایی مورد علاقه خود را برای یک زندگی فعال و خوشایند تأمین نمایند (۴۹). بر اساس این تعریف امنیت غذایی دارای چهار مؤلفه است:

۱- **فراهمی غذا**: معیارهای سنجش این مؤلفه تولید داخلی، قابلیت واردات، ذخایر غذایی و کمک‌های غذایی هستند.

۲- **دسترسی به غذا**: این مؤلفه وابسته به سطح فقر، قدرت خرید خانواده، وجود زیرساخت‌های مناسب حمل و نقل و بازار و سیستم توزیع غذا است.

۳- **ثبات عرضه و دسترسی به غذا**: این مؤلفه می‌تواند تحت تأثیر خاک، آب و هوا، نوسانات قیمت‌ها، بلایای طبیعی و غیرطبیعی، و عوامل متعدد سیاسی و اقتصادی دیگر قرار گیرد.

۴- **مصرف غذای سالم و مغذی**: این مؤلفه نیز وابسته به فرهنگ تغذیه، ایمنی غذایی، کیفیت غذایی، دسترسی به آب آشامیدنی سالم و رعایت اصول بهداشت است.

عدم وجود یا خدشه و نقصان در هر یک از ابعاد فوق باعث بروز ناامنی غذایی در یک جامعه یا کشور می‌گردد. هر چه این نقصان عمیق‌تر و گسترده‌تر باشد، ناامنی غذایی نیز شدیدتر خواهد بود. بنابراین، در جامعه امروز *امنیت غذایی* دیگر تنها به معنای خودکفایی در تولید یک یا چند محصول اساسی و یا پر بودن سیلوها از غلات نیست هرچند هر دو از عوامل مؤثر در ایجاد آن هستند. به طور قطع همه افراد یک جامعه، حتی کشاورزان و ساکنین مناطق روستایی، توانایی تولید تمامی غذای مورد نیاز خود را ندارند. برای تهیه غذای مورد نیاز خانواده، سرپرست خانواده نیازمند اشتغال و کسب درآمد است تا بتواند غذای مورد نیاز

[1] Food security

را با در نظر گرفتن شأن و حرمت انسانی تهیه نماید. لذا، کلیه فعالیت‌های اقتصادی و یا اجتماعی که منجر به تولید پایدار، حفاظت از محیط زیست، بهبود کیفیت زندگی و اشتغال‌زایی گردد، به ایجاد و یا ارتقاء امنیت غذایی در کشور کمک خواهد کرد. برای مثال، محصولاتی مانند زعفران در ظاهر نقشی در امنیت غذایی ندارند اما، زعفران محصولی پردرآمد، ارزآور و از همه مهمتر اشتغال‌زا می‌باشد. اشتغال یعنی کسب درآمد، و کسب درآمد به معنای داشتن قدرت خرید و تأمین نیازهای غذایی می‌باشد، که منجر به ایجاد و یا تقویت امنیت غذایی می‌گردد. تولید پشم و کرک مثال دیگری از محصولاتی است که در سبد غذایی جامعه وجود نداشته و به ظاهر نقشی در امنیت غذایی کشور ندارند. لیکن، توسعه تولید پشم از طریق توسعه دامداری، علاوه بر اشتغال‌زایی مستقیم، به معنای توسعه تولید مواد اولیه صنعت فرش کشور نیز می‌باشد. اهمیت این صنعت در ارزآوری، درآمد و اشتغال‌زایی و در نتیجه، امنیت غذایی، بر کسی پوشیده نیست. در نتیجه، تمامی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی در بخش کشاورزی و منابع طبیعی و همچنین، در بخش‌های صنعت و خدمات، به نوعی به یکدیگر وابسته بوده، و توسعه موزون و پایدار آنها در راستای ارتقاء امنیت اقتصادی، اجتماعی و غذایی کشور می‌باشد.

۲- توسعه پایدارروستایی[1]

امنیت غذایی و پایداری در تولید غذا برای افراد جامعه از ارکان مهم توسعه پایدار هر جامعه به حساب می‌آید. بخش کشاورزی رسالت مهم تأمین نیازهای غذایی بشر، و همچنین ایجاد و ارتقاء امنیت غذایی را به عهده دارد. علاوه برآن، این بخش با ایجاد اشتغال نقش مهمی در معیشت خانوارهای روستایی و پویایی اقتصاد ملی ایفا می‌نماید. از آنجا که کشاورزی و تولید محصولات غذایی عمدتاً در مناطق روستایی انجام می‌پذیرد، *توسعه پایدار روستایی* نقشی بنیادین در نیل به توسعه پایدار ایفا می‌نماید.

"روستا" مجموعه یک یا چند مکان و اراضی بهم پیوسته اعم از کشاورزی و غیرکشاورزی است که در خارج از محدوده شهرها واقع شده، و دارای محدوده

[1] Sustainable Rural Development

ثبتی و عرفی مستقل است. *توسعه پایدار*، همانطور که قبلاً عنوان شد، توسعه‌ای است که بدون کاهش توانایی نسل‌های آینده در برآوردن نیازهایشان، نیازهای نسل کنونی را تأمین می‌کند و لازمه آن نگرش همه جانبه و یک پارچه در تمامی ابعاد اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست محیطی است. "توسعه پایدار روستایی" ادامه و کاربرد تعریف توسعه پایدار در مناطق روستایی می‌باشد. *توسعه پایدار روستایی* تحولات مستمر، همه جانبه و مبتنی بر رویکردی کُل‌نگر و سیستماتیک است که در چارچوب آن ظرفیت‌ها و توانایی‌های اجتماعات روستایی در جهت رفع نیازهای مادی و معنوی و مشارکت مؤثر آنها برای ارتقاء کیفیت زندگی در فرآیندهای شکل‌دهنده نظام سکونت محلی (اکولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و نهادی) رشد و تعالی می‌یابد (۲۹). بنابراین، توسعه پایدار روستایی اصول مشارکت[1]، عدالت و شمول[2] را به یکدیگر پیوند داده و باید در نظر گیرد. در فرهنگ توسعه پایدار روستایی، *مشارکت* شامل دخالت دادن مردم در فرآیندهای تصمیم‌گیری، اجرای برنامه‌ها، شریک شدن در منافع حاصل از برنامه‌های توسعه و همکاری در ارزشیابی این برنامه‌ها است. لذا، توسعه پایدار روستایی و دستیابی به کشاورزی پایدار فرآیندی جامعه‌مدار می‌باشد، و بر پایه مشارکت دولت و مردم استوار است. *شمول* (یا دربرگیری) یعنی فرآیند اطمینان از اینکه هر فرد بدون توجه به پیشینه، تجربیات و شرایط می‌تواند به خدمات و تسهیلات مورد نیاز برای بهبود زندگی خود دسترسی داشته باشد. به عبارت دیگر توسعه باید در برگیرنده همه اقشار مردم باشد.

۳- کشاورزی پایدار[3]

کشاورزی پایدار بخشی بسیار مهم و اساسی در توسعه پایدار محسوب می‌شود. این بدان علت است که با افزایش جمعیت کره زمین، مسئله امنیت غذایی و تولید غذا و تغذیه جوامع بشری به عنوان چالشی مهم فراروی سیاستگذاران و مدیران جوامع بشری در آمده است. در اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی (اوایل دهه ۶۰ شمسی) اصل "اثر متقابل اکولوژیکی" مطرح و به تدریج تکامل یافت. مفهوم آن بر اساس

[1] Participation
[2] Inclusion
[3] Sustainable Agriculture

کشاورزی قابل تجدید استوار بود. از اواخر دهه ۱۹۸۰ (تقریباً از سال ۱۳۶۶ شمسی به بعد) اثرات متقابل کشاورزی با جامعه مطرح شد. شالوده‌ای از این دو اصل مفاهیم و اهداف *کشاورزی پایدار* را تشکیل می‌دهد.

"کشاورزی" مجموعه علوم و فنونی است که در تولید فرآورده‌های کشاورزی از طریق کاشت گیاهان و پرورش حیوانات به کار می‌رود. به عبارت دیگر، *کشاورزی* نوع گسترده‌ای از استفاده از منابع است که شامل کلیه شکل‌های بهره‌برداری از زمین برای تولید فرآورده‌ها و کالاهای بیولوژیک (حیوانی و گیاهی) می‌باشد. علوم کشاورزی نه تنها شامل موضوعات مربوط به تولید گیاه و دام می‌شود، بلکه شامل عملیات فرآوری، تولید صنعتی غذا و الیاف، بازاریابی و مصرف نیز می‌باشد.

کشاورزی پایدار، توسعه پایدار در بخش کشاورزی است. با توجه به مفهوم توسعه پایدار و رسالت بخش کشاورزی، *کشاورزی پایدار* تأمین نیازهای غذایی نسل حاضر است، بدون آنکه تأمین نیازهای نسلهای آینده را به مخاطره اندازد. تعاریف متعددی از کشاورزی پایدار ارائه شده، که نشان از احساس نیاز به یک بینش و دیدگاه جامع‌نگر نسبت به مسئله کشاورزی است. طبق تعریف انجمن آگرونومی آمریکا *کشاورزی پایدار* نوعی از کشاورزی است که در درازمدت باعث ارتقاء و بهبود کیفیت محیط زیست و منابعی که کشاورزی به آنها وابسته است، گردد؛ نیازهای اساسی غذایی انسان را فراهم نماید؛ از حیث اقتصادی پویا و مستمر باشد و کیفیت زندگی کشاورزان، و به طور عام، جامعه را بهبود و ارتقاء بخشد (۷۸). با توجه به تعریف فوق، حفاظت از منابع طبیعی (منابع پایه)، سوددهی اقتصادی و ملاحظات اجتماعی مهمترین مواردی هستند که بخش کشاورزی باید در نظر بگیرد. جامع‌ترین تعریف را که کلیه مفاهیم متفرقه موجود در تعاریف مختلف کشاورزی پایدار در نظر می‌گیرد تعریف سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (فائو) است. فائو *کشاورزی پایدار* را چنین تعریف می‌نماید: "مدیریت وحفاظت منابع طبیعی پایه و هدایت و راهبری تغییرات تشکیلاتی و تکنولوژیکی به نحوی که بتواند نیازهای مستمر نسلهای حال و آینده را تضمین نماید. چنین توسعه پایداری در بخش کشاورزی، جنگلداری، شیلات، دامپروری، منابع طبیعی و علوم وابسته به آنها، موجب حفظ و بقای منابع آب و خاک و گونه‌های گیاهی و جانوری شده و از نظر زیست محیطی غیرمخرب، از لحاظ فنی

مطلوب، و از نظر اقتصادی و اجتماعی نیز مقرون به صرفه و قابل قبول است. کشاورزی پایدار به دنبال ماندگاری قدرت اقتصادی، ارتقاء و حفظ کیفیت محیط زیست، و مسئولیت‌پذیری اجتماعی است. کشاورزی پایدار باید از نظر اکولوژیکی سالم، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و پویا، و از نظر اجتماعی عادلانه و جامعه‌پسند باشد" (۲۹ و ۴۸). بنابراین، در کشاورزی پایدار حداکثر عملکرد به هر قیمت منسوخ و رد شده است. از این رو معیارها و ضوابط تعریف فائو از کشاورزی پایدار عبارتند از:

۱- تأمین نیازهای غذایی نسل‌های کنونی و آتی از حیث کمیت و کیفیت، و تأمین دیگر نیازهای بشر به کالاها و فرآورده‌های کشاورزی.

۲- ایجاد اشتغال و کار کافی، تضمین درآمد و ایجاد شرایط کاری و زندگی انسانی برای همه کسانی که دست‌اندرکار تولیدات کشاورزی هستند.

۳- حفظ و در صورت امکان، بهبود ظرفیت کلی تولید منابع پایه طبیعی و ظرفیت احیا و باززایی[1] منابع تجدیدپذیر، بدون آسیب‌رسانی به کارکرد چرخه‌های طبیعی پایه و تعادلات اکولوژیکی، تخریب و انهدام هویت و اصالت اجتماعی-فرهنگی جوامع روستایی و یا آلودگی محیط زیست.

۴- افزایش انعطاف‌پذیری و توان بازگشت‌پذیری بخش کشاورزی در مقابل عوامل نامساعد طبیعی و اقتصادی-اجتماعی و مخاطرات دیگر، و تقویت اعتماد به نفس در جمعیت‌های روستایی.

یک برنامه موفق کشاورزی پایدار اهداف زیر را در بر می‌گیرد (۶۵):

۱- ایجاد و ارتقاء امنیت غذایی با در نظر گرفتن نیازهای نسل‌های آینده

۲- اشاعه مسئولیت‌پذیری و حفظ و نگهداری از منابع پایه و محیط زیست از طریق حفظ و بهبود کیفیت خاک، کاهش وابستگی به منابع تجدیدناپذیر در داخل و خارج از مزرعه مانند سوخت، کودها و آفت‌کشهای مصنوعی، و حداقل اثرات نامطلوب بر ایمنی بشر، حیات وحش، کیفیت آب و منابع طبیعی دیگر

[1] Regenerative capacity

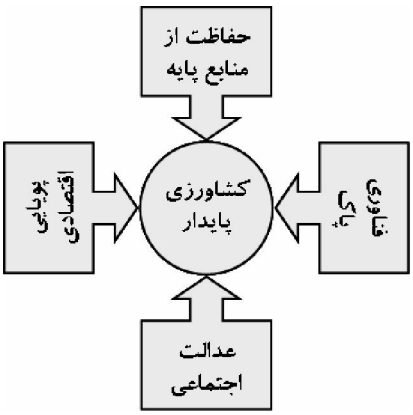
۳- ایجاد درآمد مستمر در مزرعه و ارتقاء سودآوری کشاورزان در کوتاه و بلند مدت

۴- قابلیت پذیرش از سوی جامعه

۵- اشاعه و گسترش خانواده‌ها و جوامع روستایی باثبات و مرفه

۶- حفاظت از تنوع زیستی

همانطور که ملاحظه می‌شود، این اهداف در راستای ابعاد زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی کشاورزی پایدار می‌باشند. بنابراین، هدف اصلی کشاورزی پایدار تأمین نیازها و منافع نسلهای حاضر و آینده از طریق ایجاد تعادل بین چهار عامل فناوری (فناوری پاک و سازگار با محیط زیست)، بوم‌شناختی (بهبود کیفیت و حفظ منابع پایه)، اقتصاد (پویایی اقتصادی و سودآوری کوتاه و بلند مدت) و اجتماعی (مسئولیت پذیری، بهبود معیشت و کیفیت زندگی شخصی، خانوادگی و اجتماعی) می‌باشد (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱- ابعاد و اهداف چهارگانه کشاورزی پایدار.

قابل ذکر است که عامل بنیادین در کلیه نظام‌های پایدار، مسئله زمان است. مشاهده نتایج به سرعت امکان‌پذیر نیست و موفقیت در طول نسل‌ها یا حتی قرن‌ها اندازه‌گیری می‌شود. از این رو، شناخت و آگاهی از توانایی‌ها و کیفیت اکوسیستم‌ها و همچنین، توانایی و نحوه کارکرد سیستم‌های کشاورزی جایگزین، برای حرکت مناسب به سوی کشاورزی پایدار بسیار ضروری است.

۳-۱- فناوری

عامل "فناوری" از جمله عوامل اساسی و بنیادین در دیدگاه کشاورزی پایدار است. *تکنولوژی* یا *فناوری* عبارت است از کاربرد دانش و علوم برای مقاصد عملی و دستیابی به اهداف، کالاها و خدمات مورد نیاز مردم (۱۳). عبارات گوناگونی در این مورد ابداع و بکار گرفته شده، که مفهوم آنها در پایه و اساس بسیار نزدیک به هم هستند. به عنوان مثال می‌توان به مفاهیمی نظیر *بهره‌وری سبز*، *فناوری پاک* و *فناوری سازگار با محیط زیست* اشاره کرد. *فناوری پاک* یا سازگار با محیط زیست گروهی متنوع از کالاها، خدمات و اقداماتی است که از منابع انرژی و مواد تجدیدپذیر استفاده می‌کنند، بهره‌برداری از منابع طبیعی را به طور چشمگیری کاهش می‌دهند، و پخش و انتشار ضایعات را به شدت کاسته و یا به طور کلی حذف می‌نمایند (۱۳). این فناوری‌ها در کلیه زیربخشهای کشاورزی کاربرد دارند. هرچند نحوه اجرای آنها بسته به زمان، مکان، اکوسیستم و جامعه متفاوت است، ولیکن اهداف آنها در همه موارد یکسان است.

ایجاد توازن بین حفاظت از محیط زیست و رشد اقتصادی، همواره از چالش‌های ظریف و بحث‌انگیز بوده است. در اینجاست که نقش پراهمیت فناوری‌های سازگار با محیط زیست مشخص می‌شود. این فناوری‌ها همزمان با کاهش مصرف انرژی و ضایعات، که تأثیر بسزائی در حفظ محیط زیست دارند، سودآوری اقتصادی تولیدکنندگان را نیز در کوتاه و بلند مدت تأمین می‌نمایند. ضوابط ارزیابی و انتخاب فناوری‌های پاک یا سازگار با محیط زیست در کشاورزی بر اساس معیارهای تولید سالم و اقتصادی، محیط زیست، و حفظ ارزش‌های طبیعت می‌باشد. معیار اخیر بدان معنی است که بخش کشاورزی باید جزئی از بدنه مدیریت و ایجاد طبیعت زیبا، زیست‌بوم سالم برای حیات وحش و گیاهان وحشی، آب شرب سالم، و تفریحگاه و تفرجگاه باشد. کاهش بوی بد ناشی از تولید دام و کودهای دامی و کارخانجات فرآوری انواع محصولات کشاورزی، افزایش تنوع زیستی در مزارع و محیط اطراف آنها از طریق مصرف بهینه سموم شیمیایی، و احیای اراضی طبیعی از طریق جنگلکاری، از جمله اقداماتی است که به حفظ ارزش طبیعت توسط بخش کشاورزی کمک می‌نماید.

۳-۲- حفاظت از منابع پایه و محیط زیست

زمین، نیروی کار، سرمایه و مدیریت به عنوان عوامل تولید در اقتصاد محسوب می‌شوند. خاک و آب، به عنوان منابع پایه، در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. "محیط زیست" مجموعه‌ای از شرایط فیزیکی، جغرافیایی، بیولوژیکی، اقتصادی، فرهنگی و سیاسی است که شخص یا موجودی را احاطه کرده و در نهایت شکل و طبیعت بقای او را تعیین می‌کند (۱۳). عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی شامل اقلیم، آب، خاک، کلیه لایه‌های جوی و مواد و موجودات زنده آلی و غیر آلی می‌باشند. بنابراین، مزرعه، روستا، شهر، کشور و نهایتاً کره زمین، همگی شامل محیط زیست کلیه افراد می‌باشند. امروزه مسجل شده است که فعالیت‌های مخرب وآلوده‌کننده محیط زیست در نقطه‌ای از دنیا، تأثیرات سوء خود را در نقطه‌ای دیگر از کره زمین باقی می‌گذارد. بنابراین بهره‌برداران و تولیدکنندگان، از جمله در بخش کشاورزی، باید در قبال محیط زیست و حفاظت از منابع پایه مسئولیت‌پذیری داشته و آن را به مرحله عمل درآورند.

از جمله انواع سرمایه‌های مهم، *سرمایه طبیعی* است. "سرمایه طبیعی" همان ذخایر متنوع منابع طبیعی است که از آنها خدماتی مانند چرخه عناصر غذایی و حفاظت از فرسایش، که برای کسب معیشت مفید و سودمند هستند، به دست می‌آید (۹). سرمایه طبیعی شامل کلیه منابع عمومی ناپیدا و نامحسوس (مانند هوا و تنوع زیستی) و اموال تقسیم‌پذیری که به طور مستقیم برای تولید به کار می‌روند (مانند خاک، آب و گیاهان)، می‌باشد. عدم ثبات سیاسی، ناامنی اقتصادی و گسترش *فقر*، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، خطراتی جدی برای نقصان سرمایه اجتماعی و *استفاده پایدار* از سرمایه‌های طبیعی و منابع پایه تولید (خاک، آب و تنوع زیستی) می‌باشند. طبق تعریف برنامه توسعه سازمان ملل متحد[1] "فقر" یعنی محرومیت از ضروریات اساسی رفاه، مانند مسکن مناسب، غذا، درآمد کافی، اشتغال، دسترسی به خدمات اجتماعی لازم و موقعیت اجتماعی (۱۰). "استفاده پایدار" یعنی استفاده از سرمایه طبیعی در حدی که نیازهای نسل حاضر را، بدون به مخاطره انداختن توانمندی نسل‌های آینده در

[1] United Nations Development Program (UNDP)

برآوردن نیازهای خود، برآورده کند (۱۰). به عبارت دیگر، به استفاده از منابع مختلف سرمایه طبیعی در حد *عملکرد پایدار* آن منبع، استفاده پایدار گفته می‌شود. *عملکرد پایدار* مقداری است که از یک منبع طبیعی تجدیدشونده (مانند جنگل، منابع آب) می‌توان برداشت کرد، بدون آنکه قابلیت و توانایی آن منبع برای پایداری و بقا کاهش یابد (۹).

تنوع زیستی از ارکان مهم سرمایه طبیعی محسوب می‌شود. "تنوع زیستی[1]" تعداد و تنوع موجودات مختلفی است که به طور طبیعی در مجموعه‌های زیستی وجود دارند (۸). موجودات در سطوح اکوسیستم‌های کامل تا ساختارهای بیوشیمایی که اساس مولکولی وراثت هستند (ژن‌ها) طبقه‌بندی شده‌اند (۸). در نتیجه، این واژه در برگیرنده اکوسیستم‌های مختلف (تنوع اکولوژیکی)، گونه‌های مختلف (تنوع گونه‌ای) و ژن‌های مختلف (تنوع ژنتیکی) است که برای ایجاد یک محیط زیست سالم باید موجود باشند. حفظ و نگهداری از تنوع زیستی باعث ارتقاء ثبات، پایداری و انعطاف‌پذیری اکوسیستم‌های طبیعی (مانند حوضه آبخیز، جنگل) و تحت مدیریت (مانند مزرعه و باغ) می‌گردد.

۳-۳- پویایی اقتصادی

سرمایه از دیگر عوامل اساسی مؤثر در تولید اقتصادی محسوب می‌شود. علاوه بر سرمایه مالی، *سرمایه اجتماعی* و *سرمایه طبیعی* نیز از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشند. "سرمایه اجتماعی" ویژگی‌های تشکیلات اجتماعی است، مانند هنجارها، معیارها، اعتماد و شبکه‌هایی که اساس روابط در تولید، تجارت و اجتماع را تشکیل می‌دهند و کارآیی جامعه را به طور هماهنگ بهبود می‌بخشند (۷). این تعریف تأکید دارد که سرمایه اجتماعی تعامل و همکاری‌های درون گروهی و برون گروهی بین آحاد مردم یک جامعه یا کشور را فراهم می‌سازد، که این خود تأثیری به سزا بر روی بهره‌وری، تولید و اشتغال در جامعه دارد. مؤلفه‌های کلیدی در سرمایه اجتماعی معیارها و ارزش‌های آن جامعه، میزان اعتماد در

[1] Biological Diversity (Biodiversity)

جامعه و شبکه‌های نهادی و اجتماعی هستند. هر چه این مؤلفه‌ها در یک جامعه قویتر باشد، سرمایه اجتماعی آن کشور نیز قویتر خواهد بود.

نیاز به غذا و الیاف از بنیادی‌ترین نیازهای جوامع بشری است. این نیازها بازار مناسبی را برای انواع محصولات کشاورزی در همه کشورها فراهم آورده است. عرضه مستقیم و بدون واسطه این نوع محصولات، به طور یقین بر تعدیل قیمت این محصولات و رضایتمندی مصرف‌کنندگان تأثیرات مطلوبی خواهد داشت. علاوه بر آن، بازارهای مصرف بین‌المللی نیز فرصت مناسبی را برای پویایی اقتصادی و استمرار تولیدات کشاورزی فراهم کرده است. بنابراین، کشاورزان نیازمند بهره‌برداری از شیوه‌های کارآمد بازاریابی برای حضور و رقابت در بازارهای جهانی می‌باشند. اجرای عملیات مطلوب کشاورزی، بهره‌برداری از فناوری‌های سازگار با محیط زیست، و نهایتاً بکارگیری اصول تولید پاک، منجر به تولید بیشتر محصولات سالم و افزایش قدرت رقابت کشاورزان در سطح بازارهای ملی و بین‌المللی می‌گردد. البته، نقش سیاستگذاری‌ها و مقررات و قوانین مناسب در خصوص واردات و صادرات را نمی‌توان نادیده گرفت.

نکته قابل توجه این است که در کشاورزی پایدار، استمرار سودآوری، و یا به عبارت دیگر، پایداری تولید اقتصادی مد نظر می‌باشد، نه سود فراوان و مقطعی. در اینجا این سؤال مطرح می‌شود که آیا یک کشاورز با ۱۵-۱۰ سال سابقه موفق تولید محصولات کشاورزی، واحد تولیدی خود را به صورت پایدار مدیریت می‌کند؟ باید گفت که از دیدگاه صرفاً اقتصادی، این بهره‌بردار، با توجه به بازار کنونی موفق عمل کرده و جایگاه خود را در بازار حفظ کرده است. ولیکن، از دیدگاه پایداری، مزرعه، باغ، گلخانه یا واحد دامپروری هنگامی پایدار است که علاوه بر برآوردن نیاز معیشتی بهره‌بردار، به تقویت پایداری جامعه در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و امنیت غذایی نیز کمک نماید. به عبارت دیگر، تنها حداکثر عملکرد، که ممکن است حداکثر درصد سودآوری نیز نباشد، واحد تولیدی را پایدار نمی‌سازد. آنچه آن را سیستمی پایدار می‌سازد حداکثر تولید محصول پاک و سالم، حداقل خسارات زیست محیطی، ایجاد شرایط کاری سالم و استمرار سودآوری مناسب است.

۳-۴- عدالت اجتماعی

دسترسی به محصولات مغذی و سالم از حقوق اجتماعی هر شهروند می‌باشد، که قدم اول در این خصوص، تولید محصول سالم است. کشاورزان با بکارگیری راهبردها و فناوری‌های مطلوب و تولید محصولات مغذی و سالم، نقشی اساسی در برآورده شدن حقوق اجتماعی مردم جامعه ایفا می‌نمایند. ایجاد محیط کاری سالم و ایمن، و تهیه وسایل و ادوات مناسب برای کارگران مزرعه و یا واحد تولیدی، در حفظ سلامتی او و خانواده تحت نظر او تأثیر بسزایی دارد. ابتلای کارگران به امراض سخت و لاعلاج و از کارافتادگی آنها به عنوان سرپرست خانواده، خانواده او را نیز با مشکلات عدیده اقتصادی و اجتماعی روبرو می‌سازد که تأثیرات سوء آن در سطوح مختلف جامعه، که کشاورز و خانواده او نیز بخشی از آن هستند، بروز خواهد کرد.

مصرف نهاده‌های شیمیایی، از جمله انواع کودها، آفت‌کش‌ها و مواد ضدعفونی کننده، در بخش کشاورزی کشور مرسوم می‌باشد. در صورت عدم استفاده صحیح و بی‌رویه از این نهاده‌ها و عدم مراعات بهداشت محیط، آلودگی منابع آب و خاک توسط کشاورزان حتمی است. علاوه بر آن، بقایای بیش از حد مواد شیمیایی در محصولات کشاورزی، باعث ایجاد انواع مسمویت و امراض در مصرف‌کنندگان می‌شود. به طور کلی، کشاورزان، دامداران، آبزی‌پروران و افرادی که به نحوی به آنها خدمات ارائه می‌دهند، با در نظر گرفتن موارد ذیل، سودمندی بخش کشاورزی را در قبال جامعه و خویش حفظ و تداوم می‌بخشند.

- کاهش و یا حذف مصرف نهاده‌های شیمیایی و آلوده‌کننده محیط زیست
- کاهش تولید ضایعات، پسماند و فاضلاب، و فرآوری و مصرف آنها از طریق کامپوست‌سازی، تصفیه فاضلاب و غیره
- کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای از طریق حذف و یا کاهش مصرف سوختهای فسیلی
- افزایش کارآیی مصرف انرژی
- تولید محصول پاک و عاری از مواد مسموم کننده

در این میان، تولید محصول پاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کیفیت و سلامتی محصولات کشاورزی از جمله مهمترین موضوعاتی است که هم توجه تولیدکنندگان و هم مصرف‌کنندگان را به خود جلب کرده است. کیفیت بالای محصولات تولید شده، در وهله اول قدرت رقابت کشاورزان را، به ویژه در بازارهای جهانی، افزایش می‌دهد. مصرف‌کنندگان نیز به طور کلی مایل به تغذیه با مواد غذایی مغذی و عاری از هورمون و مواد شیمیایی خطرناک، و به عبارت دیگر محصولی سالم و پاک می‌باشند. با توجه به اهداف توسعه پایدار و کشاورزی پایدار، مفاهیم نسبتاً مشابه *تولید پاک*[1] و *تولید پاک‌تر* مورد توجه قرار گرفته‌اند. مصداق بارز این مفاهیم، گسترش روزافزون تولید و مصرف محصولات ارگانیک می‌باشد. "تولید پاک" بکارگیری مستمر یک راهبرد زیست محیطی پیشگیرانه و یکپارچه در فرآیندهای *تولید*، *کالاها* و *خدمات* است، به نحوی که منجر به افزایش کارآیی کلی و کاهش بروز خطرات برای انسان و محیط زیست گردد (۱۳). در *تولید پاک*، سودآوری اقتصادی برای تولیدکننده و سلامتی انسان و محیط زیست لازم و ملزوم یکدیگر بوده، و هر دو جنبه باید درکنار هم دیده شوند. با عنایت به مفهوم تولید پاک، در فعالیتهای کشاورزی، *تولید پاک* تلفیقی از صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌ها، آب و انرژی، حذف مواد سمی و خطرناک، کاهش مقدار و سمیت مواد متصاعد شده (مانند گازهای گلخانه‌ای)، و کاهش ضایعات حاصل از فعالیت‌های کشاورزی و حتی‌الامکان، بازیافت و استفاده مجدد از آنها در چرخه تولید می‌باشد.

هدف از *تولید پاک* در مورد *کالا*، که در کشاورزی محصولات تولید شده (مانند غلات، لبنیات و گوشت) می‌باشند، کاهش اثرات نامطلوب بهداشتی و ایمنی آن کالاها طی چرخه حیات آنها است، یعنی از زمانی که بذر گیاه خریداری و کاشته می‌شود، تا زمانی که به دست مصرف‌کننده می‌رسد. بنابراین، عاری بودن محصول از مواد شیمیایی مضر برای سلامتی جامعه و محیط زیست، اصلی اساسی و ضروری می‌باشد.

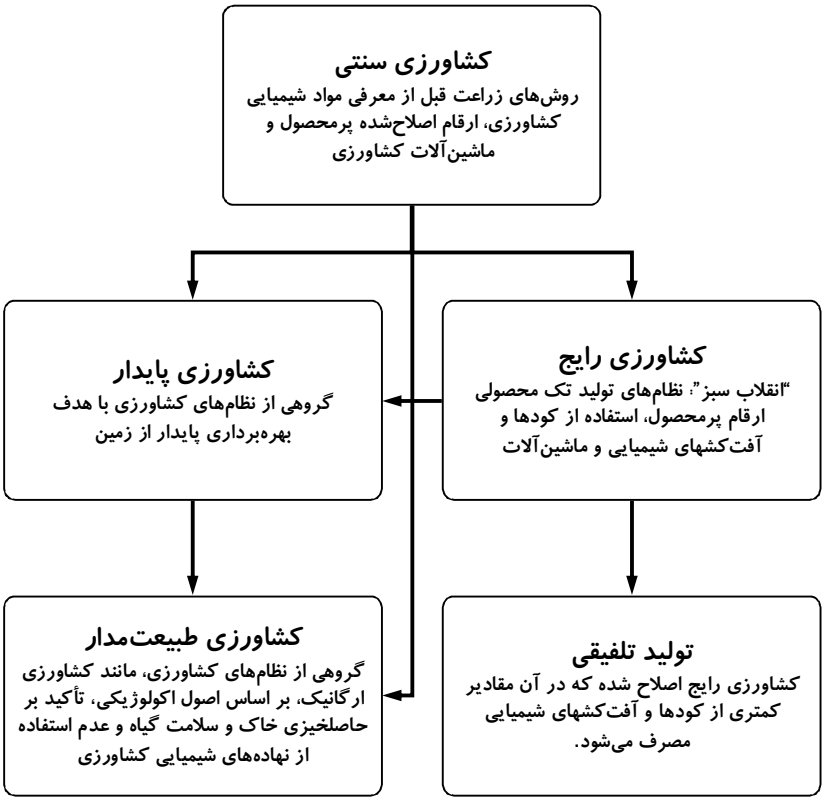
تولید پاک در *خدمات* به معنای اعمال ملاحظات زیست محیطی در طراحی و ارائه خدمات است. در اینجا، اهمیت سهم ارائه‌کنندگان خدمات مختلف به کشاورزان،

[1] Clean Production

چه پیش از احداث واحد تولیدی و چه پس از آن، و نیز پس از برداشت محصولات، در پیشبرد اهداف توسعه پایدار کشاورزی مشخص می‌شود. ارائه بذور سالم و بهداشتی، تولید سموم و کودهای شیمیایی استاندارد، طراحی گلخانه استاندارد و تاسیسات جانبی آن، طراحی مطلوب سیستمهای آبیاری و ارائه خوراک دام و داروهای سالم و بهداشتی، از جمله وظایفی است که بخش خدمات به تولید پاک و نیل به کشاورزی پایدار، ملزم به انجام آن هستند.

۴- نظام‌های مدیریت زراعی

طبق شواهد باستان‌شناسی، تمدن مدنی بشر با استقرار در یک مکان و کشاورزی آغاز گردید. طی قرن‌های متمادی، با پیشرفت‌های علمی و فنی در زمینه ساخت ابزار، نظام‌های کشاورزی سنتی نیز دستخوش تغییر و تحولات عظیمی گردیده است. کشاورزی بر اساس بهره‌برداری از منابع پایه و تنوع زیستی استوار است. با گسترش شهرنشینی و افزایش جمعیت کره زمین، فشار بر این منابع برای تولید غذا و الیاف بیشتر افزایش یافت که منجر به تخریب شدید و کاهش کیفیت و سلامت این منابع گردید. در نتیجه، تحولات اساسی در نحوه مدیریت زراعی در بخش کشاورزی به وقوع پیوسته است (شکل ۲-۲). این تحولات، نه بر اساس پیشرفت ابزار، بلکه بر اساس پیشرفت‌های فرهنگی و اجتماعی بشر و به مخاطره افتادن منابع حیات درخور شأن انسان حاصل شده است. در همین راستا، پیدایش مفهوم کشاورزی پایدار واکنشی به کاهش کیفیت منابع طبیعی توسط کشاورزی مدرن (کشاورزی تجاری) بود. مبحث کشاورزی پایدار باعث شد تا تغییرات بزرگی در کشاورزی رایج آغاز گردد، تا آن را با محیط زیست بیشتر سازگار، و از نظر اقتصادی پویا و متداوم سازد.



شکل ۲-۲- مسیر تکوین و تحولات نظام‌های کشاورزی سنتی به نظام‌های مدرن تولید.

۴-۱- کشاورزی رایج[1]

کشاورزی رایج (شکل ۲-۲) از دهه ۱۹۵۰ میلادی با *انقلاب سبز* آغاز شد و به سرعت گسترش یافت. هدف اصلی آن حداکثر عملکرد یک محصول به خصوص است. کشاورزی رایج بر اساس مجموعه‌ای از فناوری‌های زیر می‌باشد:

- کشت تک محصولی (تک کشتی) ارقام پرمحصول
- خاک‌ورزی شدید خاک با ماشین آلات
- استفاده از علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌های شیمیایی برای نابودی آفات، امراض و علف‌های هرز

[1] Conventional Agriculture

- استفاده زیاد از کودهای شیمیایی (به ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و غالباً همراه با آبیاری زیاد
- استفاده زیاد از منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر (فسیلی)

در اوایل امر، انقلاب سبز نتایج بسیار موفقیت‌آمیزی به بار آورد به نحوی که، عملکرد محصولات به طور قابل توجهی افزایش یافت (به ویژه در آمریکای شمالی و اروپا) و قحطی را در برخی از کشورها مانند هند، کاهش داد، به طوری که آنها در محصولاتی مانند غلات خودکفا، و حتی برخی از آنها، صادرکننده غلات نیز شدند. ولیکن، پس از مدتی اثرات جانبی آن به شکل‌های زیر بروز نمود:

- فرسایش و شور شدن خاک، و به طور کلی تخریب و کاهش حاصلخیزی خاک
- آلودگی منابع آب که تهدیدی برای سلامت انسان‌ها، حیوانات و گیاهان است.
- بهره‌برداری بیش از حد و نامعقول از منابع آب که تهدیدی جدی برای جوامع انسانی است.
- کاهش تنوع زیستی و تخریب مناظر طبیعی
- بقایای آفت‌کش‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها در غذاها و تأثیر بر سلامتی انسان

از اینجا بود که بشر به فکر تجدید نظر در مورد این نظام کشاورزی و ارائه راهکارهایی جدید برآمد، تا کشاورزی و زیست‌بومهای طبیعی یکدیگر را پشتیبانی و تقویت نمایند. بنابراین، عملیات و کارهایی که منجر به دستیابی به نظامهای کشاورزی پایدار شده و همزمان با محیط زیست طبیعی و توسعه شهری و صنعتی سازگاری و همخوانی دارند، شناسایی و گسترش یافتند (مانند سیستم‌های تلفیقی تولیدات گیاهی و حیوانی و انواع نظامهای کشاورزی طبیعت‌مدار).

۲-۴- نظام‌های کشاورزی طبیعت‌مدار (اکولوژیک، ارگانیک و طبیعی)

"کشاورزی ارگانیک[1]" یا *کشاورزی بوم‌شناختی* (اکولوژیک) یک نظام مدیریت تولید اکولوژیک است که به تقویت و گسترش تنوع زیستی، چرخه‌های بیولوژیکی و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک می‌پردازد (شکل ۲-۲). این نظام بر پایه حداقل استفاده از نهاده‌های خارج از مزرعه و اقدامات مدیریتی جهت بازسازی، نگهداری و تقویت توازن اکولوژیکی بنا شده است. در این نظام استفاده از نهاده‌های شیمیایی (کود و سموم)، هورمون‌ها، و محصولات تراریخته ممنوع می‌باشد، و تأکید بر مدیریت علمی منابع موجود در مزرعه و همزیستی با طبیعت می‌باشد. در مورد پرورش دام و ماهی نیز خوراک دام و ماهی باید ارگانیک باشد، و استفاده از داروهای شیمیایی و هورمون‌ها ممنوع است.

"کشاورزی طبیعی[2]" یکی از سیستم‌های مدیریت زراعی طبیعت‌مدار است که در آن از قابلیت‌ها و توانایی‌های طبیعت برای نیل به حداکثر عملکرد، بهره‌برداری می‌شود. در این نظام حداقل مداخلات خارجی صورت می‌گیرد، به طوری که نهاده‌های طبیعی توسط کشاورز و با استفاده از ضایعات و پسماندهای داخل مزرعه تولید می‌شود، و از بازار خریداری نمی‌گردد. تأکید این نوع زراعت بر عدم شخم‌زنی و عدم استفاده از کود، آفت‌کش و علف‌کش است. کشاورزی طبیعی نوع ابتدایی کشاورزی ارگانیک بوده و تشابهاتی نیز با آن دارد. این سیستم نیز استفاده از کودها و آفت‌کشهای بیولوژیکی یا زیستی را ترغیب می‌نماید. به عقیده برخی از دانشمندان، کشاورزی طبیعی نوع افراطی زراعت بوده و کاربرد محدودی در فراهم نمودن نیازهای غذایی جمعیت زیاد را دارد. ولیکن، شاید در کشاورزی معیشتی یک یا چند خانوار و تولید در اراضی کوچک زراعی کاربرد داشته باشد.

اهداف نظام‌های کشاورزی طبیعت‌مدار عبارتند از:

- به حداکثر رساندن فعالیت بیولوژیکی خاک
- سلامت خاک
- به حداقل رساندن فرسایش خاک

[1] Organic agriculture
[2] Natural farming

- بازیافت مواد حاصل از ضایعات گیاهی و حیوانی
- حداقل استفاده از منابع تجدیدناپذیر
- استفاده بهینه و مسئولیت‌پذیر از منابع آب، خاک و هوا
- به حداقل رساندن آلودگی‌های ناشی از کشاورزی

بنابراین، خاک نقش بسیار مهمی در این نظام ایفا می‌نماید و به عنوان ارزشمندترین دارایی کشاورز محسوب می‌شود. در کشاورزی ارگانیک و نظام‌های مشابه، بهبود و حفظ حاصلخیزی خاک هدف محوری و اساسی است.

۴-۳- سیستم کشاورزی تلفیقی[1] (IFS) یا تولید تلفیقی[2] (IP)

"سیستم کشاورزی تلفیقی" یا "تولید تلفیقی" شکل تکامل یافته‌ای از کشاورزی رایج است (شکل ۲-۲). در حقیقت، تولید تلفیقی ترکیبی از نظام‌های زراعی رایج و کشاورزی طبیعت‌مدار می‌باشد. کشاورزی تلفیقی مجموعه‌ای از فعالیت‌های مختلف کشاورزی است و شامل زراعت و باغبانی، دامپروری، آبزی‌پروری و صنایع جانبی کشاورزی می‌باشد. در این سیستم تلفیقی، بقایا و پسماندهای هر فرآیند به عنوان نهاده‌های تولید فرآورده‌های بعدی، بازیافت و مصرف می‌گردند. طبق نظر فائو، در این سیستم تولید گیاهان زراعی، درختان، دام و آبزیان باید به طور طولی و عرضی تلفیق گشته و سعی شود تا تعادل بین معیارها و ضوابط کلیدی پایداری برقرار گردد (۸۲). از این رو، سیستم کشاورزی تلفیقی (IFS) یا تولید تلفیقی (IP) ترکیبی از روشهای مختلف تولید محصولات کشاورزی برای دستیابی به اهداف اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی کشاورزی پایدار است. تلفیق طولی به معنای بهبود مدیریت در طول اجزاء تشکیل‌دهنده سیستم بوده (منابع، محصولات، دام‌ها، جنگلداری و آبزی پروری)، و تلفیق عرضی به معنای بهبود مدیریت فرآورده‌ها و کالاها در طی مراحل تولید، فرآوری، توزیع و بازاریابی است.

استفاده از فناوری‌های مدرن تولیدی، بهبود سیستماتیک مدیریت مزرعه و بکارگیری پیشرفت‌های علمی در زمینه تولیدات کشاورزی از موارد لازم برای

[1] Integrated Farming Systems
[2] Integrated Production

دستیابی به اهداف کلیدی پایداری محسوب می‌شوند. برخلاف نظام‌های کشاورزی طبیعت‌مدار، در سیستم‌های تولید تلفیقی استفاده از نهاده‌های شیمیایی مانند کودهای معدنی و آفت‌کشها، مجاز می‌باشد، ولیکن، در نوع نهاده‌ها و نحوه مصرف آنها محدودیت‌هایی وضع شده است. مقایسه بین تولید تلفیقی و کشاورزی ارگانیک در جدول ۲-۱ ارائه شده است. مدیریت تلفیقی عناصر غذایی[1] (INS)، مدیریت تلفیقی آفات[2] (IPM) و مدیریت تلفیقی علفهای هرز[3] (IWM) در سیستم‌های کشاورزی تلفیقی کاربرد گسترده دارند. در این روش‌های مدیریتی، بکارگیری توأم روش‌های شیمیایی و غیرشیمیایی مدیریت تغذیه گیاه، آفات و علف‌های هرز دیده شده است. هدف از این کار، کاهش تماس محیط زیست با آلاینده‌ها و آفت‌کش‌ها می‌باشد. همچنین، روش‌های مرسوم در نظام‌های کشاورزی طبیعت‌مدار، مانند تناوب زراعی و روش‌های بیولوژیکی کنترل آفات و علف‌های هرز، در نظام‌های تولید تلفیقی نیز جایگاه ویژه‌ای دارند، تا اهداف حفاظت از محیط زیست و ایمنی غذایی را، که در نظام‌های طبیعت‌مدار به شدت بر آنها تأکید می‌گردد، برآورده سازد.

جایگزینی نهاده‌ها با دانش و دیدگاه جامع‌نگر در ساختار و مدیریت تولیدات کشاورزی، از خط مشی‌های مهم این نظام می‌باشند. لذا، پیشرفت‌های علمی در زمینه‌های مختلف تولید، به ویژه پیشرفت‌های بیولوژیکی، و بهبود روش‌های تولید در پیشبرد خط مشی‌ها و نیل به اهداف نظام‌های تلفیقی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. همانند کشاورزی ارگانیک و سیستم‌های مشابه، سیستم کشاورزی تلفیقی (IFS) یا تولید تلفیقی (IP) نیز قوانین و ضوابطی را برای اخذ گواهی و برچسب برای کالاها و فرآورده‌های تولید تلفیقی وضع نموده است.

[1] Integrated Nutrition Systems
[2] Integrated Pest Management
[3] Integrated Weed Management

جدول ۲-۱- مقایسه نظام‌های تولید تلفیقی و کشاورزی ارگانیک.

معیار	تولید تلفیقی (IP)	کشاورزی ارگانیک
استفاده از انواع آفت‌کش‌های شیمیایی	مجاز با برخی محدودیت‌ها	ممنوع
کودهای شیمیایی	مجاز، با محدودیت‌ها بر حداکثر مصرف	ممنوع
محصولات تراریخته	مجاز	ممنوع
بذرهای تیمار شده	مجاز	تیمار با مواد شیمیایی ممنوع
نگهداری دوستانه دام	برخی مقررات	مقررات سخت
خرید خوراک دام	بدون محدودیت	حدود تعریف شده
محرک‌های رشد	مجاز	ممنوع
اصلاح نژاد دام	انتقال جنین مجاز است	انتقال جنین ممنوع
سلامت دام: استفاده از داروهای شیمیایی برای پیشگیری از بیماری	مجاز	ممنوع

۴-۴- کشاورزی شهری[1]

"کشاورزی شهری" فعالیت‌های کشاورزی، اعم از محصولات زراعی و باغی، جنگلی، گل و گیاه، فضای سبز و پرورش انواع دام، طیور و ماهیان، در داخل و اطراف محدوده شهری است. مهمترین ویژگی کشاورزی شهری نسبت به کشاورزی مناطق روستایی، این است که با اقتصاد و اکوسیستم شهری یکپارچه می‌باشد. اهمیت کشاورزی شهری در ارتقاء امنیت غذایی، کیفیت تغذیه و بهبود معیشتی قشر کم درآمد جوامع شهری است.

[1] Urban Agriculture

۴-۵- کشاورزی دقیق[1]

کشاورزی دقیق از جدیدترین نظام‌های کشاورزی می‌باشد. "کشاورزی دقیق" سیستم مدیریت جامع محصول است که در آن، بسته به پتانسیل عملکرد محصول در بخش بخصوصی از زمین، قسمت‌های مختلف زمین یا محصول کشت شده را می‌توان با سطوح مختلف نهاده‌ها (آب، کود، سموم، و ...) مدیریت کرد. این کار از سویی باعث کاهش هزینه‌های تولید، و در نتیجه افزایش درآمد کشاورز شده، و از سویی دیگر، کاهش خطرات آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف بیش از حد نهاده‌های شیمیایی کشاورزی را در پی دارد. کشاورزی دقیق، برای شناسایی و ارزیابی تغییرات در سطح مزرعه، نیازمند فناوری‌های نوین، مانند سیستمهای موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، انواع حسگرها[2]، ماهواره یا تصاویر هوایی و ابزارهای مدیریت اطلاعات می‌باشد. این تغییرات شامل تغییرات مکانی و زمانی خصوصیات خاک (مانند pH، شوری، عمق، بافت، میزان رطوبت، میزان عناصر غذایی و مواد آلی) و جمعیت آفات و موجودات بیماری‌زا می‌باشد. از اطلاعات جمع‌آوری شده برای تعیین حد بهینه تراکم کاشت بذر، مقادیر مورد نیاز کودها، سموم، آب و دیگر نهاده‌ها در قسمت‌های مختلف مزرعه، و پیش‌بینی دقیق‌تر عملکرد محصولات استفاده می‌شود.

۵- مدیریت پایدار خاک

نقش مدیریت در بهره‌برداری پایدار از منابع و حفظ و نگهداری از آنها حیاتی است. این مدیریت، همانطور که از ماهیت آن پیداست، توسط بشر و در سطوح مختلف، یعنی از سطح ملی تا یک مزرعه کوچک، اعمال می‌گردد. *مدیریت پایدار* یک منبع به زبان ساده یعنی مدیریت آن منبع به نحوی که نیازهای مصرف‌کنندگان حال و آینده، هر دو در نظر گرفته شود. برای مثال، مدیریت پایدار منابع آب، با مسئله آب به طور جامع برخورد کرده، و جوانب مختلف، یعنی ابعاد اجرایی، سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فنی و زیست محیطی که در مصرف آب نقش دارند را به طور یکسان و هماهنگ در نظر می‌گیرد. این شیوه مدیریت نه تنها در مورد منابع آب، بلکه برای دیگر منابع پایه تولید نیز امری ضروری است

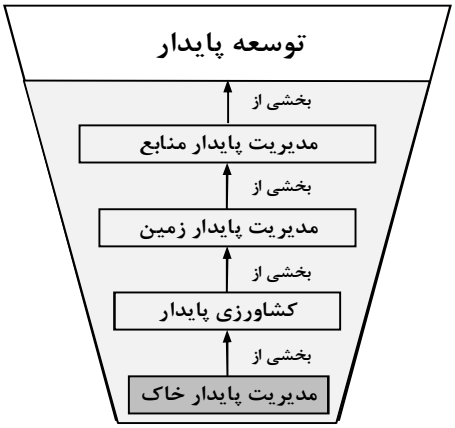
[1] Precision Agriculure
[2] Sensors

تا بتوان نیازهای اساسی جوامع بشری را تهیه، و در نتیجه بقای تمـدن بـشری را تضمین کرد.

دستیابی به کشاورزی پایدار، بدون مدیریت پایدار خاک، به عنوان یکی از اجزاء مهم تشکیل‌دهنده آن، امکان‌پذیر نمی‌باشد. در شکل ۲-۳ ارتباط بین مدیریت پایدار خاک و توسعه پایدار نشان داده شده است. مدیریت پایدار خاک یکی از ارکان مدیریت پایدار زمین می‌باشد که آن نیز به نوبه خود، یکی از ارکان مهم توسعه پایدار است (شکل ۲-۳). با توجه به تعریف توسعه پایدار، می‌توان "مدیریت پایدار خاک" را چنین تعریف کرد: "مدیریت خاک به گونه‌ای که نیازهای نسل کنونی از خاک را بدون به مخاطره انداختن توانایی نسل‌های آینده برای تأمین نیازهای خود از خاک، تأمین نماید". بنابراین، مدیریت خاک هنگامی پایدار است که قابلیت کارکرد خاک برای تأمین نیازهای آینده را به مخاطره نیندازد.

با توجه به معیارها و ضوابط کشاورزی پایدار و اهمیت خاک به عنوان یکی از منابع پایه مهم در تولید محصولات کشاورزی، مسئله مدیریت خاک با دیدگاه پایداری و در راستای نیل و دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار، از اهمیتی بنیادین و اساسی برخوردار می‌باشد. دلایل عمده نیاز به مدیریت پایدار خاک عبارتند از:

- نیاز به پایداری درازمدت تولیدات کشاورزی، یا به عبارت دیگر، دستیابی به کشاورزی پایدار
- حفاظت از محیط زیست و منابع طبیعی
- حفظ و تقویت سلامتی جوامع گیاهی، حیوانی و انسانی
- کاهش آسیب‌پذیری نسبت به تغییر اقلیم و افزایش ظرفیت سازگاری بخش کشاورزی با تغییر اقلیم آینده



شکل ۲-۳- روابط بین توسعه پایدار، مدیریت پایدار زمین، کشاورزی پایدار و مدیریت پایدار خاک (۴۵).

مدیریت پایدار خاک‌های کشاورزی نیازمند یک نظام پایدار مدیریتی از حیث اکولوژیکی، اقتصادی و فرهنگی است تا بتواند قابلیت تولید خاک را برای نسل‌های آینده حفظ نماید. بنابراین، مدیریت پایدار خاک باید جوانب زیر را در نظر بگیرد. در حقیقت، این جوانب اهداف یک نظام مدیریت خاک با دیدگاه پایداری می‌باشند.

۱- **جوانب بیوفیزیکوشیمیایی**: مدیریت پایدار خاک باید وضعیت شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک را برای تنوع زیستی و تولید گیاه حفظ و بهبود بخشد.
۲- **جوانب اجتماعی-فرهنگی**: مدیریت پایدار خاک باید نیازهای بشر را به نحوی که از حیث اجتماعی و فرهنگی در سطوح منطقه‌ای یا کشوری قابل قبول باشد، تأمین نماید.
۳- **جوانب اقتصادی**: مدیریت پایدار خاک باید مخارج شخصی استفاده‌کنندگان از زمین و منافع اقتصادی جامعه را تأمین نماید.

مدیریت پایدار خاک دارای شش ضابطه مهم می‌باشد. از این معیارها مرتباً برای ارزیابی پایداری استفاده از خاک باید استفاده نمود. این ضوابط عبارتند از:

۱- **حفاظت از خاک**: توده خاک باید در درازمدت در هر واحد کوچک زمین محافظت شود.

۲- **حاصلخیزی و بیولوژی خاک**: حاصلخیزی و بیولوژی خاک باید در درازمدت محافظت شود و آسیب مواد سمی از خارج به حداقل برسد.

۳- **نوع کاربری**: نوع استفاده از خاک در صورتی تسریع گردد که بازده و درآمد نهایی به طور قابل توجهی افزایش یابد.

۴- **جلوگیری از تخریب خاک**: باید از کلیه شکل‌های تخریب خاک (فرسایش و تخریب‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) جلوگیری شود. در خاک‌های تخریب شده یا فرسوده، باید شرایط تشکیل خاک را تقویت نمود تا بیولوژی و حاصلخیزی خاک بهبود یابد.

۵- **تنوع زیستی**: تنوع زیستی طبیعی و منابع طبیعی دیگر در منطقه باید مورد محافظت درازمدت قرارگیرند یا احیا گردند. بدین ترتیب می‌توان اطمینان حاصل کرد که انقراض گونه‌های منحصر به فرد، جامعه زیستی (بیولوژیکی) را در معرض خطر قرار ندهد.

۶- **عدم تداخل با توسعه پایدار**: کاربری زمین در سطح محلی نباید توسعه پایدار یک ناحیه را مختل نماید، به ویژه از حیث اجتماعی، سازمانی و اقتصادی.

همانطور که مشاهده می‌شود، عوامل متعددی در *مدیریت پایدار خاک* دخیل می‌باشند که لازم است همه آنها در کنار یکدیگر در نظر گرفته شوند. نکته قابل توجه این است که این معیارها همگی در راستای اهداف توسعه و کشاورزی پایدار می‌باشند. مدیریت پایدار خاک را باید در سطوح مختلف (مزرعه، منطقه و کشور) اعمال و اجرا نمود، که همین امر اهمیت مشارکت و همکاری سطوح مختلف جامعه (کشاورزان تا سیاستگذاران و دولت) را نمایان می‌سازد.

کشاورزان و تولیدکنندگان ورزیده باید از کلیه اطلاعات فنی موجود جهت مدیریت خاک برای محصول مورد نظر استفاده کنند. این مدیریت باید به نحوی باشد که دستیابی به عملکرد بالا باعث تخریب خاک و محیط زیست نگردد. قابل ذکر است که علاوه بر خاک، کشاورزان باید به اهمیت حفظ کیفیت و کمیت منابع آب، به عنوان یکی دیگر از نهاده‌های بسیار مهم کشاورزی، نیز واقف باشند. این مسئله در مناطق خشک و نیمه خشک، که با مشکل محدودیت منابع آب روبرو هستند، و با توجه به مسئله مهم تغییر اقلیم جهانی که این مشکل را در این مناطق تشدید خواهد کرد، از اهمیتی حیاتی برخوردار است. لذا، کشاورز در حین انجام فعالیت‌های کشاورزی و مدیریت خاک باید به مسئله کمیت و کیفیت آبهای سطحی و زیرزمینی نیز توجه جدی بنماید، تا فعالیت‌های تولیدی باعث تخریب منابع آب نگردد (مانند آلودگی منابع آب با نیترات و فسفر).

فصل سوم: تخریب خاک

منابع خاک کشور محدود و تجدیدناپذیر است. از آنجا که بخش اعظم کشور را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهند، این منابع محدود و تجدیدناپذیر در معرض انواع عوامل تخریب‌کننده از جمله فرسایش، شوری و فعالیت‌های انسانی قرار داشته و به شدت آسیب‌پذیر می‌باشند. اولین مرحله در مدیریت پایدار خاک آشنایی دقیق و عمیق با عوامل تخریب‌کننده خاک است. عوامل تخریب‌کننده خاک نه تنها بر رشد و عملکرد محصولات تولیدی، بلکه به طور مستقیم و یا غیرمستقیم بر سلامت منابع پایه دیگر (کیفیت محیط زیست)، کمیت و استمرار سود و درآمد اقتصادی تولیدکنندگان، کیفیت زندگی جوامع انسانی و سلامتی گیاهان، حیوانات و انسان اثرگذار می‌باشند. تنها پس از آشنایی با نحوه کارکرد، خسارات و خطرات این عوامل است که می‌توان راهکارهای علمی، اقتصادی و اجتماعی پیشگیری از تخریب منابع خاک و اصلاح آنها را تعیین و اجرا نمود. همچنین، با توجه به ابعاد مختلف خسارات ناشی از تخریب خاک، اهمیت مدیریت پایدار منابع پایه، و به ویژه مدیریت پایدار خاک، مشخص خواهد شد.

حیات در زمین به شدت وابسته به منابع خاک است. تاریخ و تجربیات نسل‌های گذشته اهمیت حیاتی حفاظت از منابع خاک را نشان داده است. تمدن بین‌النهرین از آن جهت رشد و ترقی نمود که موفق به آبیاری زمین برای کشت و زرع محصولات زراعی گردید. این موفقیت منجر به تولید بیشتر غذا گردید و این امکان را برای مردمان ساکن در منطقه فراهم آورد تا جوامع مدنی را به وجود آورند و خط را اختراع نمایند. ولیکن، به تدریج شور شدن اراضی و رسوب‌گیری کانال‌های آبیاری در اثر فرسایش منجر به زوال نظام‌های کشاورزی، و متعاقب آن ضعف و سپس انقراض تمدن منطقه گردید (۴۰ و ۵۴). همچنین، خاک‌های حاصلخیز منطقه مدیترانه، زمانی نیازهای تمدن‌های فینیقی، یونان و روم را برآورده می‌ساختند. ولیکن، جنگل‌زدایی، چرای مفرط و سوء مدیریت اراضی کشاورزی، منجر به وقوع فرسایش تسریعی در منطقه و تخریب اراضی و تپه ماهورهای کشاورزی گردید، که اثرات آن امروزه نیز در منطقه موجود است (۵۴).

طبق آمار موجود، اراضی زراعی، مراتع و منابع دریایی، به ترتیب، ۸۰، ۱۰ و ۱۰ درصد از کل تولیدات غذایی جهان را مهیا می‌سازند (۲۳). این ارقام بیانگر این مسئله مهم است که خاک تحمل بیشترین بار تولید را برای تأمین نیازهای انسان بر عهده دارد. ولیکن، متأسفانه به علل مختلف، بشر خواسته و ناخواسته، این سرمایه مهم را تخریب می‌نماید. منظور از تخریب این نیست که خاک از بین می‌رود، بلکه کیفیت و سلامت آن خدشه‌دار می‌شود و در نتیجه، قادر نخواهد بود تا آن منظور و کاربردی را که از آن انتظار می‌رود، برآورده سازد.

مشکل تخریب خاک، امروزه نیز بسیاری از مناطق جهان را تهدید می‌کند. برآورد شده است که خاک‌های ۱۱٪ از نواحی تحت پوشش گیاهی دنیا تنها در بین سالهای ۱۹۴۵ تا ۱۹۹۰ میلادی (در طی فقط ۴۵ سال) تخریب شده‌اند (۴). این مقدار تقریباً برابر با مساحت مجموع کشورهای هند و چین است. در حدود ۲۴ میلیارد تن خاک سطحی (معادل تقریبی ۹/۶ میلیون هکتار) هر ساله در جهان به علل مختلف فرسوده می‌شود، (۴۰). در حالی که سرعت تشکیل خاک به هیچ وجه قابل مقایسه با آن نیست. تخمین زده می‌شود که کمتر از ۰/۱ میلی‌متر در سال خاک در اثر هوازدگی طبیعی سنگ‌ها و مواد مادری تشکیل می‌گردد (۴۰).

تخریب خاک، علاوه بر پیامدهای اقتصادی، پیامدهای شدید زیست محیطی نیز به همراه دارد. این امر خطری جدی برای کیفیت و سلامت منابع پایه دیگر و بهداشت جوامع بشری می‌باشد. برای مثال، بازیافت کودهای نیتروژنه حداکثر ۶۰-۵۰ درصد است، در حالیکه تا مقدار ناچیز ۱۵٪ هم گزارش شده است (۸۰). باقیمانده کودها و سموم بازیافت نشده یا همراه با آبشویی به ذخایر آب‌های زیرزمینی، یا از طریق رواناب به آب‌های سطحی راه یافته و باعث آلودگی آنها می‌شود. برای مثال، تنها در آمریکا سالانه ۱۱۰۰ میلیون تن مواد جامد معلق، ۵۰۰ میلیون تن مواد محلول، ۱/۲ میلیون تن فسفر و ۴/۷ میلیون تن نیتروژن از زمین‌های کشاورزی از طریق آبراهه‌ها خارج می‌گردند، که منجر به آلودگی منابع عظیمی از آبهای سطحی در این کشور، و در نتیجه، کاهش کیفیت زندگی جوامع محلی برخی از مناطق گردیده است (۲۳).

۱- علل و انواع تخریب خاک

کیفیت و سلامت خاک، به عنوان یکی از مهمترین منابع پایه در تولید محصولات کشاورزی، به میزان زیادی تحت تأثیر فعالیت‌ها و مدیریت کشاورز قرار دارد. بنابراین، برای آنکه یک کشاورز پایداری در تولیدات خود داشته باشد، باید این عوامل تخریبی را بشناسد، بتواند آنها را در واحد تولیدی خود (مزرعه، باغ، گلخانه) تشخیص دهد و از راهکارهای مقابله با آنها یا کاهش اثرات سوء آنها آگاهی داشته و سعی جدی در بکارگیری آنها بنماید. به عبارت دیگر، کشاورز باید خاک خود را به طور پایدار مدیریت نماید تا:

۱- جلوی تخریب بیشتر گرفته شود: پیشیگری از تخریب خاک
۲- سلامت، حاصلخیزی و کیفیت تنزل یافته خاک را بازگرداند: اصلاح خاک
۳- سلامت، حاصلخیزی و کیفیت کنونی خاک را افزایش و ارتقاء بخشد.

مهمترین مشکلات مرتبط با خاک در مدیریت پایدار خاک عبارتند از:

- فرسایش و تخریب خاک
- تخلیه و کمبود عناصر غذایی
- کمبود مواد آلی
- مدیریت و استفاده نامطلوب از کود
- روشهای کشت و کار ناپایدار
- شور و سدیمی شدن خاک
- تراکم خاک
- اسیدیته خاک (اسیدی و یا قلیایی شدن خاک‌ها)
- عدم‌پذیرش فناوری‌های بهبود یافته توسط کشاورزان
- تنش آبی و زهکشی ضعیف
- کارآیی پایین مصرف آب
- رقابت بر سر تخصیص و مصرف منابع آب
- خشکسالی‌های فصلی
- بازاریابی و قیمت‌ها (اقتصادی-اجتماعی)

تخریب یا *فرسودگی خاک* در کشاورزی یعنی اینکه خاک قابلیت تولید و حاصلخیزی خود را از دست بدهد. سرعت تخریب خاک بستگی به عوامل مختلفی دارد مانند نوع خاک، پستی و بلندی زمین (توپوگرافی)، اقلیم و سیستم زراعی. هفت فرآیند عمده در تخریب خاک نقش دارند:

۱- فرسایش آبی و بادی
۲- فرسایش تسریعی[1] (فرسایش در اثر فعالیت‌های انسانی)
۳- شور و یا سدیمی شدن خاک
۴- تراکم و فشردگی خاک
۵- کاهش مواد آلی خاک
۶- عدم تعادل بین عناصر غذایی
۷- ماندابی اراضی

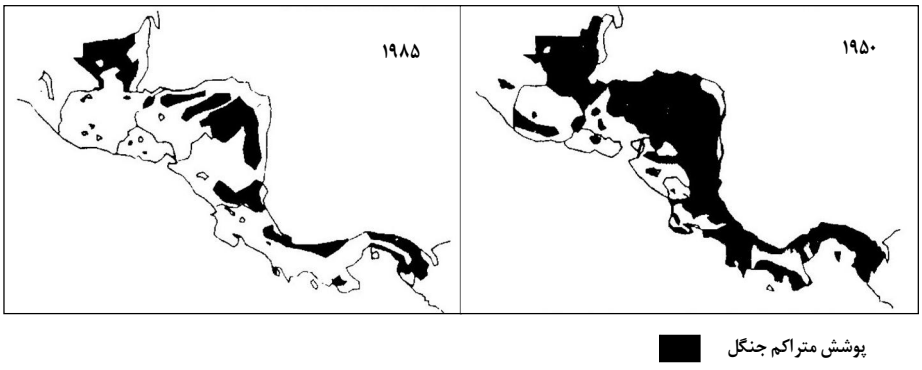
کلیه این فرآیندها، کمابیش در ایران نیز فعال بوده و باعث تخریب یا کاهش کیفیت خاک در کشور می‌شوند. طبق نتایج بررسی‌های برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (UNEP) و پروژه ارزیابی جهانی تخریب خاک (GLASOD) چهار فرآیند مهم تخریب خاک که حاصل فعالیت‌های بشر است، عبارتند از فرسایش آبی، فرسایش بادی، تخریب فیزیکی خاک و تخریب شیمیایی خاک (۷۰ و ۷۱). در جدول ۳-۱ فرآیندهای مختلف تخریب و گستردگی و اهمیت آنها نشان داده شده است. فرسایش (آبی و بادی) با اختلاف زیاد مهمترین عامل تخریب خاک است (جدول ۳-۱). مهمترین علل فرسایش آبی جنگل‌زدایی (۴۳٪)، چرای مفرط (۲۹٪) و سوء مدیریت کشاورزی (۲۴٪) می‌باشند. مهمترین علل فرسایش بادی چرای مفرط (۶۰٪) سوء مدیریت کشاورزی (۱۶٪)، بهره‌برداری بیش از حد از پوشش گیاهی طبیعی (۱۶٪) و جنگل‌زدایی (۸٪) می‌باشند (۷۰ و ۷۱). برای مثال، سطح عظیمی از جنگل‌های انبوه آمریکای مرکزی تنها در ظرف ۳۵ سال توسط بشر برداشت شده است (شکل ۳-۱)، که منجر به فرسایش شدید خاک، کاهش تنوع زیستی و ناپایداری جوامع محلی در این مناطق گردید (۲۵). مهمترین شکل‌های

[1] فرسایش به دو نوع فرسایش طبیعی و فرسایش تسریعی تقسیم‌بندی می‌شود. فرسایش بر اثر عوامل طبیعی مانند باد و باران، صورت می‌گیرد. فرسایش تسریعی فرسایشی است که در اثر فعالیت‌های انسانی به وجود می‌آید.

تخریب شیمیایی خاک در آمریکای جنوبی اتلاف عناصر غذایی و مواد آلی، و در کشورهای آسیایی شور شدن اراضی می‌باشند (۷۰ و ۷۱).
قابل ذکر است که یکی از بزرگترین مشکلات در کشورهای در حال توسعه، رشد سریع جمعیت است. این عامل فشار بر منابع طبیعی، به ویژه منابع خاک و آب، را به شدت افزایش می‌دهد. بنابراین، عوامل اقتصادی-اجتماعی نیز به طور غیرمستقیم بر افزایش روند تخریب منابع طبیعی، مانند خاک، اثرگذار می‌باشند.

جدول ۳-۱- انواع مختلف مهمترین فرآیندهای تخریب خاک در سطح جهان (۷۰ و ۷۱).

فرآیند	درصد از کل
اتلاف خاک در اثر فرسایش بادی	۲۸
اتلاف خاک در اثر فرسایش آبی	۵۶
کاهش عناصر غذایی در اثر کاربرد نامطلوب کود	-
اسیدی شدن خاک	-
شور شدن خاک در اثر آبیاری و زهکشی نامطلوب	۱۲
کاهش مواد آلی در اثر تسریع در تجزیه و کاربرد ناکافی کودهای آلی	-
تراکم خاک که در اثر کاربرد ماشین آلات سنگین تشدید شده است	۴
جمع	**۱۰۰**



شکل ۳-۱- جنگل‌زدایی در امریکای مرکزی بین سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۵ (۲۵).

تخریب خاک را می‌توان به سه گروه *تخریب فیزیکی*، *تخریب شیمیایی* و *تخریب بیولوژیکی* تقسیم کرد (۲۷). قابل ذکر است که این سه گروه بر یکدیگر اثرات متقابل دارند. این بدان معنی است که بروز هر یک از آنها، می‌تواند منجر به بروز انواع دیگر تخریب بشود و از این رو، ممکن است در یک زمان خاک دستخوش چندین نوع تخریب گردد.

۱- **تخریب فیزیکی**: تراکم، سخت کفه و سله‌بندی سه علت اصلی تخریب فیزیکی خاک هستند. سخت کفه در دشتهای آبرفتی مناطق نیمه خشک با فصل بارندگی مشخص رایج می‌باشد. سله‌بندی در اثر انهدام خاکدانه‌های خاک سطحی در اثر باران و خاک‌ورزی ایجاد می‌شود، و به طور مستقیم با فرسایش خاک ارتباط دارد. سله نفوذپذیری را کاهش داده و باعث افزایش رواناب می‌گردد.

۲- **تخریب شیمیایی**: در حدود ۳۶ درصد از خاک‌های مناطق استوایی دچار کمبود ذخایر عناصر غذایی هستند (مناطق *استوایی* یا *حاره* یا *گرمسیری* ناحیه بین دو مدار شمال و جنوب خط استوا است). سرعت تجزیه مواد آلی در نواحی استوایی ۵ برابر بیشتر از مناطق معتدل است. شور شدن اراضی نیز نوع مهمی از تخریب شیمیایی خاک محسوب می‌شود، که به طور مستقیم و غیرمستقیم اثرات مهمی بر رشد گیاه و کیفیت منابع آب و محیط زیست باقی می‌گذارد. مهمترین علل شور شدن اراضی آبیاری بی‌رویه، مدیریت نامطلوب آبیاری، تبخیر-تعرق بالا و تغییر در شرایط هیدرولوژیکی می‌باشند. آلودگی خاک با مواد سمی، فلزات سنگین و دیگر پسماندها و پسابهای صنعتی را نیز باید جزو عوامل تخریب شیمیایی خاک آورد.

۳- **تخریب بیولوژیکی** (**زیستی**): تخریب بیولوژیکی خاک با کاهش پوشش گیاهی و میزان ماده آلی خاک در ارتباط است. همچنین، تخریب بیولوژیکی با کاهش گونه‌ها و میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی نیز همراه است. این نوع از تخریب نتیجه مستقیم مدیریت نامطلوب خاک می‌باشد. تخریب بیولوژیکی خاک بر شرایط و وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک نیز تأثیرگذار خواهد بود.

در ادامه برخی از مهمترین فرآیندهای تخریب خاک و نقش انسان در آنها بررسی می‌گردد.

۲- بیابان‌زایی

بیابان‌زایی از مهمترین عوامل ناپایداری و تخریب اراضی، و در نتیجه، محدودیت کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، و از جمله ایران است. به طور کلی، عوامل بیابان‌زایی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شود: بیابان‌زایی محیطی و بیابان‌زایی انسانی. در این میان بیابان‌زایی انسانی از اهمیتی خاص برخوردار است، زیرا علاوه بر تشدید بیابان‌زایی، می‌تواند باعث تشدید عوامل مربوط به بیابان‌زایی محیطی نیز گردد. مطالعات انجام یافته در ۱۱ میلیون هکتار از عرصه‌های استان‌های یزد، کرمان و اصفهان نشان داده است که علی‌رغم حاکمیت شرایط اقلیمی خشک و فراخشک در عرصه‌های مطالعاتی، بیش از ۶۵ درصد از اراضی در معرض بیابان‌زایی انسانی است، و مابقی را بیابان‌های محیطی تشکیل می‌دهد (۳). مطالعات انجام یافته در اقلیم‌های مرطوب‌تر (استان لرستان، گرگان و گنبد) نیز نشان داده است که بیش از ۸۵ درصد از عرصه‌ها را مناطق با شرایط بیابان‌زایی انسانی در بر می‌گیرد (۳).

عوامل اصلی بیابان‌زایی انسانی به دو دسته کلان و خرد تقسیم‌بندی می‌شود. عوامل کلان به طور عمده مربوط به خط‌مشی سازمان‌ها و دستگاه‌های مدیریتی و اجرایی می‌شود. فعالیت‌هایی مانند تغییر کاربری اراضی و تبدیل بی‌رویه باغات و اراضی کشاورزی به شهرک‌های مسکونی و صنعتی، احداث بزرگراه‌ها، شبکه‌های گاز و آب و برق با عبور از اراضی مرغوب و توسعه معادن مثال‌هایی از این عوامل می‌باشند. عوامل خرد بیابان‌زایی انسانی مربوط به رفتار مردم در زیست‌بوم‌های بیابانی، مانند چرای بی‌رویه دام، بوته‌کنی، جنگل‌تراشی و الگوهای نامناسب کشت می‌باشد. بسته به شرایط و سطح فرهنگی و اقتصادی در این جوامع، برخی از این رفتارها مانند آیش، کاشت محصولات با نیاز آبی بالا در مناطق کم آب و عدم تمایل به ایجاد بادشکن، ناشی از عادت‌های ناصحیح است. برخی دیگر از عوامل خرد بیابان‌زایی انسانی ناشی از اجبار و عدم تأمین نیازهای اساسی به صورت بوته‌کنی و درخت‌تراشی برای تهیه سوخت و چرای

بی‌رویه دام در مراتع در شرایط عدم توان مالی برای تهیه علوفه و یا فقر، می‌باشد.

۳- فرسایش

فرسایش از عوامل تخریبی بسیار خطرناک می‌باشد، زیرا که خسارات آن غیرقابل برگشت است. باارزش‌ترین سرمایه یک کشاورز در زمین، خاک سطحی[1] است. فرسایش حاصلخیزترین بخش خاک را از محل اولیه خود جدا نموده، آن را با خود حمل و از مزرعه خارج ساخته و در محلی جدید رسوب می‌دهد. حتی میزان‌های پایین فرسایش نیز، که تقریباً نامرئی بوده و به چشم نمی‌آیند، در دراز مدت تأثیرات شدید منفی بر خاک خواهند داشت. در نتیجه، حفاظت خاک از فرسایش اهمیت حیاتی دارد.

براساس آمار موجود، بیش از ۱۰۰ میلیون هکتار از مساحت کشور به دلایل مختلف ناپایدار است (جدول ۳-۲). فرسایش مهمترین عامل ناپایداری در خاک‌های ایران می‌باشد (جدول ۳-۲). قابل توجه است که انسان خود از مهمترین عوامل تخریب و کاهش توان تولیدی اراضی و بی‌ثباتی در زیست‌بوم است. آمار جدول ۳-۳ مؤید این ادعاست. مطالعات انجام شده در شهر یزد نشان می‌دهد که سالانه بیش از ۳۰ هزار تن رسوب (حدود ۱۸۰۰۰ مترمکعب) به ماسه‌های ارگ یزد اضافه می‌شود و هر ساله حدود ۱۴۰۰۰ تن گرد و غبار به شهر ۷۰۰۰ هکتاری یزد فرو می‌ریزد (۲). میزان مساحت رسوب‌گذاری شده به دلیل فرسایش بادی (در مناطق شهری، روستایی و یا شبکه جاده‌های کشور) حدود ۱۲/۹۷ میلیون هکتار است که در ۱۴ استان کشور گسترش دارد (۲).

برخی بررسی‌های انجام شده در کشور نشان می‌دهد که سطح اراضی که تحت تأثیر فرسایش آبی قرار دارند ۱۲۰ میلیون هکتار و اراضی که تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند حدود ۳۵/۴ میلیون هکتار است که هر ساله بر مقدار آن افزوده می‌شود. طبق گزارش دفتر امور زیربنایی در سال ۱۳۸۰، تلفات خاک در ایران از مرز خطرناک ۵ میلیارد تن در سال گذشته است (۱۷). در جدول ۳-۴ نرخ سالانه فرسایش در ایران و برخی از کشورهای جهان ارائه شده است. نرخ

[1] Topsoil

فرسایش خاک ایران با ۳۳ تن در هکتار، یعنی بیش از ۶/۵ برابر حد مجاز (۵ تن در هکتار)، رسیده است. طبق آمار جدول ۳-۴، به طور کلی نرخ سالانه فرسایش در کشورهای در حال توسعه به مراتب بیشتر از کشورهای توسعه یافته می‌باشد. روش‌های زراعی ناپایدار، تخریب اراضی طبیعی و افزایش جمعیت، که منجر به فشار بیشتر بر منابع طبیعی می‌گردد، از عمده‌ترین علل نرخ بالای فرسایش در این کشورها می‌باشند. به عبارت دیگر، بین فقر اقتصادی و فرسایش خاک همبستگی مستقیم وجود دارد.

از زمان شروع کشاورزی توسط بشر، فرسایش خاک سطحی همواره بزرگترین خطر برای قابلیت باروری خاک، و در نتیجه، سودآوری اقتصادی بوده است. مهمترین خسارت‌های مالی حاصل از فرسایش خاک در مزرعه مربوط به جایگزینی عناصر غذایی از دست رفته و کاهش ظرفیت نگهداری آب می‌باشند. خاک سطحی که توسط فرسایش از دست رفته، معمولاً سه برابر بیشتر از خاک باقیمانده حاوی عناصر غذایی است، و بین ۱/۵ تا ۵ برابر مواد آلی بیشتری دارد (۸۰). مواد آلی از دست رفته، منجر به کاهش ظرفیت نگهداری آب در خاک، و تخریب خاکدانه‌ها و اتلاف عناصر غذایی می‌گردد، که برای حفظ قابلیت تولید و بازدهی خاک باید توسط مواد غذایی دیگر جایگزین شود. نتایج جدول ۳-۵ بیانگر این مسئله می‌باشد. پنج تن خاک سطحی حداقل حاوی ۵۰ کیلوگرم نیتروژن، ۳۰ کیلوگرم فسفات، ۲۳ کیلوگرم پتاس، ۱ کیلوگرم کلسیم، ۵ کیلوگرم منیزیم و ۴ کیلوگرم سولفور است (۸۰).

برآورد شده است که در آمریکا در مزرعه‌ای با میزان فرسایش آبی و بادی ۸/۵ تن در هکتار در سال، باید ۱۰۰ دلار در هکتار در سال صرف جایگزینی عناصر غذایی از دست رفته به شکل کود، و ۳۸ دلار در هکتار در سال صرف پمپاژ آب آبیاری برای جایگزینی ظرفیت نگهداری آب خاک فرسایش شده گردد (۸۰). زمان لازم برای از دست رفتن کامل خاک سطحی بستگی به میزان فرسایش و عمق خاک سطحی دارد. میزان فرسایش ۱۸ تن خاک در هکتار در سال تقریباً برابر ۱/۲۵ میلی‌متر خاک در سطح ۱ هکتار است. لذا، در چنین مکانی ۲۵ سانتی‌متر خاک در هر ۲۰ سال از دست می‌رود. در مناطق خشک و نیمه خشک کشور که خاک سطحی معمولاً کم‌عمق می‌باشد، چنین خسارتی در مدت تنها ۲۰ سال (تنها

یک نسل) تأثیرات نامطلوب عمیقی بر پایداری فعالیت‌های کشاورزی خواهد داشت.

جدول ۳-۲- مساحت و وضعیت اراضی ناپایدار (میلیون هکتار) در سطح جهان، آسیا و ایران بر اساس گزارش سال ۱۹۹۴ مرکز اطلاعات و گزارشهای خاک و برنامه‌های محیط و بین‌المللی سازمان ملل متحد (۱۲).

عوامل تخریب		جهان	آسیا	ایران
فرسایش آبی	مساحت	۱۰۹۳/۷	۴۴۰/۶	۷۵
	درصد	۵۶	۵۹	۷۵
	فرسایش سطحی	۹۲۰/۳	۲۶۵/۲	۶۵
	تغییر شکل زمین	۱۷۲/۳	۷۵/۴	۱۰
فرسایش بادی	مساحت	۵۴۸/۳	۲۲۲/۲	۲۰
	درصد	۲۸	۳۰	۲۰
	فرسایش سطحی	۴۵۴/۲	۱۶۵/۸	۱۵
	تغییر شکل زمین	۸۲/۵	۴۷/۵	۴
	بر باد رفتگی	۱۱/۶	۸/۹	۱
تخریب شیمیایی	مساحت	۲۳۹/۱	۷۲/۲	۳/۳
	درصد	۱۲	۱۰	۳
	کاهش مواد معدنی	۱۲۵/۳	۱۴/۶	۱
	شور شدن	۷۶/۳	۵۲/۷	۲
	آلودگی خاک	۲۱/۸	۱/۸	۰/۱
	اسیدی شدن	۵/۷	۴/۱	۰/۲
تخریب فیزیکی	مساحت	۸۲/۳	۱۲/۱	۲/۳
	درصد	۴	۲	۲
	متراکم شدن خاک	۶۸/۲	۹/۸	۲
	ماندابی شدن	۱۰/۵	۰/۴	۰/۱
	فرونشست مواد آلی	۴/۸	۱/۹	۰/۱
سطح کل اراضی ناپایدار		**۱۹۶۴/۴**	**۷۴۸/۱**	**۱۰۰/۶**

جدول ۳-۳- سهم عمده‌ترین فعالیت‌های انسانی در ایجاد ناپایداری زیست محیطی و کشاورزی (۱۸).

نوع فعالیت انسانی	سهم (درصد)
قطع پوشش گیاهی	۴۳
بهره‌برداری مازاد بر پتانسیل زیست محیطی منابع آب و خاک	۲۳
چرای مفرط و بیش از ظرفیت مراتع	۲۲
فعالیت‌های نامطلوب کشاورزی و تشدید کننده آلودگی و فرسایش	۱۰
توسعه مناطق شهری و صنعتی	۲
جمع	**۱۰۰**

جدول ۳-۴- نرخ سالانه فرسایش خاک در برخی از کشورها (۱۲).

کشور	میزان فرسایش (تن در هکتار)	کشور	میزان فرسایش (تن در هکتار)
کشورهای در حال توسعه			
بورکینافاسو	۵-۳۵	اندونزی	۴۳
افغانستان	۸	ایران	۳۳
برمه	۱۳۹	کنیا	۷۲-۱۳۸
چین	۱۱-۲۵۱	پاکستان	۵۱
السالوادور	۱۹-۱۹۰	ماداگاسکار	۲۵-۲۵۰
اتیوپی	۴۲	نپال	۲۵-۷۰
کشورهای توسعه یافته			
بلژیک	۱۰-۲۵	کانادا: بریتیش کلمبیا	۳۰
ایالات متحده امریکا	۱۸	کانادا: نیوبرانزویک	۴۰
		کانادا: نوواسکاتیا	۲-۲۶

جدول ۳-۵- اثر فرسایش بر ماده آلی، فسفر و آب قابل دسترس گیاه در یک خاک لوم سیلتی (۸۰).

میزان فرسایش	ماده آلی (درصد)	فسفر (کیلوگرم در هکتار)	آب قابل دسترس گیاه (درصد)
کم	۳/۰	۷۰	۷/۴
متوسط	۲/۵	۶۸	۶/۲
زیاد	۱/۹	۴۵	۳/۶

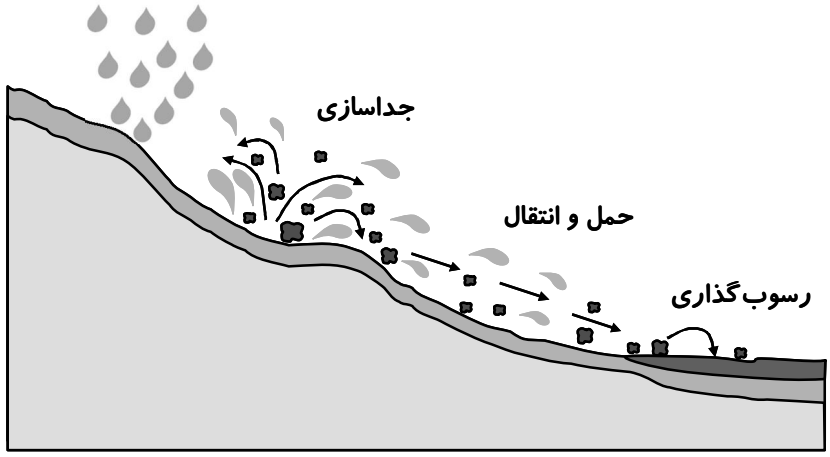
فرسایش به دو نوع *فرسایش آبی* و *فرسایش بادی* تقسیم می‌شود. در این میان، *فرسایش تسریعی* نیز از اهمیتی فوق‌العاده برخوردار است.

۳-۱- فرسایش آبی

فرسایش آبی کنده شدن، انتقال و رسوب ذرات خاک توسط نیروی آب است (شکل ۳-۲). فرسایش آبی بیشتر در مناطق پرباران، اراضی شیبدار و مزارع و باغات آبی رخ می‌دهد. فرسایش آبی با شیب زمین رابطه مستقیم دارد. علائم فرسایش خاک عبارتند از (۵ و ۲۱):

۱- آبکندهای عمیق[1]، که نشان‌دهنده فرسایش‌های شدید و واضح است.
۲- شیارهای کوچک در سطح خاک نشان‌دهنده اتلاف مقادیر قابل توجهی از خاک است.
۳- ایجاد قشری متراکم در سطح خاک پس از بارندگی، نشان‌دهنده فرسایش احتمالی خاک است.
۴- انباشته شدن ذرات ریز خاک در کانال‌ها و نواحی گود، نشان‌دهنده فرسایش در منطقه است.
۵- رنگ کدر و قهوه‌ای آب زهکش‌ها یا جوی‌ها در هنگام یا پس از بارندگی نشان مهمی از فرسایش خاک در سطح حوضه است.
۶- بیرون آمدن سنگ‌ها از خاک (سنگلاخی بودن سطح خاک)
۷- نمایان شدن قسمتی از ریشه‌ها

[1] Gullies



شکل ۳-۲- مراحل مختلف فرآیند فرسایش آبی.

۳-۲- فرسایش بادی

فرسایش بادی کنده شدن، انتقال و رسوب ذرات خاک توسط باد است (۵ و ۲۰). فرسایش بادی یکی از مهمترین عوامل هدر رفتن خاک و محدودیت کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک است، به طوری که اثرات آن را به صورت کویر و بیابان می‌توان مشاهده کرد. در این نواحی به دلیل بارندگی کم، پوشش گیاهی طبیعی نیز کم می‌باشد. فقر پوشش گیاهی و بادهای شدید و طوفانی، فرسایش بادی را از مهمترین عوامل تخریب خاک در این مناطق می‌گرداند.

قدرت فرسایشی باد به سرعت باد و اندازه ذرات بستگی دارد. هر چه سرعت باد بیشتر و اندازه ذرات خاک کوچکتر باشد، قدرت جداسازی و فرسایشی باد بیشتر خواهد بود. یکی از شرایط اصلی برای وقوع فرسایش بادی خشک بودن خاک است. در مناطقی که میانگین بارندگی سالیانه آنها کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر باشد، این وضعیت وجود دارد. به همین دلیل، فرسایش بادی در مناطق خشک و نیمه خشک بیشتر دیده شده و اثرات تخریبی بیشتری دارد.

فرسایش بادی هم در اراضی شیبدار و هم مسطح انجام می‌گیرد. بر خلاف فرسایش آبی که با افزایش شیب نسبت مستقیم دارد، شیب در فرسایش بادی نقش اساسی ایفا نمی‌نماید. در حقیقت، فرسایش بادی در دشت‌های وسیع و پهناور بسیار شدیدتر از مناطق کوهستانی است. به طور کلی، ناهمواری سطح

خاک از سرعت باد کاسته و فرسایش بادی را کاهش می‌دهد. علائم و نتایج فرسایش بادی عبارتند از (۲۰):

۱- تشکیل رسوبات بادی: رسوبات لسی[1]، که از ذرات ریز رس تشکیل شده‌اند، از مهمترین رسوبات بادی هستند. نوع دیگری ازرسوبات بادی تپه‌های ماسه‌ای است. این تپه‌ها پایدار نبوده و به همراه بادها و طوفانهای باد بعدی حرکت می‌کنند. تپه‌های ماسه‌ای معمولاً در بیابان‌ها، سواحل دریاها و امتداد رودخانه‌ها تشکیل می‌گردند.

۲- انتقال ذرات نمک: در مناطق شور، ذرات نمک به همراه ذرات خاک توسط باد حمل و به مناطق دیگر منتقل می‌شوند. بدین ترتیب، فرسایش بادی می‌تواند باعث شور شدن مناطق جدید گردد. این پدیده را می‌توان در اطراف دریاچه ارومیه مشاهده کرد. در سالهای اخیر، به دلیل کاهش سطح دریاچه، مقادیر قابل ملاحظه‌ای از نمک در اطراف دریاچه رسوب کرده است، که همراه با باد به دهها کیلومتر دورتر نیز برده شده‌اند.

۳- بیرون زدگی سنگ‌ها و به وجودآمدن زمین‌های سنگلاخی

۴- ایجاد شیارهای طولی در زمین، که می‌تواند باعث تشدید فرسایش آبی گردد.

۵- تسطیح سطح زمین: باد با کندن ذرات خاک از سطح زمین و برجستگی‌ها و پرکردن گودی‌ها باعث مسطح شدن سطح یک منطقه می‌گردد.

۶- رسوب‌گذاری حاصل از فرسایش بادی باعث ایجاد خسارات اقتصادی به راه‌های ارتباطی، فرودگاه‌ها، تأسیسات زیربنایی و تخریب محیط زیست می‌گردد، و سلامت انسان را به خطر می‌اندازد.

۷- بیرون زدگی ریشه درختان در اثر منتقل شدن خاک

۸- تشکیل حفره‌ها در سطح زمین

۹- از دست رفتن خاک سطحی و در نتیجه کاهش قابلیت بازدهی و کیفیت خاک.

[1] Loess

۳-۳- فرسایش تسریعی

"فرسایش تسریعی" فرسایشی است که توسط انسان ایجاد می‌شود، مانند قطع جنگل (جنگل‌زدایی) که منجر به تسریع شدید فرسایش طبیعی منطقه می‌گردد. فرسایش طبیعی در سرتاسر جهان تقریباً ۹/۹ میلیارد تن خاک در سال می‌باشد. ولی در مورد فرسایش تسریعی این مقدار بیش از ۲/۵ برابر است (در حدود ۲۶ میلیارد تن در سال). تاکنون، حداقل ۲ میلیارد هکتار از اراضی دنیا به دلیل تخریب غیرقابل برگشت توسط انسان، که بخش عمده آن فرسایش تسریعی است، حاصلخیزی خود را از دست داده‌اند (۷۰ و ۷۱). سرعت تخریب خاک در جهان ۷-۵ میلیون هکتار در سال برآورد شده است. به علت تخریب محیطی توسط انسان، مخصوصاً فرسایش تسریعی، سالانه ۱۴ میلیون تن محصول دانه‌ای می‌تواند در جهان تلف گردد. این مقدار بیش از تولید سالیانه غلات در ایران است. این آمار نشان‌دهنده اثرات بسیار نامطلوب اقتصادی و اجتماعی فرسایش تسریعی، و اهمیت نیاز به کنترل و کاهش آن می‌باشد.

۴- شوری

به دلایل متعدد، وسعت اراضی شور طبیعی در کشور بسیار گسترده می‌باشد. لیکن، روند افزایش تخریب پوشش گیاهی در عرصه‌های طبیعی و مدیریت نامناسب آبیاری در اراضی آبی، وسعت اراضی با شوری ثانویه کشور را به شکل قابل توجهی افزایش داده است. نتایج مطالعات خاک‌شناسی در ظرف ۵۰ سال گذشته نشان می‌دهد که اکثر اراضی کشور دارای محدودیت‌های مختلف از جمله محدودیت خاک (بافت، عمق، نفوذ پذیری و غیره)، شوری و سدیمی بودن، فرسایش، و ماندابی و زه‌دار بودن می‌باشند. شوری خاک از مهمترین عوامل محدودکننده کشاورزی در کشور است، به طوری که ایران از نظر وسعت اراضی شور در رده سوم آسیا و پنجم جهان قرار دارد (۸۱). مطالعات اخیر نشان داده است که در حدود ۲۵/۵ میلیون هکتار از خاک‌های کشور دارای شوری کم تا متوسط (۱۶-۴ دسی‌زیمنس بر متر) و ۸/۵ میلیون هکتار دارای شوری شدید (۳۲-۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) هستند (۲۸). خاک‌های دارای شوری کم تا متوسط در کوهپایه‌های زاگرس و البرز واقع شده‌اند. اراضی دارای مشکل شوری شدید

را به طور عمده در فلات مرکزی، دشت‌های ساحلی جنوب، خوزستان و دشت‌های ساحلی دریای خزر می‌توان یافت. مدیریت نامطلوب آب و خاک، چرای بی‌رویه مراتع و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی از مهمترین عوامل ایجاد شوری ثانویه در اراضی زراعی کشور است.

۵- تراکم خاک

متراکم شدن خاک از جمله علل مهم تخریب و ناپایداری خاک محسوب می‌شود. در حدود ۴ درصد از خاک‌های ناپایدار جهان (جدول ۳-۱) و ۲ درصد از خاک‌های ناپایدار ایران (جدول ۳-۲) با مشکل تراکم مواجه هستند. تراکم خاک فرآیند کاهش تخلخل خاک بر اثر وارد آمدن نیروی مکانیکی به خاک است، که متعاقب آن وزن مخصوص ظاهری خاک افزایش می‌یابد (۵۳ و ۶۰). تراکم خاک رشد ریشه، نفوذپذیری، زهکشی و تهویه خاک را محدود می‌کند. از این رو، توان ریشه در جذب آب و عناصر غذایی از خاک کاهش یافته و در نتیجه رشد و عملکرد محصول کاهش می‌یابد. در سال‌های اخیر مشکل تراکم خاک در اراضی زراعی افزایش داشته است. علل عمده این مسئله عبارتند از (۶۰):

- افزایش وزن و اندازه ماشین آلات کشاورزی
- توسعه مکانیزاسیون اراضی کشاورزی
- توسعه تک کشتی و عدم رعایت تناوب زراعی: در زراعت تک کشتی طولانی مدت و مستمر، برای کنترل علف‌های هرز و عوامل بیماری‌زایی که در بقایای گیاهی مستقر شده‌اند، نیاز به خاک‌ورزی افزایش می‌یابد. در نتیجه، با افزایش تردد ماشین آلات در مزرعه خطر تراکم خاک نیز افزایش پیدا می‌کند.
- عدم رعایت زمان مناسب برای خاک‌ورزی: تردد ماشین آلات در زمین به هنگامی که رطوبت خاک بالا است، باعث ایجاد تراکم خاک می‌گردد.

انواع مختلف تراکم عبارتند از:

۱- **تراکم طبیعی**: اکثر خاک‌هایی که دارای مقادیر زیادی از رس می‌باشند، به طور طبیعی متراکم و سنگین می‌باشند. با افزودن شن به اینگونه از

خاک‌ها می‌توان از تراکم آنها کاست، که در اکثر مواقع راهکاری اقتصادی نمی‌باشد.

۲- **سله خاک سطحی**: سله بر اثر اثرات کوبنده قطرات باران بر سطح خاک و آبیاری به وجود می‌آید، که باعث سخت شدن (تراکم) و بسته شدن منافذ سطح خاک، و در نتیجه، کاهش نفوذپذیری و سبز شدن جوانه‌های بذور می‌گردد.

۳- **شخم کفه**[1]: ادوات خاک‌ورزی که سطح خاک را می‌خراشند (مانند گاوآهن و دیسک)، معمولاً باعث ایجاد تراکم خاک می‌گردند. با خاک‌ورزی متناوب در یک عمق شخم ثابت، به تدریج در همان عمق لایه متراکمی ایجاد می‌گردد که به آن *شخم کفه* می‌گویند. احتمال ایجاد شخم کفه در خاک‌های مرطوب بیشتر از خاک‌های خشک است.

۴- **تراکم خاک ناشی از ماشین آلات**: این نوع تراکم در اثر سنگینی و فشار وزن ماشین آلات کشاورزی ایجاد می‌گردد. در صورتیکه هر نوع تراکم در عمق شخم (۲۵-۱۰ سانتی‌متر) ایجاد شود، به آن *تراکم کم‌عمق* می‌گویند. این نوع تراکم با خاک‌ورزی برطرف می‌گردد. تراکمی که در زیر عمق شخم و در اعماق پایین پروفیل خاک در اثر نیرو یا فشار وزن بر خاک ایجاد شود را *تراکم عمیق* می‌گویند.

علائم تراکم خاک عبارتند از:

- رد چرخ‌های مشهود ماشین آلات در مزرعه کشت شده
- رشد و شکل غیرعادی ریشه‌ها
- ایجاد شرایط ماندابی یا فرسایش شدید آبی
- رشد نامطلوب گیاه: تراکم محدودکننده رشد ریشه می‌باشد. در نتیجه، جذب آب و عناصر غذایی به شدت کاهش می‌یابد که به شکل علائم تنش خشکی زودرس و برگ‌های رنگ پریده بروز می‌یابند.
- کاهش عملکرد محصول

[1] Tillage pan

۶- کاهش ماده آلی خاک و عدم تعادل بین عناصر غذایی

این دو عامل از جمله شکل‌های تخریب شیمیایی می‌باشند. به طور کلی، خاک‌های مناطق خشک از نظر میزان ماده آلی فقیر می‌باشند. ولیکن، فعالیت‌های انسانی (مانند جنگل‌زدایی و روش‌های زراعی ناپایدار) منجر به کاهش شدید ماده آلی خاک، حتی در خاک‌های غنی از حیث میزان ماده آلی، گردیده است. علت عمده عدم تعادل بین عناصر غذایی در خاک‌های ایران، و در نتیجه تخریب شیمیایی خاک، مصرف بی‌رویه کودهای شمیایی است. مصرف بی‌رویه برخی از کودهای شیمیایی و pH بالای خاک‌های ایران باعث کاهش قابلیت دسترسی برخی عناصر مانند فسفر و عناصر ریزمغذی می‌گردد.

فصل چهارم: کیفیت خاک

با توجه به نیازهای اساسی بشر به منابع خاک، انسان نیازمند است تا کیفیت آن را برای مصارف و کاربردهای مختلف حفظ و حتی بهبود بخشد، تا حیات در خور شأن بشر در کره خاکی به صورتی مطلوب و سالم برای نسل‌های حاضر و آینده تداوم یابد. به عبارت دیگر، کیفیت خاک برای کاربردهای زراعی (تولید غذا و مواد الیافی)، کیفیت خاک برای کاربردهای جنگلی، کیفیت خاک برای کاربردهای مرتعی، کیفیت خاک برای کاربردهای مدنی و شهری و کاربردهای خاک برای مقاصد زیست محیطی (مانند تصفیه آب و مواد سمی) حفظ و بهبود یابند. *کیفیت خاک* در برگیرنده قابلیت‌های بازدهی (تولید) و زیست محیطی خاک است. لذا، تأکید تنها بر تولید اثرات نامطلوب زیست محیطی را در پی خواهد داشت، و تأکید تنها بر محیط زیست نیز منابع تولید غذا و الیاف را به خطرخواهد انداخت.

۱- تعریف کیفیت خاک[1]

واژه‌های "سلامت خاک" و "کیفیت خاک" اغلب به صورت مترادف بکاربرده می‌شوند. واژه *کیفیت خاک* بیشتر توسط دانشمندان و محققین و واژه *سلامت خاک*[2] بیشتر توسط کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گیرد. برآورد کیفیت خاک توسط دانشمندان بیشتر مبتنی بر ویژگی‌های تجزیه‌ای یا کمّی خاک، و ارتباطات کمّی آنها با اهداف و وظایف کیفیت خاک است. برآورد سلامت خاک توسط کشاورزان بیشتر مبتنی بر ویژگی‌های توصیفی یا کیفی خاک می‌باشد ، که بر مبنای قضاوت شخصی آنها، ویژگی خاصی از خاک ارزشگذاری می شود (از ضعیف تا خوب). علاوه بر آن، از نظر کشاورزان ویژگی‌های کیفی گیاه، هوا، آب، حیوان و انسان نیز همبستگی نزدیکی با ویژگی‌های کیفی خاک دارند و بخشی جدایی‌ناپذیر از ارزیابی سلامت خاک است (۶۹).

کاربردها و خدمات خاک به جوامع بشری و نقش آن در ثبات اکوسیستم‌های طبیعی و تحت مدیریت، و در نتیجه اهمیت حفاظت از *سلامت* و *کیفیت خاک*، در

---

[1] Soil Quality
[2] Soil Health

فصل‌های قبلی بیان گردید. تعاریف متعددی برای "کیفیت خاک" و بر اساس دیدگاه کارشناسان نسبت به خاک ارائه شده است.

۱-۱- کیفیت خاک از دیدگاه "وظایف خاک"

بسیاری از کارشناسان کیفیت خاک را از دیدگاه *وظایف خاک*[1] تعریف کرده‌اند. تعاریف زیر بیشتر از دیگر تعاریف مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

- *کیفیت خاک* یعنی ظرفیت خاک برای انجام وظیفه در محدوده اکوسیستم برای تولید بیولوژیکی، حفظ کیفیت زیست محیطی و ارتقاء سلامت گیاه و حیوان (۴۳).
- *کیفیت خاک* یعنی آمادگی یک خاک به خصوص برای انجام وظیفه در محدوده قابلیت‌ها و ظرفیت‌های خود، و مرزهای اکوسیستم‌های طبیعی و مدیریت شده، به منظور حفظ تولید گیاهی و حیوانی، حفظ و بهبود کیفیت هوا و آب و پشتیبانی از سلامت انسان و زیستگاه‌ها (۴۲، ۵۶ و ۶۲).
- *کیفیت خاک* عبارت است از توانایی خاک در انجام برخی از وظایف، مانند بازچرخانی مؤثر عناصر غذایی و به حداقل رساندن آبشویی و رواناب و همزمان، قرار دادن آنها در اختیار گیاه؛ به حداکثر رساندن ظرفیت نگهداری آب و به حداقل رساندن رواناب و فرسایش؛ جذب و فیلتر کردن عناصر غذایی مازاد، رسوبات و آلاینده‌ها؛ تهیه یک محیط سالم برای ریشه؛ و ایجاد یک فونداسیون (پی‌ریز) باثبات برای تأسیسات ساخت بشر (۸۵).

کلیه این تعاریف در پایه و اساس از این نظر یکدیگر می‌باشند که کیفیت خاک را از دیدگاه *وظایف خاک* تعریف نموده‌اند. کارشناسان دیدگاه *وظایف خاک* اعتقاد دارند که می‌توان کیفیت خاک را با امتیازبندی معیارها و شاخص‌های مناسب کمّی نمود. لذا، تحقیقات زیادی بر روی شاخص‌گذاری کیفیت خاک انجام می‌دهند.

[1] Soil functions

در اکثریت قریب به اتفاق تحقیقات مربوط به کیفیت خاک در ایران این دیدگاه غالب می‌باشد (۱۶، ۱۹ و ۲۲).

۱-۲- کیفیت خاک از دیدگاه "استفاده از خاک"

در دیدگاه *استفاده از خاک*[1] نیز فعالیت‌های کشاورزی در راستای کشاورزی پایدار، یعنی حفظ و نگهداری قابلیت بازدهی و تولید خاک، محیط زیست، سلامت انسان و سودآوری اقتصادی، در نظر گرفته شده است. تعریف *کیفیت خاک* که در در بخش قبلی ارائه گردید، بر این تأکید دارند که خاک‌ها باید انجام وظیفه کنند. *وظیفه* بدان معنی است که خاک‌ها مسئولیتی دارند و باید از عهده آنها برآیند، در غیر این صورت خاک‌ها مناسبی نبوده و قابل استفاده برای کاربرد مورد نظر نمی‌باشند. ولیکن، کارشناسان این دیدگاه بر "موارد استفاده از خاک" به جای *وظیفه* تأکید می‌نمایند. بدین صورت که اگر کسی از خاک به منظور خاصی استفاده می‌کند، مسئولیت نیز باید بر عهده کاربر باشد. این امر به وضوح مبحث کیفیت خاک را در یک چارچوب مدیریتی قرار می‌دهد. از نظر این کارشناسان مدیریت "کیفیت خاک" مورد نیاز نیست، بلکه آنچه مهم است کیفیت بالای مدیریت خاک است. به عبارت دیگر، آنها بر نحوه و کیفیت مدیریت کردن خاک تأکید دارند نه بر کیفیت خاک تنها.

در این دیدگاه باید اهداف مدیریت خاک قبل از تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام وظیفه خاک ارزیابی شود، تعیین و مشخص گردند. زیرا، خاکی که برای یک وظیفه "خوب" می‌باشد، ممکن است برای یک وظیفه دیگر "ضعیف" باشد. برای مثال، سطوح پایین نیترات خاک در بهار برای خاکی که وظیفه آن حداکثر عملکرد محصولات زراعی است یک ویژگی منفی است، ولی برای خاکی که وظیفه آن حفاظت از محیط زیست است ویژگی مثبت تلقی می‌شود. این مثال نشان می‌دهد که اتخاذ تنها یک شاخص برای اندازه‌گیری روند کیفیت خاک بسیار مشکل و دشوار است. اگر به مفهوم کیفیت خاک از دیدگاه *وظایف خاک* نگاه شود، آنگاه مسئله فوق مدیر و تصمیم‌گیرنده را مجبور می‌سازد تا از بین اهداف مدیریتی تولید یا حفاظت از محیط زیست یکی را انتخاب نماید. ولی از دیدگاه *کاربرد و*

[1] Soil use

استفاده از خاک مدیر می‌تواند با اتخاذ فناوری‌های مناسب، سطح نیترات خاک را به حداکثر ظرفیت نگهداری نیترات خاک در بهار برساند بدون آنکه آبشویی نیترات انجام گیرد. بدین ترتیب به هر دو اهداف مدیریتی تولید و حفظ محیط زیست دست می‌یابد. جامعه نیز خواهان همین تعادل بین اهداف را از تولیدکنندگان و دست اندرکاران کشاورزی است.

در ارتباط با آب، کیفیت آن چنین تعریف شده است: "ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آب که بر استفاده از آن اثرگذار هستند". طبق این تعریف تا زمانی که نوع کاربری و استفاده از آب مشخص نشود، نمی‌توان بالا یا پایین بودن کیفیت آن را مشخص کرد. برای مثال، آب شور دریای خزر برای ماهیان خاویاری دارای کیفیت بالا و برای ماهیان آب شیرین دارای کیفیت پایین است. تعریفی مشابه برای کیفیت خاک چنین خواهد بود: "خصوصیات فیزیکی، شمیایی و بیولوژیکی خاک که بر استفاده از آن اثرگذار هستند" (۶۴). طبق این تعریف، لازم است که نوع استفاده از خاک مشخص گردد، و اینکه موارد استفاده توأم و اثرات آنها باید به طور همزمان مدیریت شود. در کشاورزی پایدار باید هم از قابلیت بازدهی خاک و هم از محیط زیست حفاظت شود. به عبارت دیگر موارد استفاده از خاک مزرعه هم تولید و هم حفاظت از محیط زیست است (برای مثال، تولید گندم و حفظ کیفیت آب‌های زیرزمینی از آلودگی با مواد شیمیایی مصرفی در طی فرآیند تولید گندم). طبق تعریف جدید *کیفیت خاک*، هر دو نوع استفاده از خاک و اثرات آنها باید همزمان مدیریت شوند، و مسئولیت این مدیریت به عهده کاربر (کشاورز، تولیدکننده یا مدیر مزرعه) است (۶۴). لذا، هدف نهایی کاربر باید این باشد که چنان مدیریت نماید که به هر دو هدف استفاده از خاک دست یابد.

در تعریف جدید *کیفیت خاک* مشخص نمودن استفاده از خاک برای تولید محصول کافی نیست، مگر آنکه محصول نیز مشخص گردد (۶۴). برای مثال، خاک‌های حاوی رس‌های آماس‌پذیر (مانند رس اسمکتایت) دارای ویژگی انبساط و انقباض زیاد می‌باشند. این نوع خاک‌ها برای تولید محصولاتی با ریشه کم‌عمق (مانند کاهو) ضعیف، برای پنبه و یونجه نسبتاً خوب وبرای برنج عالی می‌باشند. همچنین، در این چارچوب، باید مشخص گردد که محصول به صورت دیم یا آبی تولید می‌شود. نفوذپذیری و ظرفیت بالای نگهداری آب خاک برای دیمکاری ویژگی‌های بسیار مطلوبی محسوب می‌شوند، ولی در کشت آبی از اهمیت کمتری

برخوردار هستند. برای مثال، نفوذپذیری بالا در روش آبیاری فارو (جوی و پشته) ویژگی مطلوبی نیست، زیرا پیشروی آب در طول مزرعه را دشوار می‌سازد. در نهایت، باید محدودیت‌های مهم زیست محیطی با هر نوع استفاده از خاک نیز تعیین و پایش گردند.

مسئله مهم دیگری که توسط مخالفان کیفیت خاک از دیدگاه *وظایف خاک* عنوان می‌شود، قوه ابتکار و نبوغ بشر در حل مشکلات کشاورزی است. نقشه کاربری اراضی که بر اساس *وظایف خاک* تهیه می‌شود، بهترین نوع استفاده از خاک را بیان می‌دارد. برای مثال، زمین‌هایی که شوری آنها از حدی بیشتر است، هیچ کاربری مناسبی ندارند. ولیکن، با استفاده از قوه ابتکار و تغییر دیدگاه، بشر می‌تواند با تغییر نوع گیاه در همین اراضی فعالیت‌های اقتصادی و پایدار کشاورزی داشته باشد. برای مثال، دیدگاه عمومی بر این است که زمین‌های با شیب تند برای زراعت محصولات ردیفی مناسب نمی‌باشند. مثال‌های بارزی که صحت این ادعا را ثابت می‌کنند در کشور زیاد می‌باشند. به علت عملیات نادرست خاک‌ورزی و مدیریت نامطلوب، بسیاری از مراتع طبیعی و شیبدار کشور که به مزارع دیم تغییرکاربری یافته‌اند، در مدت بسیار کوتاهی (بعضاً ۳-۲ سال) به علت فرسایش و در نتیجه، تخریب ماده آلی و ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری و ظرفیت تبادل کاتیونی، از حیض انتفاع خارج شده‌اند. ولیکن، در اراضی شیبدار با اتخاذ و اجرای مناسب فناوری‌های موجود (مانند بی‌خاک‌ورزی، کاشت در خطوط تراز و استفاده از مالچ‌های گیاهی)، می‌توان نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب را افزایش و میزان هرزآب و فرسایش را کاهش داد. بنابراین، ابزارهایی که تغییرات در کیفیت خاک را در اثر اتخاذ روش‌های مدیریت پایش و یا پیش‌بینی نمایند، به مراتب بهتر از نقشه‌برداری خاک به منظور تعیین *بهترین کاربری* خاک است. تعریف و ارزیابی خاک‌ها بر اساس توانایی آنها برای انجام وظیفه، با درنظر نگرفتن قدرت ابتکار و توانایی سازگاری انسان، این احتمال را به وجود می‌آورد که میلیون‌ها هکتار زمین به دلیل پتانسیل آسیب‌پذیری آنها، برای کشاورزی در نظر گرفته نشوند. بنابراین، تحقیقات و تلاش باید بر روی ابداعات و ابتکارات مدیریتی، و نه رتبه‌بندی و شاخص‌گذاری کیفیت خاک، متمرکز گردد.

۲- ارزیابی و پایش کیفیت خاک

بهبود و یا بازسازی کیفیت خاک از استراتژی‌های مهم در مدیریت پایدار خاک می‌باشد. به طور کلی، مدیریت بهبود کیفیت خاک دارای سه مرحله اساسی است:

۱ – ارزیابی سلامت خاک و فعالیت‌های بیولوژیکی در مزرعه

۲ – استفاده از فناوری‌ها و ابزارهای مناسب برای تقویت شرایط تشکیل خاک

۳ – پایش شاخص‌های موفقیت یا شکست

در این فصل مراحل ارزیابی سلامت خاک و پایش کیفیت خاک مورد بحث قرار خواهد گرفت. مرحله دوم مدیریت بهبود کیفیت خاک شامل فناوری‌های مطلوب کشاورزی در مدیریت پایدار خاک می‌باشد که در فصل پنجم به آن پرداخته خواهد شد.

۲-۱- ارزیابی کیفیت خاک[1]

بررسی کیفیت خاک باید بتواند توانایی و ظرفیت خاک در حمایت از خدمات و کارکرد اکوسیستم، حفظ تولیدات بیولوژیکی، حفظ و نگهداری از کیفیت محیط زیست و تقویت سلامتی گیاه، حیوان و انسان را نشان دهد. بنابراین، "ارزیابی کیفیت خاک" وسیله‌ای برای بررسی وضعیت کنونی کیفیت خاک و تغییرات حاصل از نحوه مدیریت بر خاک است. محققین و کارشناسان سعی بر این دارند تا یک چارچوب کاربردی و عملی برای ارزیابی اثرات احتمالی فعالیت‌های مدیریتی و حفاظتی بر کیفیت خاک را تعریف و وضع نمایند. هدف دراز مدت این است که این چارچوب هم از نظر علمی دارای پشتوانه قوی باشد و هم قابل استفاده برای تولیدکنندگان و مروجین برای توصیه نظام‌ها و راهکارهای جدید و یا جایگزین حفاظتی و مدیریتی باشد. اهداف اصلی *ارزیابی کیفیت خاک* عبارت است از:

۱- مقایسه اثرات مدیریت‌های مختلف بر کیفیت خاک بین دو یا چند مزرعه که دارای واحد نقشه خاک مشابه می‌باشند.

۲- پایش روند تغییرات کیفیت خاک در یک یا چند مزرعه در طول زمان با هدف تعیین اثرات مدیریت بر کیفیت خاک و مشخص کردن نقاط مشکل‌دار

[1] Soil Quality Assessment

۳- تعیین علت بروز نقاط مشکل‌دار

۴- کمک به مدیر مزرعه (زارع، باغدار،...) برای تصمیم‌گیری

تحقیقات در زمینه کیفیت خاک نشان می‌دهد که امکان ارائه یک چارچوب یا وسیله‌ای که به کشاورزان، تصمیم‌گیرندگان و محققین اجازه دهد تا تغییرات مثبت یا منفی کیفیت خاک را پایش و ارزیابی نماید، وجود دارد. ولیکن، هنوز این امر تحقق نیافته است.

۲-۱-۱- اجزاء کیفیت خاک

توانایی خاک‌ها در انجام وظایف خود (کارکرد و ارائه خدمات) به طور طبیعی متفاوت است. در نتیجه، کیفیت برای هر نوع خاک، ویژه آن نوع خاک و وظیفه‌ای که به عهده دارد، می‌باشد. کیفیت خاک دارای دو بخش وابسته به یکدیگر است: *کیفیت ارثی* و *کیفیت پویا*.

الف) کیفیت ارثی یا ژنتیکی: مشخصاتی مانند بافت و نوع کانی‌ها (مینرالوژی)، تعیین‌کننده *کیفیت ارثی* یا ذاتی خاک هستند. کیفیت ارثی خاک تغییر چندانی با مدیریت‌های اعمال شده بر زمین نمی‌نماید. این مشخصات، به مقایسه بین یک خاک با خاک دیگر، و بررسی خاک به منظور یک کاربرد بخصوص کمک می‌نمایند. برای مثال، اگر همه چیزهای دیگر یکسان باشد، خاک لومی ظرفیت نگهداری آب بیشتری نسبت به خاک شنی دارد. در نتیجه، برای زراعت، خاک لومی دارای کیفیت ارثی بهتری است. کیفیت ارثی در مبحث *قابلیت خاک* کاربرد داشته و از آنها در تهیه نقشه‌های قابلیت اراضی استفاده می‌شود.

ب) کیفیت پویا یا دینامیک: *کیفیت پویا* تغییرپذیری خصوصیات خاک در نتیجهٔ استفاده از خاک و مدیریت آن توسط انسان است. به عبارت دیگر، آن دسته از ویژگی‌ها و خصوصیاتی از خاک است که تحت تأثیر مدیریت قرار می‌گیرند. برای مثال، کاشت گیاهان پوششی باعث افزایش ماده آلی خاک و در نتیجه، تأثیر مثبت برروی کیفیت خاک می‌شود. همچنین، خاک‌ورزی در هنگام رطوبت زیاد خاک باعث افزایش تراکم خاک و در نتیجه، تأثیر منفی بر کیفیت خاک می‌شود.

۲-۱-۲- معیارها و شاخص‌های کیفیت خاک

ارزیابی کیفیت خاک با بررسی شاخص‌ها انجام می‌گیرد، این شاخص‌ها نشانگر و بازتابی از تغییر در توانایی خاک برای انجام وظایف خود هستند. به طور کلی، *معیارها* یا سنجه*های پایداری* به مقادیر کیفی و کمّی متغیرهای فیزیکی، شیمیایی، زیستی، اجتماعی و اقتصادی اطلاق می‌گردد، که با کمّی کردن و ساده‌سازی داده‌های انبوه مربوط به روابط پیچیده حاکم بر بوم‌نظام‌های کشاورزی، تفسیر وضعیت جاری نظام را ساده و امکان‌پذیر می‌نماید (۱۶). همچنین، *شاخص پایداری* یک مقدار عددی است که از مجموع چندین معیار پایداری تشکیل شده است و در قالب یک کمیت واحد، پایداری نظام کشاورزی را نشان می‌دهد (۱۶ و ۷۳). شاخص‌های ارزیابی کیفیت خاک به چهار گروه عمده تقسیم می‌شوند:

۱- **شاخص‌های مشاهده‌ای یا عینی**: این شاخص‌ها می‌توانند نشانه روشنی از تغییر یا محدود شدن کیفیت خاک باشند، مانند خصوصیات مورفولوژیکی و ظاهری گیاه و محصول، گالی یا آبکند، بیرون آمدن سنگ‌ها، پدیدار شدن خاک زیرین، تجمع آب در سطح مزرعه و مشاهده رسوبات.

۲- **شاخص‌های فیزیکی**: این شاخص‌ها غالباً نشان‌دهنده محدودیت برای رشد ریشه، جوانه‌زنی و استقرار بذر، نفوذ آب، و یا حرکت آب در پروفیل خاک هستند، مانند عمق خاک سطحی، وزن مخصوص ظاهری، تخلخل، پایداری خاکدانه‌ها، سله‌بندی سطح خاک و تراکم.

۳- **شاخص‌های شیمیایی**: شاخص‌های شیمیایی نشان‌دهنده رابطه خاک و گیاه، کیفیت آب، قابلیت تبادل یون‌ها، قابلیت فراهمی عناصر غذایی و آب برای گیاه و ریزجانداران، تحرک آلاینده‌ها، و برخی شرایط فیزیکی (مانند تمایل به سله بستن خاک) هستند. از جمله این شاخص‌ها می‌توان pH، شوری، میزان مواد آلی، غلظت فسفر (یا هر عنصر دیگر مورد نظر)، ظرفیت تبادل کاتیونی، چرخه‌های عناصر غذایی، غلظت عناصری که ممکن است آلاینده باشند (مانند فلزات سنگین، ترکیبات رادیواکتیو، سموم،...) را نام برد.

۴- **شاخص‌های بیولوژیک**: این شاخص‌ها نشان‌دهنده فعالیت‌های حیاتی در خاک هستند، مانند جمعیت جانداران ریز و درشت و یا فضولات و

پسماندهای آنها؛ جمعیت کرم‌های خاکی، نماتدها، موریانه‌ها و غیره؛ میزان تنفس برای تعیین فعالیت میکروب‌ها به ویژه تجزیه میکروبی مواد آلی در خاک؛ اندازه‌گیری سرعت تجزیه بقایای گیاهی؛ تعداد بذرهای علف‌های هرز و جمعیت پاتوژن‌ها (موجودات بیماری‌زا).

پایداری ماهیتی چند بعدی دارد (فناوری، زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی). به همین دلیل، هیچ معیاری به تنهایی نمی‌تواند برای کمّی کردن آن مورد استفاده قرار گیرد. از این رو اعتقاد کلی بر این است که هیچ یک از شاخص‌ها به تنهایی نمی‌تواند تغییر کیفیت خاک را اندازه‌گیری یا پیش‌بینی نماید. اکثریت چارچوب‌ها و ابزارهای ارزیابی کیفیت خاک ترکیبی از معیارهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را در نظر می‌گیرند. به نظر می‌آید که در اکثر مواقع مجموعه معیارهای ماده آلی، عمق خاک سطحی، نفوذپذیری، خاکدانه‌سازی، pH، شوری، آلاینده‌های مورد نظر و تنفس خاک کاربرد مناسبی در برآورد و ارزیابی کیفیت خاک داشته باشند. طبق جمع‌بندی یک کنفرانس بین‌المللی در مورد ارزیابی و پایش کیفیت خاک، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب قابل استفاده[1] (AWC) و عمق خاک به عنوان ویژگی‌های فیزیکی اولیه که کیفیت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند و پایداری خاکدانه‌ها در آب، میزان رس قابل پخشیدگی[2] و وزن مخصوص ظاهری خاک به عنوان ویژگی‌های فیزیکی ثانویه معرفی شدند (۶۱ و ۷۲). همچنین، در این کنفرانس شوری، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی[3]، میزان ماده آلی خاک[4] و سمیت‌هایی مانند فلزات سنگین، ترکیبات سمّی آلی، نیترات اضافی و مواد رادیو اکتیو، در فهرست معیارهای شیمیایی قرار گرفتند (۶۱). البته تغییرات مکانی و زمانی خصوصیات خاک و روش‌های اندازه‌گیری این معیارها نیز باید در نظر گرفته شوند. همچنین، یک حد آستانه استاندارد برای هر یک از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده باید تعیین گردد تا بر اساس آن ارزیابی شاخص‌ها و معیارهای کیفیت خاک انجام گیرد. کلیه عوامل فوق، تهیه یک چارچوب و سیستم فراگیر ارزیابی کیفیت خاک را با دشواری روبرو ساخته است.

[1] Available Waterholding Capacity
[2] Dispersible clay content
[3] Cation Exchange Capacity
[4] Soil Organic Matter (SOM)

قابل ذکر است که برخی از خصوصیات خاک مانند بافت خاک، که از جمله ویژگی‌های ثابت خاک محسوب می‌شود، با زمان، نوع کاربری زمین و نوع مدیریت تغییر قابل محسوسی نمی‌کنند. لذا، در پایش دراز مدت کیفیت خاک مزرعه یا منطقه معیارهای مناسبی محسوب نمی‌شوند. شاخص‌های برآورد آلودگی خاک را می‌توان بر اساس اثرات آنها بر سلامت گیاه، حیوان و انسان، یا نوع استفاده از خاک انتخاب کرد. در این صورت، کیفیت خاک را از دو جنبه می‌توان بررسی نمود: شدتی که کارآیی خاک توسط آلاینده‌ها آسیب می‌بیند، و توانایی خاک در جذب، سم‌زدایی و تجزیه آلاینده‌ها.

بنابر اهدافی که مد نظر است، می‌توان شاخص‌های مناسب را انتخاب و بررسی کرد. با مشاهده یا اندازه‌گیری چندین شاخص مختلف، کیفیت خاک تخمین زده می‌شود. انتخاب شاخص‌ها باید بر اساس ویژگی‌های زیر باشد (به عبارت دیگر خصوصیات شاخص‌های خوب):

- نوع استفاده از زمین
- از نظر علمی معتبر باشد (اعتبار علمی)
- نسبتاً دقیق باشد (دقت نسبی)
- نسبت به تغییرات اقلیمی و مدیریتی حساس باشد، تا مدیر مزرعه به موقع مشکلات را شناسایی و نسبت به رفع آن اقدام نماید.
- با قابلیت تولید و سلامت گیاه و حیوان مرتبط باشد.

علاوه بر موارد فوق، معیارهای مناسب برای پایش کیفیت خاک در سطح مزرعه (معیارهای مزرعه‌ای) باید دارای این ویژگی‌ها نیز باشند (۴۰):

- اندازه‌گیری آن برای استفاده توسط کشاورزان، مروجین و کارشناسان آسان و عملی باشد.
- اندازه‌گیری آنها از نظر هزینه نسبتاً مقرون به صرفه و از نظر زمان‌بری در حد متعادل باشد.
- نتایج آنها به طور صریح و شفاف قابل تفسیر باشند.

۲-۱-۳- روش‌های اندازه‌گیری شاخص‌ها

راهکارها و چارچوب‌های مختلف ارزیابی کیفیت خاک در موارد زیر نقطه اشتراک دارند (۶۱):

۱- استفاده از مجموعه حداقل اطلاعات

۲- روش‌های امتیازبندی منطقی

۳- جمع‌بندی امتیازها و یا تعیین شاخص با استفاده از امتیازبندی معیارها و معادلاتی که از طریق نظرات کارشناسی یا روش آنالیز اجزاء اصلی[1] به دست آمده است.

روش‌های تعیین یا اندازه‌گیری معیارها به دو دسته تقسیم شده‌اند:

۱- **روش‌های کیفی**: روش‌هایی هستند برای ارزیابی ماهیت شاخص

۲- **روش‌های کمّی**: روش‌هایی هستند برای اندازه‌گیری دقیق یک شاخص

برای مثال، اگر فرسایش مورد ارزیابی است، مشاهده عینی شیارها و آبکندها، ارزیابی کیفی و اندازه‌گیری دقیق مقدار فرسایش، ارزیابی کمّی خواهند بود. همچنین، در مورد تغذیه گیاهان، زردی برگ‌های گیاه ارزیابی کیفی و اندازه‌گیری دقیق نیتروژن، ارزیابی کمّی خواهند بود.

ارزیابی کیفی ماهیت نظری و ذهنی دارد و در نتیجه، بهتر است که توسط یک شخص معین در طول زمان انجام گیرد تا تغییرپذیری نتایج به حداقل برسد. ارزیابی کیفی معمولاً به سادگی و به سرعت قابل انجام است و تولیدکننده (زارع) بدون کمک اضافی می‌تواند آن را انجام دهد. اگر هم نیازی به وسایل یا ادوات باشد، معمولاً ساده و به راحتی قابل تهیه است (برای مثال، به ضمیمه مراجعه شود). ولیکن، به دلیل ماهیت نظری و ذهنی آن، نتایج نباید برای مقایسه بین کاربری‌های مختلف یا مزراع مختلف مورد استفاده قرارگیرد. در ارزیابی کمّی، شاخص‌هایی که توسط روش‌های کمّی اندازه‌گیری شده‌اند، دارای مقادیر مشخص عددی هستند. در نتیجه، افراد مختلف که آن روش‌ها را تکرار می‌کنند، باید قادر باشند که نتایج مشابهی را تولید نمایند. یعنی افراد مختلف می‌توانند آن کار را انجام دهند چون روش کار مشخص و نتیجه کار عددی و کمّی است.

[1] Principal Component Analysis

تعریف جدید کیفیت خاک اصطلاح "ظرفیت" را که اصطلاحی کمّی است، حذف می‌نماید. هر چند *شاخص کیفیت خاک*[1] ممکن است مؤلفه‌ها و پارامترهای مختلف ظرفیت را کمّی نماید، ولیکن، کمّی کردن "ظرفیت انجام وظیفه" امکان‌پذیر نیست. زیرا آن ظرفیت نه تنها وابسته به خصوصیات خاک، بلکه از آن مهمتر، وابسته به نحوه مدیریت است. برای مثال، کاربرد اضافی نیتروژن یا آفت‌کش‌ها، ظرفیت پالایشی (فیلتر) خاک را، که یکی از وظایف خاک برشمرده شده است، تغییر نمی‌دهد، اما ممکن است از حد گنجایش خاک فراتر رود. در این صورت، تعریف کیفیت خاک بر اساس وظیفه و ظرفیت انجام وظیفه به مسئله حفاظت از آبهای زیرزمینی توجه نمی‌نماید. به عنوان مثال، میزان ماده آلی خاک از پرمصرف‌ترین معیارهای ارزیابی و پایش کیفیت خاک است. این بدان دلیل است که افزودن ماده آلی به خاک اغلب باعث افزایش ثبات خاکدانه‌ها، نفوذپذیری، نیتروژن و کربن قابل معدنی شدن، زیست توده میکروبی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌شود. ولیکن، وابستگی و تکیه بیش از حد به افزایش میزان ماده آلی خاک به عنوان معیاری از بهبود کیفیت خاک، باعث نادیده گرفتن اثرات نامطلوب احتمالی منبع ماده آلی می‌گردد. برای مثال، کود مرغی حاوی مقادیر زیادی از فسفر است که می‌تواند باعث آلودگی منابع آب سطحی گردد. همچنین، بسیاری از کودهای دامی حاوی مقادیر زیادی از املاح نیز می‌باشند که ممکن است باعث شور شدن خاک گردند.

[1] Soil Quality Index (SQI)

۲-۱-۴- تعیین حد آستانه‌های[1] معیارهای کیفیت خاک

بسیاری از مطالعات مربوط به کیفیت خاک اثرات سیستم‌های مدیریت یا عملیات زراعی و حفاظتی را بر چند معیار کیفیت خاک با یکدیگر مقایسه کرده، و سپس با نظر کارشناسی و تفسیر نتایج مقایسه، نتیجه‌گیری می‌نمایند که کدام سیستم یا عملیات کیفیت کلی خاک را بهبود داده است. مسئله مهم در این روش زمان نمونه‌برداری است. بسیاری از این محققین متوجه شده‌اند که زمان نمونه‌برداری اثرات قابل توجه و معنی‌داری بر نتایج حاصله دارد. برای مثال، جمعیت کرم خاکی از معیارهای بیولوژیکی برآورد کیفیت خاک است. در یکی از این آزمایشات، جمعیت کرم خاکی در زمینی که با کود دامی تیمار شده بود، در ظرف یک ماه از ۱۰ کیلوگرم در هکتار به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار و سپس در ظر ف ۲۸ روز به ۴۴۰ کیلوگرم در هکتار رسیده بود(۶۱). بنابراین، از معیارهایی در این شرایط باید استفاده کرد که به اندازه کافی حساس باشند تا بتوان تغییرات را در یک دوره زمانی مناسب اندازه‌گیری کرد، ولی نه آنقدر حساس که نتایج را به دلیل مشکل زمان نمونه‌برداری خدشه‌دار سازد. همچنین، روش‌های اندازه‌گیری معیارهای کیفیت خاک در مکان‌های مختلف فرق می‌کند. برای مثال، ممکن است برای اندازه‌گیری فسفر خاک کارشناسان از روش‌های متفاوتی استفاده نمایند، که همین امر مقایسه نتایج را با یکدیگر دشوار می‌سازد.

به طور کلی حد نصاب‌های استاندارد برای معیارهای مختلف کیفیت خاک تعیین نشده است. در حال حاضر استانداردی که معیارهای کیفیت خاک با آنها مقایسه شود وجود ندارد، ولی با این حال، مقادیر عددی بیشتر شاخص کیفیت خاک به عنوان کیفیت بالاتر خاک تفسیر می‌شود. حدود آستانه برخی از معیارهای کیفیت خاک در چندین مقاله و انتشارات مرتبط با کیفیت خاک ارائه شده است. برای مثال، می‌توان به حدود مناسب و نامناسب وزن مخصوص ظاهری بافت‌های مختلف خاک که توسط وزارت کشاورزی آمریکا ارائه شده است، اشاره کرد (جدول ۴-۱).

برخی از محققین پیشنهاد داده‌اند که از "نمودارهای کنترل کیفیت" برای تعیین حدود آستانه و مرزهای بالا و پایین این حدود برای هر یک از معیارهای کیفیت

[1] Threshold Values

خاک استفاده شود. در صورتی که تعداد اندکی از معیارها انتخاب گردد، این روش می‌تواند مفید واقع گردد، ولی، در صورتی که تعداد زیادی از معیارها از این طریق بررسی گردند، تفسیر و تحلیل نتایج دشوار می‌گردد.

جدول ۴-۱- مشخصات وزن مخصوص ظاهری (BD) خاک‌های شهری (۸۵).

بافت خاک	BD ایده‌آل	BD که ممکن است بر رشد ریشه اثرگذار باشد	BD که رشد ریشه را محدود می‌کند
	g/cm^3		
شن، شن لومی	<۱/۶۰	۱/۶۹	>۱/۸۰
لوم شنی، لوم	<۱/۴۰	۱/۶۳	>۱/۸۰
لوم رسی شنی، لوم، لوم رسی	<۱/۴۰	۱/۶۰	>۱/۷۵
سیلت، لوم سیلتی	<۱/۳۰	۱/۶۰	>۱/۷۵
لوم سیلتی، لوم رسی سیلتی	<۱/۱۰	۱/۵۵	>۱/۶۵
رس شنی، رس سیلتی و بعضی از لوم رسی‌ها (۴۵-۳۵ درصد رس)	<۱/۱۰	۱/۴۹	>۱/۵۸
رس (بیش از ۴۵٪ رس)	<۱/۱۰	۱/۳۹	>۱/۴۷

در روش جدید تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی که در منطقه دشت ورامین به اجرا در آمده است، از چهار شاخص کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، کیفیت پوشش گیاهی و کیفیت مدیریت استفاده شد (۲۲). در این روش ارزیابی شاخص کیفیت خاک با بررسی شش معیار انجام گرفت (جدول‌های ۴-۲ تا ۴-۷). از میانگین هندسی وزن معیارهای فوق، شاخص کیفیت خاک محاسبه و با استفاده از جدول ۴-۸ مورد طبقه‌بندی قرار می‌گیرد (۲۲). قابل ذکر است که ارزیابی

کیفیت خاک در این شرایط به منظور کاربرد زیست محیطی از خاک (مبارزه با بیابان‌زایی) بوده است. از این رو، ممکن است که تمامی معیارهای ارائه شده در ارزیابی کیفیت خاک به منظور کاربرد کشاورزی معیارهای مناسبی نباشند (مانند معیارهای مواد مادری و پوشش سنگریزه‌ای). بنابراین، با توجه به نوع استفاده از خاک و هدف از بررسی کیفیت خاک باید شاخص‌ها و معیارهای مناسب انتخاب و مورد ارزیابی قرار گیرند.

جدول ۴-۲- کلاسه‌ها و وزن‌های اخذ شده برای معیار بافت خاک در ارزیابی شاخص کیفیت خاک برای تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی (اقتباس از ۲۲).

کلاس	تشریح	بافت خاک	وزن اخذ شده
۱	خوب	L, SCL, SL, LS, CL	۱/۰
۲	متوسط	SC, SiL, SiCL	۱/۲
۳	فقیر	Si, C, SiC	۱/۶
۴	خیلی فقیر	Sand	۲/۰

جدول ۴-۳- کلاسه‌ها و وزن‌های اخذ شده برای معیار شیب زمین در ارزیابی شاخص کیفیت خاک برای تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی (اقتباس از ۲۲).

کلاس	تشریح	درصد شیب زمین	وزن اخذ شده
۱	خیلی ملایم تا مسطح	< ۶	۱/۰
۲	ملایم	۶ - ۱۸	۱/۲
۳	تند و سراشیب	۱۸ - ۳۵	۱/۵
۴	خیلی تند و سراشیب	> ۳۵	۲/۰

جدول ۴-۴- کلاسه‌ها و وزن‌های اخذ شده برای معیار مواد مادری در ارزیابی شاخص کیفیت خاک برای تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان زایی (اقتباس از ۲۲).

کلاس	تشریح	مواد مادری	وزن اخذ شده
۱	خوب	شل، شیست، کنگلومرا	۱/۰
۲	متوسط	سنگ آهک، ماربل، گرانیت، ریولیت، ایگنبریت، گنیس، ماسه سنگ	۱/۷
۳	فقیر	مارن*، پیروکلاستیک	۲/۰

* برای گیاهان دائمی، مارن به کلاس ۱ تعلق می‌گیرد.

جدول ۴-۵- کلاسه‌ها و وزن‌های اخذ شده برای معیار پوشش سنگریزه‌ای در ارزیابی شاخص کیفیت خاک برای تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی (اقتباس از ۲۲).

کلاس	تشریح	درصد پوشش سنگ ریزه‌ای	وزن اخذ شده
۱	خیلی سنگی	> ۶۰	۱/۰
۲	سنگی	۲۰ - ۶۰	۱/۳
۳	لخت تا پوشش سنگی کم	< ۲۰	۲/۰

جدول ۴-۶- کلاسه‌ها و وزن‌های اخذ شده برای معیار عمق خاک در ارزیابی شاخص کیفیت خاک برای تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی (اقتباس از ۲۲).

کلاس	تشریح	عمق خاک (سانتی‌متر)	وزن اخذ شده
۱	عمیق	> ۷۵	۱
۲	متوسط	۳۰ - ۷۵	۲
۳	سطحی	۱۵ - ۳۰	۳
۴	خیلی سطحی	< ۱۵	۴

جدول ۴-۷- کلاسه‌ها و وزن‌های اخذ شده برای معیار زهکشی خاک در ارزیابی شاخص کیفیت خاک برای تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان زایی (اقتباس از ۲۲).

کلاس	زهکشی	شرایط	وزن اخذ شده
۱	خوب	- عدم وجود رگه‌های آهن یا منیزیم با رنگ‌های خاکستری تا اعماق بیش از ۱۰۰ سانتی‌متر از سطح خاک - عدم وجود رطوبت در نزدیک سطح خاک - عدم وجود رطوبت باقیمانده در خاک در طول دوره رشد گیاه - آب به سرعت از خاک خارج می‌شود	۱/۰
۲	نامناسب	- وجود رگه‌های آهن یا منیزیم با رنگ‌های خاکستری در عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر از سطح خاک - وجود رطوبت در نزدیک سطح خاک - در طول دوره رشد گیاه رطوبت در خاک باقی می‌ماند - آب به آهستگی از خاک خارج می‌شود	۱/۲
۳	فقیر	- وجود رگه‌های آهن با منیزیم یا رنگ‌های خاکستری در اعماق کمتر از ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک - سطح سفره آب زیرزمینی در عمق کمتر از ۷۵ سانتی‌متر از سطح خاک - امکان رسیدن سطح آب زیرزمینی به سطح خاک در طول دوره مرطوب سال - آب خیلی به کندی از خاک خارج می‌شود و برای دوره طولانی اعماق سطحی خاک مرطوب می‌باشد	۲/۰

جدول ۴-۸- طبقه بندی کیفیت خاک بر اساس ارزیابی معیارهای جداول ۴-۲ تا ۴-۷ برای تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی (اقتباس از ۲۲).

کلاس	دامنه وزن‌ها	کیفیت خاک
۱	< ۱/۱۳	بالا
۲	۱/۱۳ - ۱/۴۵	متوسط
۳	> ۱/۴۵	پایین

دیدگاه دیگر در بررسی کیفیت خاک تغییر کیفیت خاک در طول زمان است. بدین ترتیب که کیفیت خاک یک محل با کیفیت یک خاک ایده‌آل مقایسه نمی‌گردد، بلکه تغییرات کیفیت خاک محل در طول زمان و بر اثر اتخاذ و اعمال روش‌های مدیریتی بررسی می‌گردد. برخی از کارشناسان عنوان می‌دارند که کیفیت خاک (Q) را می‌توان به عنوان تابعی از ویژگی‌های خاک یا معیارهای کیفیت خاک (q_i) بیان داشت (۶۲).

$$Q = f(q_{i.....n}) \qquad [۱]$$

و از آنجا که تغییر در کیفیت خاک تابعی از تغییر در خصوصیات خاک در طول زمان می‌باشد (۶۲)، پس:

$$\frac{dQ}{dt} = f\frac{(\frac{q_{it} - q_{it_0}}{q_{it_0}} ..... \frac{q_{nt} - q_{nt_0}}{q_{nt_0}})}{dt} \qquad [۲]$$

مقادیر مثبت dQ/dt نشان‌دهنده این است که کیفیت خاک در طول زمان بهبود یافته، مقادیر منفی نشان‌دهنده تنزل کیفیت خاک در طول زمان و مقدار صفر به معنای عدم تغییر کیفیت خاک است. طرفداران کیفیت خاک از دیگاه *استفاده از خاک* عنوان می‌دارند که هر چند این معادلات از حیث علمی درست به نظر می‌رسند، ولیکن، معادله [۱] بدون روابط تابعی کمّی بین Q و مقادیر q_i ها و اثرات متقابل بین آنها هیچ ارزش کاربردی نخواهد داشت (۶۴). به عبارت دیگر، اگر کیفیت خاک با اهداف تولید و کشاورزی دنبال می‌شود، باید روابط تابعی بین عملکرد و ویژگی‌های خاک (مانند بافت، ساختمان، مواد آلی، و غیره) تعریف شود. تا به حال این توابع به صورت استاندارد و جامع تهیه نشده‌اند. به همین

دلیل مقادیر معادله معمولاً بر اساس نظرات شخصی و مقادیر قراردادی است، که این خود از جامعیت و کاربرد فراگیر آن می‌کاهد. همچنین، مقادیر q_i با عمق تغییر می‌کند و این معادلات اثرات آن را در نظر نمی‌گیرند، که همین، در حقیقت یکی از نقاط ضعف تعریف و بررسی کیفیت خاک از دیدگاه *وظایف خاک* است.

معادله [۳] برای *شاخص کیفیت* (SQ) خاک ارائه شده است که بر اساس عملکرد خاک می‌باشد (۴۳).

$$SQ = f(SQE1, SQE2, SQE3, SQE4, SQE5, SQE6) \qquad [۳]$$

که در آن:

SQE1 = تولید غذا و الیاف	SQE3 = کیفیت آب زیرزمینی	SQE5 = کیفیت هوا
SQE2 = قابلیت فرسایش	SQE4 = کیفیت آب سطحی	SQE6 = کیفیت غذا

تعیین دستورالعمل‌ها و حدود آستانه معیارهای کیفیت خاک از اولویت‌های اصلی است تا روابط بین خصوصیات اندازه‌گیری شده و وظایف خاک قابل شناسایی باشد. بدین ترتیب، مقایسه‌های معتبر بین تغییرات اقلیمی، خاک‌ها، کاربری زمین و مدیریت امکان‌پذیر خواهد شد. البته باید اذعان داشت که هر چند معادله [۳] از نظر علمی معتبر می‌باشد، ولیکن، بدون روابط تابعی کمّی کاربرد عملی ندارد.

قابل ذکر است که الزاماً مؤلفه‌های کیفیت خاک همیشه با عملکرد محصول همبستگی ندارند. برای مثال، در مطالعه دو مزرعه همجوار که به مدت چند دهه تحت نظام‌های کشت ارگانیک و رایج قرار داشتند، میزان ماده آلی خاک، پلی‌ساکاریدها، میزان رطوبت، ظرفیت تبادل کاتیونی، جمعیت ریزجانداران و ساختمان خاک در مزرعه ارگانیک به طور چشمگیری بهتر از مزرعه رایج بود (۷۴). ولی، در طول یک دوره پنج ساله عملکرد گندم زمستانه در دو قسمت از مزرعه ارگانیک، به ترتیب، ۸ و ۱۳ درصد کمتر و بیشتر از عملکرد آن در مزرعه رایج بود. ولیکن، قابل توجه است که مزرعه ارگانیک ۸۰ سال پس از عدم استفاده از کودهای شیمیایی، هنوز قادر به تولید عملکرد مشابه در مزرعه کشت رایج بود که علت عمده آن، موفقیت زارع ارگانیک در کنترل فرسایش و حفظ خاک سطحی بوده است (۷۴).

مسئله قابل توجه در تعیین حدود آستانه معیارهای کیفیت خاک این است که برخی از آنها وابسته به نوع محصول و شرایط زیست محیطی می‌باشند. لذا، حد

آستانه برخی از معیارها از منطقه‌ای به منطقه دیگر (و حتی در بین واحدهای خاک) و یا از محصولی به محصولی دیگر می‌تواند متفاوت باشد. برای مثال، حدود آستانه مؤلفه عمق خاک می‌تواند در مناطق بیابانی و مناطق معتدل و یا استوایی متفاوت باشند. همچنین، یک شوری خاص می‌تواند باعث کاهش عملکرد شدید یک محصول گردد، ولی تأثیر چندانی بر عملکرد محصول دیگر نداشته باشد. این مطلب در مورد pH خاک نیز صادق است. به همین دلیل است که استفاده از روش حدود آستانه باز هم محدودیت‌های خاص خود را دارد و چارچوبی استاندارد و فراگیر را به دست نمی‌دهد.

علی‌رغم اختلاف نظرهای فراوان در مورد دیدگاه و روش‌های ارزیابی کیفیت خاک، اکثریت کارشناسان و محققین براین نکته اتفاق نظر دارند که روش‌های متکی بر امتیازبندی معیارهای کیفیت خاک برای مقایسه‌های زمانی یا مدیریت‌های مختلف در یک نوع خاک کاربرد دارند. قابل ذکر است که تولیدات کشاورزی تحت تأثیر روابط و اثرات متقابل مستقیم و غیرمستقیم زیادی بین خصوصیات گیاه و حیوان، شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک، وضعیت آفات و نحوه مدیریت قرار دارد. لذا، ممکن است که عملکرد مطلوبی، حتی اگر ویژگی‌های خاک خارج از "محدودهٔ مناسب" نیز باشند، حاصل گردد. دلایل این امر تحمل گیاه، شرایط آب و هوایی جبران‌کننده و از همه مهمتر نحوهٔ مدیریت است. به همین علت است که نمی‌توان همواره میزان تولید و عملکرد را تنها از روی خصوصیات و ویژگی‌های خاک پیش‌بینی کرد. این یکی از بزرگترین محدودیتهای دستورالعمل‌ها و چارچوبهای کلی کیفیت خاک است. عملکرد بالا در خاک‌های نامناسب و بر عکس، عملکرد پایین در خاک‌های حاصلخیز به کرات مشاهده شده است. بنابراین، آنچه که تعیین‌کننده اصلی بهره‌برداری بهینه از قابلیت‌ها و توانایی‌های موجود در مزرعه است، نحوه مدیریت می‌باشد. لذا، آموزش و ترویج نحوه صحیح و پایدار مدیریت خاک در شرایط ویژه از اهمیت زیادتری نسبت به آموزش و ترویج ارزیابی کیفیت خاک به تنهایی برخوردار است. طرفداران چارچوب‌های ارزیابی کیفیت خاک از دیدگاه *وظایف خاک* اذعان می‌دارند که در حال حاضر ساخت و توسعه ابزارهایی که به تفسیر اطلاعات حاصله از خاک در رابطه با نوع گیاه (زراعی یا مرتعی)، مرحله رشد گیاه، اطلاعات هواشناسی و

آبیاری، امراض و پاتوژن‌های خاکزی، وضعیت تغذیه گیاه و تناوب زراعی کمک نماید، ضروری است.

۲-۱-۵- مجموعه حداقل اطلاعات[1]

معیارها و شاخص‌های زیادی برای ارزیابی کیفیت خاک موجود است. برخی از محققین، بیشتر از ۵۰ شاخص را هم نام برده‌اند (۶۱). اندازه‌گیری همه آنها وقت‌گیر، هزینه‌بر و مشکل، و به عبارت دیگر، غیرعملی است. به همین دلیل، باید تعدادی از شاخص‌ها را انتخاب کرد تا بهترین ارزیابی از وضعیت کیفیت یک خاک بخصوص و با کاربری بخصوص را بدست دهد. برای مثال، در یک مطالعه در مورد کاربرد لجن فاضلاب در مزارع و تأثیر آن بر کیفیت خاک، بیش از ۲۵ شاخص مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ارزیابی شد، که در این میان ۶-۵ شاخص مهمترین شاخص‌ها برای آن مورد بخصوص تشخیص داده شد و به عنوان *مجموعه حداقل اطلاعات* معرفی گردید (۸۷).

"مجموعه حداقل اطلاعات" کوچکترین مجموعه از خصوصیات خاک یا شاخص‌ها است که برای اندازه‌گیری و تعیین کیفیت خاک مورد نیاز است (۴۴ و ۶۱)، به عبارت دیگر شاخص‌ها یا خصوصیات کلیدی. این مجموعه، شامل کلیه خصوصیات مرتبط با یک منطقه یا سیستم و نظام زراعی نیست، بلکه شامل حداقل تعداد شاخص‌های مورد نیاز برای بدست آوردن یک درک و آگاهی کلی و جامع از خاک مورد ارزیابی است. در نتیجه، هر مجموعه حداقل اطلاعات، اختصاصاً برای یک ناحیه یا یک نوع خاک مشخص، تعیین و تشکیل می‌گردد. این مجموعه شامل خصوصیات مرتبط با انواع خاک، نظام‌های کشاورزی، و کاربری اراضی ناحیه مورد بررسی می‌باشد. برای مثال، مجموعه حداقل اطلاعات برای ناحیه جنگلی و پرباران رامسر، احتمالا شامل شاخص‌هایی مانند شوری نخواهد بود، ولی برای مناطق گرم و خشک (مانند داراب) این شاخص‌ها مهم بوده و در مجموعه گنجانده می‌شوند. رضایی (۱۳۸۳) *مجموعه حداقل اطلاعات* مراتع نیمه خشک حوزه آبخیز سد لار را با هدف مدیریت حاصلخیزی و پایداری خاک تدوین نموده است (۱۹). متغیرهای وابسته در این تحقیق تولید کل مرتع، تولید

[1] Minimum Data Set

گیاهان علفی و علوفه قابل چرا بودند. با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره، مهمترین متغیرها عمق مؤثر خاک، شاخص حاصلخیزی خاک، ازت کل، پایداری خاک، ساختمان خاک، عمق لایه سطحی خاک و ظرفیت نگهداری آب خاک تعیین و به عنوان مجموعه حداقل اطلاعات در آن منطقه معرفی شدند. در جدول ۴-۹ مثالی از مجموعه حداقل اطلاعات ارائه شده که در ارزیابی کیفیت خاک بسیاری از اراضی زراعی احتمالاً کاربرد دارد.

جدول ۴-۹- مثالی از مجموعه حداقل اطلاعات شاخص‌ها برای کیفیت خاک در اراضی کشاورزی (۴۳ و ۴۴).

شاخص	رابطه با سلامت خاک (کیفیت خاک)
ماده آلی خاک	حاصلخیزی، ساختمان و پایداری خاک، نگهداری عناصر غذایی، فرسایش خاک و ظرفیت آب قابل دسترس
فیزیکی ساختمان خاک عمق خاک و ریشه نفوذپذیری و وزن مخصوص ظاهری ظرفیت نگهداری آب	نگهداری و انتقال آب و عناصر غذایی، زیستگاه میکروب‌ها و فرسایش خاک برآوردی از قابلیت تولید محصول، تراکم و سخت کفه حرکت آب، تهویه (تخلخل)، سهولت کار کردن با خاک (خاک‌ورزی) ذخیره‌سازی و فراهمی آب
شیمیایی ماده آلی خاک (مقدار کل کربن و نیتروژن آلی) pH هدایت الکتریکی (شوری) نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل استخراج	حاصلخیزی، ساختمان و پایداری خاک، نگهداری عناصر غذایی، فرسایش خاک و ظرفیت آب قابل دسترس فعالیت بیولوژیکی، فراهمی عناصر غذایی رشد گیاه، فعالیت میکروبی و تحمل به شوری گیاهان عناصر در دسترس گیاه، پتانسیل تلف شدن نیتروژن و فسفر
بیولوژیکی میزان کربن و نیتروژن توده میکروبی خاک میزان نیتروژن قابل معدنی شدن تنفس خاک	توانایی عملکرد میکروب‌ها به عنوان کاتالیزور، ذخیره‌سازی کربن و نیتروژن قابلیت تولید خاک، توانایی فراهم‌آوری نیتروژن معیاری از فعالیت میکروبی

۲-۲- پایش[1] کیفیت خاک

"پایش" به معنای پیگیری تغییرات توسط اندازه‌گیری یک معیار یا شاخص است. برای مثال، اندازه‌گیری عملکرد محصول در هر سال و ثبت آن پایش محسوب می‌شود. در پایش خاک، تغییرات اساسی در سلامت و کیفیت خاک ممکن است چندین سال به طول انجامد تا قابل مشاهده باشد. لذا، پایش کیفیت خاک تنها هنگامی سودمند است که از آن برای ارزیابی مدیریت زمین و کارهایی که منجر به بهبود سلامت خاک می‌گردد، استفاده شود. برای ارزیابی و پایش کیفیت خاک دو روش اصلی وجود دارد.

۱- اندازه‌گیری سالیانه در طول زمان برای پی بردن به تغییرات یا روند تغییرات در کیفیت خاک.

۲- مقایسه نتایج با یک شرایط استاندارد یا پایه‌ای خاک، مانند حاشیه دست نخورده کنار مزرعه یا باغ یا در حالت ایده‌آل، اکوسیستم طبیعی همجوار با نوع خاک یکسان.

ارزیابی سلامت و کیفیت خاک باید حداقل سالی یک بار انجام گردد. اواخر فصل بهار و اوایل فصل پاییز قبل از آنکه دمای خاک به زیر ۱۰ درجه سلسیوس برسد، معمولاً زمان مناسبی برای انجام این کار است (۸۴). البته، پوشش خاک توسط بقایای گیاهی باید در ظرف سه هفته پس از کاشت بررسی گردد، زیرا در طی این مدت است که خاک در حداکثر تماس با عوامل تخریبی و فرسایش است. بهترین حالت خاک برای ارزیابی کیفیت خاک هنگامی است که خاک نه خیلی خشک و نه خیلی خیس باشد. همچنین، توصیه می‌گردد که حداقل هر ۳ سال آزمون‌های استاندارد خاک در آزمایشگاه‌های معتبر انجام گردد، مانند میزان عناصر غذایی، میزان ماده آلی خاک، شوری و عوامل دیگری که با مدیریت خاک و گیاه مرتبط می‌باشند.

بهترین شخص برای ارزیابی و پایش کیفیت خاک در مزرعه، باغ یا مرتع، خود کشاورز است. به همین دلیل، از جمله راهکارهای ارائه شده "کارت سلامت خاک" است، که نمونه‌ای از آن در ضمیمه ارائه شده است. روش اندازه‌گیری برخی از

[1] Monitoring

معیارها و شاخص‌هایی که به راحتی در مزرعه توسط کشاورزان قابل اندازه‌گیری باشند نیز به همراه کارت می‌باشند. پس از انجام آزمایشات، کشاورز با استفاده از دستورالعمل‌های ارائه شده در کارت، نتایج بررسی هر یک از معیارها را امتیازبندی و تفسیر می‌نماید. مهمترین فایده "کارت سلامت خاک" این است که انگیزه‌ای را ایجاد می‌کند تا کشاورز با وضعیت خاک مزرعه خود آشنایی پیدا نماید. ولیکن، باید همواره دقت نمود زیرا این کارت‌ها ممکن است که روابط متقابل پیچیده و پویایی که در خاک وجود دارد را بیش از حد ساده جلوه دهند، که این امر می‌تواند منجر به تفسیر نادرست مشاهدات و در نتیجه تصمیم‌گیری نامناسب گردد.

فصل پنجم: عملیات مطلوب کشاورزی در مدیریت پایدار خاک

دستیابی به پایداری در کشاورزی به معنای استفاده کارآمد از فناوری‌های موجود است. ولیکن، باید تذکر داد که در کشاورزی پایدار حداکثر سودمندی برای جامعه نیز الزامی است. بنابراین، کشاورزان باید به طور کلی سودمندی خود را از کلیه جوانب (اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و غیره) برای جامعه در کوتاه و دراز مدت در نظر داشته، و در استمرار آن کوشا باشند. آشنایی کشاورزان با *عملیات مطلوب کشاورزی*[1] و اجرای آنها، کمک مؤثری به تولیدکنندگان در نیل به اهداف پایداری و سودمندی برای جامعه می‌نماید. "عملیات مطلوب کشاورزی" مجموعه‌ای از عملیات، شیوه‌ها وکارهایی است که باید در راستای استانداردها و مقررات و قوانین بوده، و برای ارتقاء بهره‌وری، اطمینان‌بخشی، ایمنی، حفاظت زیست محیطی و پیشرفت اقتصادی طراحی شده باشند. برای مثال می‌توان از روش‌های طبیعی کنترل آفات و کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی، مصرف متعادل کود، استفاده از کودهای آلی، کاهش ضایعات و یا کمپوست‌سازی از ضایعات، بهره‌وری از آب، و ایجاد شرایط ایمن برای کارگران نام برد. البته، *عملیات مطلوب کشاورزی* محدود به موارد فوق‌الذکر نبوده، و یک کشاورز و تولیدکننده آگاه و مسئولیت‌پذیر در قبال جامعه، در هر یک از مراحل فرآیند تولید باید از دانش و فناوری‌های موجود بهره‌برداری مطلوب بنماید.

"عملیات مطلوب مدیریتی[2]" مجموعه‌ای از عملیات مختلف زراعی و مدیریت خاک و گیاه است که منجر به بهترین استفاده ممکن از نهاده‌های بکار برده شده برای تولید محصول، و در نتیجه، حداقل اثرات نامطلوب بر محیط زیست گردد (۸۲). این عملیات در همه شرایط یکسان نبوده و بستگی به نوع نظام تولید (برای مثال مرتعداری، زراعت، باغداری)، اقلیم منطقه، نوع خاک، توپوگرافی زمین و عوامل اقتصادی–اجتماعی مانند بازده اقتصادی، نگرش جامعه و سطح تحصیلات دارد. به هر عامل یا ماده‌ای که در یک فرآیند یا یک نظام وارد می‌شود *نهاده* گفته می‌شود (مانند بذر، کمپوست، کودهای معدنی، کودهای سبز، آبیاری و کنترل

[1] Best Agricultural Practices
[2] Best Management Practices (BMP)

علف‌های هرز). منابع مادی، مالی و انسانی ضروری برای تولید ستانده‌های مشخص از یک پروژه را نیز *نهاده* می‌گویند. نهاده‌ای که از خارج وارد نظام اجتماعی می‌شود را *نهاده خارجی* و نهاده‌ای که در شرایط محلی فراهم می‌شود را *نهاده داخلی* می‌نامند. برای مثال، کمپوست حاصل از ضایعات کشاورزی یک مزرعه که در همان مزرعه مصرف می‌گردد، نهاده داخلی و کودهای شیمیایی که برای مصرف در مزرعه خریداری می‌گردد، نهاده خارجی می‌باشند.

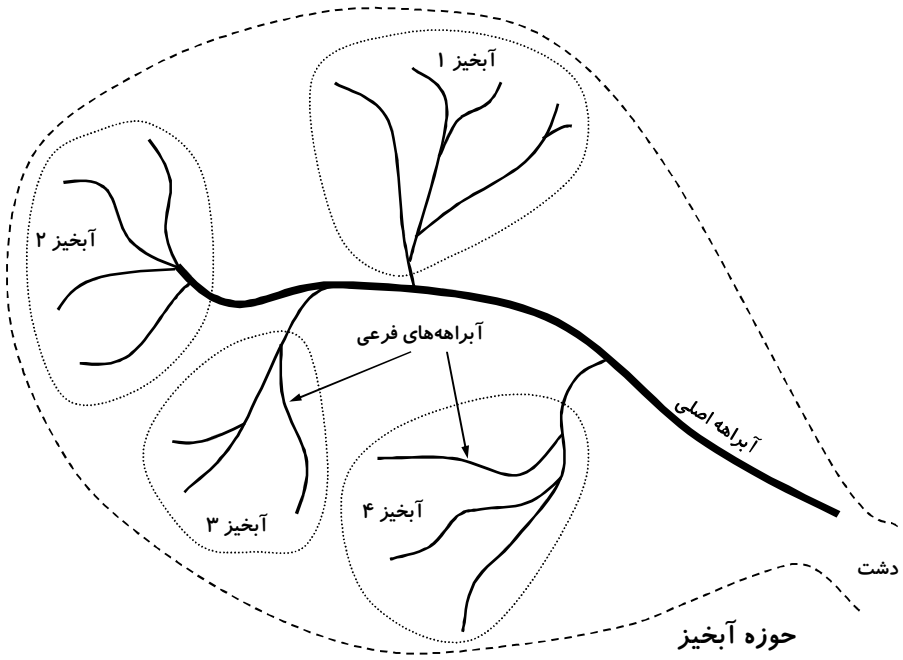
استفاده از فناوری‌های مناسب برای تقویت شرایط تشکیل خاک از مراحل اساسی در مدیریت برای بهبود سلامت و کیفیت خاک می‌باشد. با شناخت و آگاهی از عوامل ناپایداری و تخریب خاک (فصل سوم)، در این فصل به برخی از عملیات مطلوب مدیریتی و کشاورزی در مدیریت پایدار خاک اشاره خواهد شد.

۱- آبخیزداری

حوضه *آبخیز* قسمتی از زمین است که آب بارندگی‌ها در آن قسمت با هم جمع می‌شوند و یک آبراهه را به وجود می‌آورند (۴). بنابراین، یک رودخانه بزرگ در یک حوضه آبخیز بزرگ، از صدها تا هزارها آبراهه و یا چندین حوضه آبخیز کوچک تشکیل شده است (شکل ۵-۱). عوامل مختلفی بر کارکرد و کیفیت یک حوضه آبخیز اثرگذار هستند. این عوامل یا جاندار (مانند حیوانات و پوشش گیاهی)، یا غیرجاندار (مانند اقلیم، خاک و آب) می‌باشند. هر چه تعداد گونه‌های جانوری و گیاهی (تنوع زیستی) در یک حوضه بیشتر باشد، آن حوضه کامل‌تر و از ثبات و پایداری بیشتری برخودار است. لذا، "آبخیزداری" به مجموعه‌ای از کارها و اقداماتی اطلاق می‌گردد که در سطح یک حوضه آبخیز انجام می‌گیرد تا همه عوامل فوق در کنار یکدیگر قرارگرفته و بیشترین فواید زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی از آن به دست آید.

حیات و زندگی جانداران (حیوانات و گیاهان) یک حوضه آبخیز وابسته به وضعیت منابع آب و خاک در آن حوضه است. لذا، در صورت مشاهده تنوع زیستی بیشتر در این اکوسیستم طبیعی، می‌توان تا حدودی از وضعیت و کیفیت و سلامت منابع خاک و آب آن حوضه شناخت پیدا کرد. در طول قرن‌ها عوامل تشکیل‌دهنده یک حوضه آبخیز با یکدیگر به یک تعادل و تعامل اکولوژیکی رسیده‌اند. در صورت مداخله بیش از حد انسان و برهم زدن این تعادل و تعامل

از طریق جنگل‌زدایی، چرای مفرط دام، بوته‌کنی و شخم زدن اراضی مرتعی (تغییر کاربری از مرتع به زراعت)، عوامل تخریبی، به ویژه فرسایش بادی و آبی، تسریع یافته و پایداری اکولوژیکی حوضه را با تهدید جدی روبرو خواهد ساخت. با کاهش وضعیت سلامت و کیفیت حوضه آبخیز، جوامع دور و نزدیک وابسته به این حوضه نیز با مشکلات اقتصادی، اجتماعی و بهداشتی عدیده روبرو خواهند شد. لذا، حفاظت و بهره‌برداری بهینه و پایدار از حوضه‌های آبخیز از اهمیت حیاتی برخودار است.



شکل ۵-۱- نمایی از یک حوضه آبخیز در طبیعت (۴).

تخریب پوشش گیاهی در حوضه آبخیز خطر فرسایش و سیل را به شدت افزایش می‌دهد. برای احیاء، بازسازی و یا حفاظت از حوضه آبخیز عملیاتی انجام می‌گیرد تا از طریق کاهش مقدار و سرعت رواناب، آب فرصت کافی برای نفوذ در زمین را پیدا نماید. به مجموعه این کارها، *عملیات آبخیزداری* می‌گویند (۴). فواید و به عبارت دیگر اهداف عملیات آبخیزداری عبارتند از:

- کاهش فرسایش
- پر آب شدن چشمه‌ها، چاه‌ها و قنات‌ها
- پیشگیری و جلوگیری از جاری شدن سیل
- کمک به جلوگیری از ضرر و زیان‌های مالی و جانی در جوامع انسانی از طریق کاهش اثرات سیل و بلایای طبیعی مشابه (اثر غیرمستقیم)
- افزایش ثبات و پایداری حوضه آبخیز
- حفاظت از منابع خاک
- حفاظت از تنوع زیستی
- حفاظت از کیفیت هوا

آبخیزداری جزو عملیات در سطح مزرعه نیست، و در مقیاس وسیع و حوضه یک منطقه انجام می‌گیرد. ولیکن، اثرات بسیار مثبت آبخیزداری، به ویژه کنترل فرسایش، اثرات بسیار مطلوبی بر اراضی کشاورزی دارد. همچنین برخی از راهکارهای کنترل فرسایش در آبخیزداری، در سطح مزرعه نیز قابل اجرا است. عملیات آبخیزداری به دو نوع *عملیات مکانیکی* و *عملیات بیولوژیکی* تقسیم می‌شود.

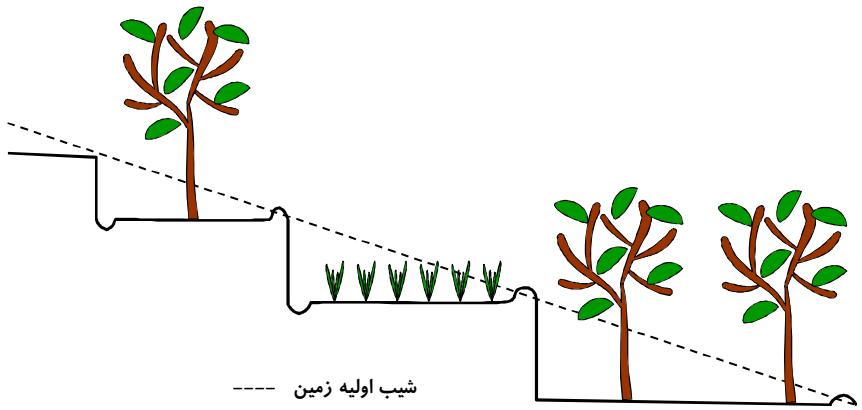
۱-۱- عملیات مکانیکی و مهندسی

عملیات مکانیکی و مهندسی به منظور کاهش فرسایش (از طریق کاهش قدرت تخریب عوامل فرسایش) و افزایش نفوذ آب به داخل خاک در مراتع انجام می‌گیرد. دستیابی به اهداف این عملیات عموماً از طریق کاهش یا شکستن شیب طبیعی زمین صورت می‌گیرد. در مناطقی که این عملیات انجام یافته است، رطوبت خاک تا به عمق یک متری هم رسیده است، در حالیکه در مراتع معمولی (بدون عملیات آبخیز داری) فقط تا ۱۰ سانتی‌متر زیر خاک مرتع رطوبت وجود داشته است (۴). انواع مختلف عملیات مکانیکی به شرح زیر می‌باشند.

۱-۱-۱- **بانکت سازی**: شامل ایجاد بانکت‌ها یا جوی‌هایی عمود بر شیب زمین در دامنهٔ کوه‌ها و با فواصل مشخص و پشت سر هم است. آب بارانی که در بین دو جوی جریان پیدا می‌کند، وارد جوی پایین می‌شود و در همان جوی نگهداری می‌گردد تا کم کم وارد زمین شود. داخل جوی‌ها را نیز می‌توان با گونه‌های

مرتعی مناسب بذرکاری کرد تا کمک مؤثری به احیای مراتع فقیر و مخروبه بشود.

۱-۱-۲- **تراس‌بندی و سکّوسازی**: شامل پله پله کردن زمین‌ها در اراضی شیبدار با فرسایش زیاد می‌باشد. بدین ترتیب، زمین آماده کشت درخت و علوفه خواهد شد (شکل ۵-۲). پله‌های پهن را *تراس* و پله‌های کم عرض را *سکّو* می‌نامند. در مناطق کوهستانی و پر شیب عرض پله‌ها کمتر و ممکن است به ۳ متر برسد، ولی در مناطق کم شیب عرض آنها ممکن است به ۵۰ متر نیز برسد. تراسها یا شیب ندارند و یا دارای شیب بسیارکم (بر خلاف شیب زمین و به طرف کوه) می‌باشند. تراس‌بندی زمان‌بر و هزینه‌بر است، ولی روش بسیار مؤثری در کنترل فرسایش و بازسازی حاصلخیزی خاک است. کارآیی سکّو در کاهش فرسایش خاک بسیار بیشتر از کاهش رواناب می‌باشد (جدول ۱-۱).



شکل ۵-۲- شماتیک کلی سکو و تراس‌بندی (با و بدون جوی) اراضی شیبدار.

جدول ۵-۱- رواناب و تلفات خاک در آبخیزهای با و بدون سکّوبندی (۲۵).

مدیریت آبخیز	رواناب (میلی‌متر)	فرسایش خاک (تن در هکتار)
سکّوبندی	۱۸/۱	۰/۷
بدون سکّوبندی	۱۸/۸	۲/۳

۱-۱-۳- **سدهای توری سنگی یا گابیونی**: این سدهای کوچک سنگی، دیواره‌هایی هستند که در کف آبراهه و در مقابل جریان آب ساخته می‌شوند تا گل و لای در پشت این سدها ته‌نشین گردد. به تدریج کف آبراهه بالا آمده و سرعت آب در داخل آبراهه کاهش می‌یابد. بدین ترتیب، سیلاب زمین‌های کنار آبراهه‌ها را فرسوده نکرده، آب در پایین سد زلال‌تر شده و به محصولات کشاورزی آسیب نمی‌رساند.

۱-۱-۴- **سدهای خشکه چین**: این سدها در داخل آبراهه‌های کوچک و داخل شیارهای کنار مزرعه، و در کف خندق‌ها ساخته می‌شود. برای ساخت این نوع سدها از هیچ گونه ملات یا تور سیمی استفاده نشده و تنها با روی هم قرار دادن سنگ‌ها، سد ساخته می‌شود. لذا، به آنها *سدهای خشکه چین* می‌گویند.

۱-۱-۵- **بندهای چپری و چوبی**: برای جلوگیری از افزایش فرسایش شیاری و خندقی در آبراهه‌ها، از این نوع بندها می‌توان استفاده کرد. بلندی آنها بیش از ۱ متر نیست. همچنین، طول آن نیز نباید بیش از ۴ متر باشد، زیرا باعث کاهش مقاومت آن در برابر جریان آب خواهد شد.

۱-۱-۶- **سدهای سنگ چین ملات‌دار**: این سدها با استفاده از سنگ و ملات سیمان، بر روی آبراهه‌هایی ساخته می‌شوند که جریان آب در آنها زیاد باشد.

۱-۲- عملیات بیولوژیکی

مراتع یک حوضه آبخیز، با ایجاد فرصت چرا و تهیه علوفه دام، فعالیت‌های اقتصادی دامپروری و دامداری را در سطح حوضه امکان‌پذیر می‌سازد. از این رو، مراتع به عنوان منبع ثروت یک حوضه آبخیز محسوب می‌شوند (۴). در صورت استفاده درست از مراتع، قدرت تولید آنها کاهش نیافته و تخریب نمی‌شوند. مثال بارز این امر تعادل و تعامل بین جوامع دامدار عشایری و مراتع است، که در طول قرنهای گذشته ادامه داشته است. ولیکن، با تغییر در سنن و آداب جامعه در کل، و رواج فناوری‌های نوین (مانند جاده‌سازی، توسعه مکانیزاسیون و استفاده از وسایل نقلیه موتوری)، این تعادل و تعامل در دهه‌های اخیر خدشه‌دار گردیده است. برای مثال، استفاده از وسایل نقلیه موتوری باعث افزایش سرعت کوچ عشایر و در نتیجه، کاهش فرصت بازسازی و رشد مجدد گیاهان مرتعی گردیده است. در نتیجه، سرعت تخریب و تنک شدن مراتع رو به

افزایش نهاده که این خود تأثیرات اقتصادی و اجتماعی نامطلوبی را بر جوامع عشایری کشور گذاشته است

مراتع مخروبه و تنک شده، تنها مقدار کمی از آب باران را در خود ذخیره می‌سازند. لذا، درصد بیشتری از آب باران جریان یافته (افزایش رواناب) و خاک بسیار حاصلخیز مراتع فرسایش می‌یابند. بدین ترتیب، مراتع به تدریج فرسوده و ضعیف‌تر شده و به تدریج تبدیل به بیابان می‌گردند، که در این صورت کلاً از حیض انتفاع خارج می‌گردند. بنابراین، هدف اصلی از عملیات بیولوژیکی کنترل فرسایش خاک و افزایش نفوذ آب به خاک از طریق احیا و بازسازی مراتع مخروبه و حفاظت از مراتع است. *عملیات بیولوژیکی* شامل کلیه عملیاتی است که در آن شیب اولیه و طبیعی زمین دست نمی‌خورد و کنترل فرسایش عمدتاً از طریق افزایش پوشش گیاهی صورت می‌گیرد. انواع مختلف عملیات بیولوژیکی به شرح زیر می‌باشند.

۱-۲-۱- بذرکاری از طریق کپه‌کاری: بذرکاری از جمله راهکارهای احیای مراتع فقیر است. در مراتعی که پوشش گیاهی به صورت لکه لکه از بین رفته باشد، بذرکاری به صورت کپه‌کاری انجام می‌گیرد. در کپه‌کاری، ابتدا خاک‌های نواحی بدون بوته را با بیل زیر و رو و نرم کرده، و سپس بذر گیاهان مرتعی را در آنجا می‌کارند. این روش در مناطقی مناسب است که خاک مرتع رطوبت کافی داشته باشد. لذا، بهتر است که محل‌های کپه‌کاری کمی گودتر از زمین‌های اطراف خود باشد تا آب باران در آنجا جمع گردد. همچنین، در مراتع مخروبه، فاصله گودال‌های کپه‌کاری نباید از ۵۰ سانتی‌متر بیشتر باشد (۴).

۱-۲-۲- بذر کاری از راه کشت مستقیم: در مراتع کوهستانی و پر شیب که بیشتر بوته‌های آن از بین رفته باشند و مرتع خالی از بوته‌های دائمی باشد، از روش بذرکاری با کشت مستقیم استفاده می‌شود. برای این کار، ابتدا مرتع در عرض عمود بر شیب زمین شخم خورده، و سپس بذر گیاهان مرتعی را در داخل نوارهایی که فاصله آنها با یکدیگر ۲ متر است، می‌کارند (۴). در مراتع کم شیب (شیب کمتر از ۱۵-۱۰ درصد) کل مرتع را شخم می‌زنند و سپس بذرکاری با دست یا ماشین بذرکار انجام می‌گیرد. یادآوری می‌شود که این روش فقط در اراضی رها شده، مراتع مخروبه و زمین‌های کم بازده انجام می‌شود.

۱-۲-۳- **بوته‌کاری**: در اراضی لخت و با خاک نامناسب و مراتع تنک و مخروبه که بذرکاری در آنجا امکان‌پذیر نیست، از روش بوته‌کاری استفاده می‌شود. در این روش بذر در مکانی مناسب و در گلدان‌های پلاستیکی کاشته و نگهداری می‌شود تا بوته یا نهال تولید شود. سپس با آماده‌سازی مناسب محل کشت بوته‌ها به مرتع منتقل و در چاله‌هایی که از قبل کنده شده، کاشته می‌شوند. یک یا دو نوبت آبیاری در سال اول کاشت، درصد استقرار بوته‌ها را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد، که این خود تأثیر قابل توجهی بر سرعت احیای مرتع مخروبه و بازسازی آن دارد.

به طور کلی، بذرکاری ارزان‌ترین روش کاشت گیاهان مرتعی است. ولیکن، از آنجا که درصد جوانه‌زنی بذر بسیاری از آنها پایین می‌باشد، کارآیی بذرکاری برای استقرار گیاه در عرصه‌های طبیعی کمتر از بوته‌کاری یا نهال‌کاری است. بذر گیاهان مرتعی از عرصه‌هایی که این گیاهان به طور طبیعی در آنها رشد می‌کنند، جمع‌آوری می‌شود. باید دقت کرد زمانی برای جمع‌آوری بذر انتخاب شود که حداکثر قوه نامیه برای آنها حاصل گردد. به طور کلی، وقتی که بیشتر بذرهای یک نوع بوته خشک و زرد شده باشد، زمان جمع‌آوری بذر آن گیاه است.

۲- حفاظت خاک و مدیریت فرسایش

حفاظت خاک در مقابل فرسایش اولین گام به سوی کشاورزی پایدار است. رواناب گل‌آلود و آبکندها (گالی‌ها) علائم این هستند که فرسایش در حال انجام شدن است، و برای اقدامات پیشگیرانه دیگر دیر شده است. لذا، در اولین فرصت، اقدامات لازم برای توقف و کاهش سرعت فرسایش و ترمیم آبکندها باید انجام‌گیرد.

۲-۱- فرسایش آبی

فرسایش آبی عموماً در مناطق پرباران مشاهده می‌شود، اما در مناطق خشک و نیمه خشک نیز در اثر باران‌های رگباری نیز ایجاد می‌شود. عامل اصلی فرسایش آبی باران است و خصوصیاتی از باران مانند شدت، مدت و دوره بارش همراه با خصوصیات و نحوه مدیریت خاک نیز در آن مؤثر می‌باشند. سه استراتژی کلی جهت جلوگیری از فرسایش آبی وجود دارد:

۱- کاهش قدرت فرسایش قطرات باران توسط نگهداری پوشش بر سطح خاک (گیاه یا مالچ)

۲- بهبود نفوذپذیری آب حاصل از بارندگی به خاک

۳- کاهش سرعت جریان آب در شیب‌ها توسط ایجاد برخی سازه‌ها و تأسیسات

در مناطقی که خطر فرسایش زیاد است، باید این سه استراتژی را با یکدیگر ترکیب کرد. چگونگی کاربرد این استراتژی‌ها در حفاظت از خاک سطحی در مقابل فرسایش را در جنگل‌های انبوه می‌توان مشاهده کرد (مانند جنگل‌های انبوه شمال).

۱- شاخ و برگ درختان سرعت قطرات باران را کاهش داده، و در نتیجه اثرات کوبنده آنها را کاهش می‌دهند.

۲- سطح زمین جنگل از شاخ و برگها و گیاهان خزه‌ای پوشش داده شده است (مانند مالچ) و بدین ترتیب اثرات کوبنده قطرات باران را بیشتر کاهش داده و خنثی می‌کنند.

۳- موجودات خاکزی بسیاری، از قبیل انواع کرم‌های خاکی، با حفر تونل‌ها در خاک، آن را نرم کرده، و ساختمان خاک را بهبود داده و ساختمان‌هایی مقاوم ایجاد می‌کنند. در نتیجه، آب باران به راحتی در آن نفوذ کرده و کمتر جریان می‌یابد.

در سطح مزارع و باغات نیز، بر جای گذاشتن بقایای گیاهی و یا کاشت گیاهان پوششی و علوفه‌ای در بین درختان، تا حد زیادی اثرات فرسایش را کاهش می‌دهد (جدول ۵-۲).

جدول ۵-۲- اثر پوشش محصولات زراعی مختلف بر رواناب و فرسایش خاک در زمینی با شیب ۳ درصد در حیدر آباد هند (۳۵).

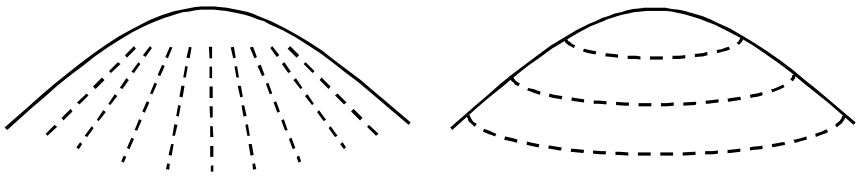
محصول	رواناب (درصد از بارندگی)	فرسایش خاک (تن در هکتار در سال)
سورگوم	۱۲/۰	۳
ارزن مرواریدی	۱۰/۸	۲
کرچک	۱۵/۷	۴
آیش با بقایا	۱۶/۶	۵
علف	۹/۵	۰/۶

اراضی شیبدار در مقابل فرسایش بسیار آسیب‌پذیر هستند. در نتیجه، با ایجاد برخی تأسیسات و سازه‌ها و اتخاذ برخی تدابیر، می‌توان سرعت آب را کاهش داد. بدین ترتیب، اثرات تخریبی فرسایش بسیار کاهش پیدا خواهد کرد. انواع مختلف اینگونه سازه‌ها در بخش ۱-۱ معرفی گردید. علاوه بر مواردی که در بخش ۱-۱ به آن اشاره شد، اقدامات زیر نیز جهت کنترل فرسایش آبی در اراضی کشاورزی توصیه می‌گردد.

- **حصارهای زنده یا حصارهای گیاهی**: اگر تأسیسات ساخته شده همراه با گیاه باشند، کارآیی آنها برای کنترل فرسایش به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. ریشه گیاهان استحکام جداره‌های دیوارها، گودال‌ها و پشته‌ها را تقویت کرده و از تخریب آنها در اثر باران‌های شدید می‌کاهد. اگر در این تأسیسات گیاهی کشت شود که استفاده مفید (مانند علوفه یا غذا) از آن بتوان کرد، علاوه بر کنترل فرسایش، صرفه اقتصادی هم خواهند داشت. همچنین، اگر این گیاهان به طور متراکم در خطوط تراز کاشته شوند، خود آنها به عنوان یک حصار زنده برای کنترل فرسایش عمل می‌کنند و شاید دیگر نیازی به ساخت تأسیسات دیگر نباشد.
- **سیستم‌های کاشت**: سیستم‌های مطلوب کاشت در کاهش اثرات تخریبی فرسایش بسیار اثرگذار هستند. لذا، سیستم‌های کاشت باید طوری طراحی شوند که تقریباً در تمام اوقات خاک توسط تاجپوش[1] (کانوپی) گیاه

[1] Canopy

پوشانده شده باشد. به همین دلیل، آیش زمین توصیه نمی‌شود، زیرا باعث افزایش فرسایش و بعضاً شوری خاک می‌شود. کاشت به موقع، فرسایش خاک بدون پوشش را در فصل بارندگی کاهش می‌دهد. در اراضی شیبدار، گیاه را باید در خطوط تراز شیب و نه به طور عمودی کشت نمود (شکل ۵-۳). این عمل به مقدار بسیار قابل توجهی فرسایش را کاهش می‌دهد. در کاشت گندم و جو در تپه‌ها و اراضی شیبدار، اگر زمین عمود بر شیب زمین شخم بخورد (شکل ۵-۳)، خود آن یک نوع تأسیسات (مانند بند و پشته) خواهد بود. همچنین، کاشت ردیفی محصول در خطوط تراز به عنوان حصار زنده عمل خواهد کرد. این عمل باعث افزایش ذخیره آب در خاک، افزایش مواد آلی خاک و از همه مهمتر، حفظ خاک سطحی (کاهش فرسایش) می‌گردد. کشت توأم نیز در مواقعی که تاجپوش محصول اصلی مدتی طول می‌کشد تا ایجاد شود، توصیه می‌گردد. در بخش ۸ بیشتر به این موضوع پرداخته خواهد شد.



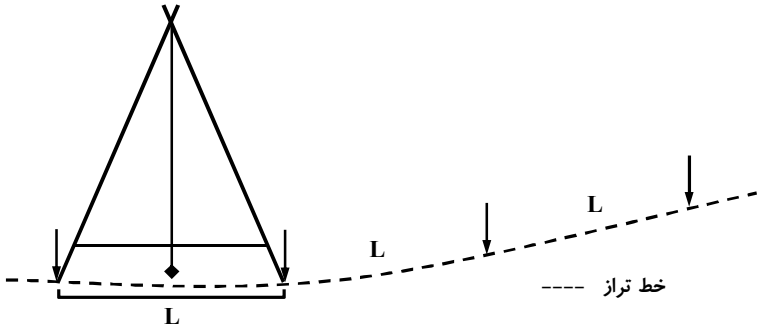
درست: خطوط شخم عمود بر شیب زمین **نادرست:** خطوط شخم موازی با شیب زمین

شکل ۵-۳- جهت عملیات خاک‌ورزی و کاشت در اراضی شیبدار.

نگهداری تأسیسات در کارآیی آنها بسیار مهم می‌باشد. برخی از عملیات مهم نگهداری عبارتند از:

- تعمیر پشته ها، بندها و دیوارها در صورت آسیب
- لایروبی و تمیز کردن گودال‌ها، به ویژه پس از بارندگی‌های شدید: خاک رسوب شده در گودال‌ها و دیواره‌ها حاصلخیزی خوبی دارد و بهتر است به زمین برگردانده شود.
- نهال‌های گیاهان یا درختان تازه کاشت در ابتدا باید آبیاری و مراقبت شوند.

برای بررسی کارآیی و تأثیر این سازه‌ها و اقدامات، یکی از آسان‌ترین و ارزان‌ترین کارها، بررسی کردن رنگ آب در نهرهای اطراف محل مورد نظر پس از بارندگی است. یادآوری می‌گردد که برای آنکه این سازه‌ها کارآیی لازم را داشته باشند، باید برروی خطوط تراز ساخته شوند، که عمود بر شیب زمین است. در شکل ۵-۴ دستگاه ساده، ولی کارآمد شاغول برای تعیین خطوط تراز نشان داده شده است.



شکل ۵-۴- شماتیک یک دستگاه شاغول برای تعیین خطوط تراز در اراضی شیبدار.

۲-۲- فرسایش بادی

فرسایش بادی بیشتر در مناطق خشک و نیمه خشک که منطقه فاقد پوشش گیاهی و بادخیز است، صورت می‌گیرد. همانند فرسایش آبی، فرسایش بادی نیز در سه مرحله انجام می‌شود:

۱- جدا شدن ذرات خاک توسط نیروی باد: عوامل مؤثر در قدرت فرسایندگی باد شامل خصوصیات باد (سرعت، جهت، دوره و انرژی جنبشی باد)، خصوصیات زمین (مانند زبری و ناهمواری‌های سطح زمین) و خصوصیات خاک سطحی (مانند بافت، ساختمان و میزان رطوبت) می‌باشد.

۲- حمل و انتقال ذرات جدا شده توسط باد: که به سه صورت معلق، خزیدن و جهشی انجام می‌گیرد.

۳- نشست ذرات جدا شده در اثر نیروی وزن خود (نیروی ثقلی): به طور کلی ذرات ریزتر (مانند ذرات نمک و رس) در فواصل دورتری نسبت به ذرات سنگین‌تر (مانند شن) رسوب می‌کنند.

با توجه به مراحل مختلف فرسایش بادی، استراتژی کلی در رابطه با کنترل فرسایش بادی در مزارع و باغات کاهش قدرت فرسایندگی باد از طریق کاهش سرعت باد، ایجاد موانع در مسیر باد و بهبود ساختمان خاک می‌باشد. برخی از راهکارهای کنترل فرسایش بادی خاک عبارتند از:

- **حفظ رطوبت خاک**: از طریق افزایش نفوذپذیری، کاهش تبخیر، مالچ‌پاشی و جلوگیری از رشد علف‌های هرز
- **حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک**: که باعث کاهش سرعت باد و حفظ رطوبت خاک از طریق کاهش تبخیر می‌گردد.
- **خاک‌ورزی مناسب**: عدم تخریب ساختمان خاک و باقی گذاشتن بقایای گیاهی بر سطح خاک
- **پوشش گیاهی مناسب**: که بهترین، ارزانترین و مؤثرترین روش برای پیشگیری و جلوگیری از فرسایش بادی می‌باشد. ارتفاع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی و نوع گیاه مهمترین خصوصیات گیاهی هستند که بر فرسایش بادی اثرگذار می‌باشند. هر چه تراکم پوشش گیاهی بیشتر باشد، برخورد باد با خاک سطحی کمتر خواهد بود. همچنین، درختان چند ساله بیشتر از گیاهان یکساله در کنترل فرسایش بادی مؤثر هستند.
- **ایجاد موانع در مسیر باد**: این موانع به منظور کاهش سرعت باد ایجاد می‌شوند. به هر نوع وسیله یا سازه‌ای که بتواند سرعت باد را کاهش دهد و از قدرت فرسایندگی آن بکاهد، *بادشکن* می‌گویند. بادشکن‌ها را باید حتماً عمود بر جهت حرکت باد احداث نمود. بادشکن‌ها را می‌توان به صورت سازه‌هایی از مواد غیرزنده مانند سنگ، فلز، چوب یا حصیر، یا به صورت زنده و طبیعی از درختان و درختچه‌ها ساخت. تاغ و گز از رایج‌ترین درختانی هستند که در مناطق بیابانی و کویری از آنها برای ایجاد بادشکن استفاده می‌شود. همچنین، ارتفاع بادشکن، طول و عرض بادشکن، تراکم و فاصله بادشکن نیز بر کارآیی آن اثرگذار هستند. یک بادشکن در حدود ۸ برابر ارتفاع خود در جلو و ۳۰ برابر ارتفاع در پشت مسیر باد، سرعت باد را می‌تواند کاهش دهد.

۲-۳- گیاهان پوششی[1]

هر گیاهی که سطح خاک را بپوشاند و فرسایش را کاهش و حاصلخیزی آن را بهبود دهد، می‌تواند *گیاه پوششی* باشد. این گیاه می‌تواند یک گیاه لگومینه (مانند لوبیا) یا یک گیاه سریع‌الرشد با قابلیت تولید بیوماس زیاد باشد. ویژگی‌های یک گیاه پوششی ایده‌آل عبارتند از:

- ارزانی و فراوانی بذر
- سادگی برداشت، انبارداری و تکثیر
- رشد سریع تا خاک را در مدت کوتاهی بپوشاند
- مقاوم در مقابل امراض و آفات
- مقدار زیادی ماده آلی و ماده خشک تولید کند
- تثبت‌کننده نیتروژن هوا باشد
- دارای سیستم ریشه‌ای قوی برای کاهش تراکم خاک و احیای خاک‌های تخریب شده
- کاشت و داشت آسان به عنوان تک محصول یا با محصولات دیگر: برای مثال، متحمل به سایه برای کشت مخلوط و یا کشت توأم
- استفاده مفید داشته باشد: علوفه، غلات، بقولات و غیره

علاوه بر موارد فوق، در رابطه با شرایط اقلیمی خشک مانند ایران، ویژگی‌های تحمل به خشکی و شوری نیز بسیار مطلوب می‌باشند.

۲-۴- مالچ[2] یا خاکپوش

مالچ یا *خاکپوش* پوشش غیرزنده یا یک لایه حفاظتی از مواد است که در سطح خاک پخش یا گذاشته می‌شود. مالچ می‌تواند به شکل آلی یا غیرآلی، ورقه‌ای یا غیرورقه‌ای (مانند گرانوله و...) باشد. فواید مالچ بستگی به نوع آنها دارد، ولیکن، به طور کلی این فواید عبارتند از:

- حفاظت از خاک در مقابل فرسایش‌های آبی و بادی
- جلوگیری از تشکیل سله در سطح خاک، و در نتیجه، بهبود نفوذ آب و باران به خاک

[1] Cover crops
[2] Mulch

- کاهش تبخیر: خاک برای مدت زمان طولانی‌تری مرطوب مانده و نیاز به آبیاری کاهش می‌یابد.
- تغذیه و حفاظت از جانداران خاکزی
- کاهش رشد علفهای هرز
- تعدیل درجه حرات خاک و جلوگیری از گرم شدن زیاد خاک
- رهاسازی عناصر غذایی برای محصول: به ویژه پس از تجزیه مالچ‌های آلی یا ارگانیک
- افزایش میزان ماده آلی خاک

نوع و جنس مالچ تعیین‌کننده کارآیی و طول عمر آن است. انواع مختلف مالچ عبارتند از:

- **مواد طبیعی**: مانند سنگ، شن، سنگریزه، پوکه معدنی و...، که عمدتاً دارای عمر طولانی هستند.
- **مواد آلی**: مالچ‌های از جنس مواد آلی (مانند کاه و کلش، بقایای گیاهی و کاغذهای باطله) زود تجزیه می‌شوند، و اگر دارای کربن زیاد باشند، نیتروژن خاک را کاهش می‌دهند. لذا، با توجه به نسبت C:N آنها، ممکن است مصرف کود نیتروژنه لازم باشد.
- **مواد شیمیایی**: مالچ‌های شیمیایی یا غیرآلی شامل موادی از قبیل پشم شیشه، صفحات فلزی، لایه‌های نازک پلاستیک، پلی‌اتیلن و سلوفان می‌باشند. این مالچ‌ها دوام طولانی‌تری نسبت به مالچ‌های آلی دارند، ولی در صورت از بین رفتن، تأثیری بر تقویت و غنی‌سازی خاک ندارند. انواع لایه‌های پلی‌اتیلن رایج‌ترین مالچ پلاستیکی هستند. نایلون‌های شفاف اجازه می‌دهند تا خاک گرمتر گردد، ولی کارآیی مناسبی در کنترل علف‌های هرز ندارند. نایلون‌های سیاه به طور مؤثری علف‌های هرز را کنترل می‌نمایند، ولی کارآیی مناسبی در گرم کردن خاک نسبت به نایلون‌های شفاف ندارند. دوام مالچ‌های پلاستیکی بستگی به ضخامت آنها دارد.
- **مکانیکی**: قطع لوله‌های مویینه خاک توسط عملیات مکانیکی (مانند خاک‌ورزی سطحی)، که باعث کاهش تبخیر آب از خاک می‌گردد.

ارزانی، فراوانی، کارآیی و عدم تداخل با عملیات زراعی مهمترین معیارها برای انتخاب مالچ می‌باشند. همچنین، مالچ مورد استفاده باید عناصر غذایی خاک را کاهش نداده و سبب از بین رفتن جانداران خاکزی نگردد. مقاومت در برابر باد و باران از دیگر خواص مطلوب مالچ می‌باشد.

۲- ماده آلی خاک[1]

مدیریت دقیق و مناسب فرسایش و ماده آلی خاک در ثبات و پایداری کلیه نظام‌های تولید کشاورزی بنیادین و اساسی می‌باشد. خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، که بیش از ۸۵ درصد اراضی کشور راتشکیل می‌دهند، از نظر مواد آلی فقیر می‌باشند، و در اغلب موارد مقدار ماده آلی آنها بسیار کمتر از ۱ درصد است. "ماده آلی خاک" مجموعه‌ای گسترده از ترکیبات ناهمگن با منشأ گیاهی و حیوانی است که به واسطه واکنش فرآیندهای تجزیه، اختلاط و پولیمریزه شدن به وجود آمده‌اند (۱). میزان ماده آلی خاک از مهمترین عوامل حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی می‌باشد. فواید ماده آلی عبارت است از:

- ایجاد ساختمان مناسب با تخلخل فراوان
- ماده آلی ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش می‌دهد، زیرا بخش قابل رؤیت آن مانند اسفنج عمل کرده و می‌تواند تا ۵ برابر وزن خود، آب در خود نگه دارد. در نتیجه، در شرایط خشکی آب بیشتری برای مدت زمان طولانی‌تر در اختیار گیاه قرار خواهد گرفت.
- ماده آلی باعث بهبود ساختمان خاک به ویژه در خاک‌های رسی و شنی می‌شود، زیرا بخش غیرقابل رؤیت آن مانند ملات و چسبی برای هم‌آوری ذرات خاک به یکدیگر عمل می‌کند.
- منبع تغذیه برای ریزجانداران و جانداران خاکزی
- افزایش ظرفیت نگهداری و رهاسازی عناصر غذایی و کاهش آبشویی عناصر غذایی

ماده آلی خاک حاوی موجودات مرده، بقایای گیاهی و مواد آلی دیگر می‌باشد که در مراحل مختلف تجزیه قرار دارند. هوموس[2] ماده آلی قهوه‌ای تیره یا سیاه

[1] Soil Organic Matter (SOM)
[2] Humus

رنگی است که در مراحل نهایی تجزیه بوده و نسبتاً باثبات است. هم ماده آلی و هم هوموس به عنوان مخزن عناصر غذایی برای گیاه عمل کرده و به تشکیل و ثبات ساختمان خاک کمک می‌نمایند، که این به نوبه خود نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهد (جدول ۵-۳).

جدول ۵-۳- اثر کود دامی (ماده آلی) بر مقدار ورود آب به خاک پس از یک ساعت (۸۰).

مقدار کود دامی (تن در هکتار)	آب ورودی به خاک (سانتی‌متر)
۰	۳/۰
۱۸	۴/۸
۳۶	۶/۹

مواد آلی ذخایر مهمی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشند. به عنوان مثال، یک خاک با ۲٪ ماده آلی در ۲۰ سانتی‌متر خاک سطحی، دارای بیش از ۵۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار ماده آلی است. این مقدار ماده آلی حدوداً دارای ۵/۲۵ درصد نیتروژن است (۸۰). بنابراین، بیش از ۲۶۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در این خاک موجود است. با احتساب اینکه ۵٪ از آن در طول فصل زراعی رها و آزادسازی گردد، مواد آلی این خاک در حدود ۱۳۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را برای گیاه فراهم می‌سازند. بدیهی است که در صورت کاهش و نقصان ماده آلی در خاک و در نتیجه اتلاف نیتروژن، خریداری و استفاده از کودهای شیمیایی برای رشد مطلوب گیاه لازم می‌گردد.

بزرگترین منبع مواد آلی خاک به طور عمده بقایای گیاهی است. راهکارهای افزایش میزان ماده آلی در خاک عبارتند از:

- برجای گذاشتن بقایای محصولات زراعی در مزرعه: بقایای محصولات زراعی بزرگترین منبع زیست توده (بیوماس) برای ماده آلی هستند.
- استفاده از کمپوست
- استفاده از کودهای دامی
- استفاده از مواد گیاهی یا ضایعات کشاورزی به عنوان مالچ

- استفاده از کودهای سبز و یا پوشش‌های گیاهی
- تناوب زراعی مناسب
- کاهش عملیات خاک‌ورزی: کاهش هوازدگی و تجزیه مواد آلی
- پیشگیری از فرسایش خاک سطحی

رطوبت و دما نیز اثرات چشمگیری بر میزان ماده آلی خاک دارند. بارندگی و دمای بالا رشد گیاه را تسریع می‌نمایند، ولی این شرایط تجزیه و اتلاف مواد آلی را نیز سرعت می‌بخشد. بارندگی و دمای پائین هم سرعت رشد گیاهان و هم تجزیه مواد آلی را کاهش می‌دهند.

۲-۱- خاک‌ورزی و ماده آلی

بسته به نوع و زمان خاک‌ورزی، عملیات خاک‌ورزی می‌توانند برای خاک‌های فعال از حیث بیولوژیکی، مفید یا مضر باشند. خاک‌ورزی هم فرسایش و هم سرعت تجزیه مواد آلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خاک‌ورزی با گاو آهن و دیسک خاکدانه‌ها را تخریب کرده و خاک را در معرض فرسایش آبی و بادی قرار خواهد داد. گاو آهن می‌تواند بقایای گیاهی و خاک سطحی را تا عمق ۳۶ سانتی‌متری دفن نماید (۸۰). در این عمق میزان اکسیژن خاک به حدی پائین است که فرآیند تجزیه به خوبی انجام نمی‌گردد. تجزیه‌کنندگان سطحی‌زی نیز در این عمق در اثر کمبود اکسیژن نابود می‌شوند. بقایای گیاهی در این عمق به جای تجزیه، فاسد و گندیده می‌شوند، که عوامل اصلی آن کمبود اکسیژن و مرگ جاندارن تجزیه‌کننده است. از طرف دیگر، سطح خاک با خاک زیرین، که حاوی مقادیر ناچیزی از ماده آلی و فعالیت‌های بیولوژیکی است، پوشیده می‌شود، که توانایی چندانی برای ایجاد شرایط مناسب رشد گیاه ندارد. شخم کم‌عمق بقایا را با خاک سطحی مخلوط و در نتیجه، فرآیند تجزیه مواد آلی را از طریق افزایش اکسیژن مورد نیاز جانداران خاکزی بهبود می‌بخشد. در اقلیم‌های سرد، خاک‌ورزی کم‌عمق مزرعه با مقادیر زیاد بقایای گیاهی می‌تواند مفید واقع گردد. در اقلیم‌های گرم، به علت سرعت تجزیه زیاد مواد آلی، حتی شخم کم‌عمق نیز باعث اتلاف آنها می‌گردد.

۲-۲- اثر نیتروژن بر ماده آلی خاک

مصرف بیش از حد نیتروژن فعالیت میکروبی را افزایش می‌دهد که این به نوبه خود تجزیه مواد آلی را تسریع می‌نماید. مسئله مهم در این رابطه نسبت C:N (کربن به نیتروژن) در خاک است. نیتروژن زیاد باعث کاهش نسبت C:N در خاک می‌شود. C:N خاک‌های طبیعی یا کشت نشده معمولاً در حدود ۱۲:۱ است (نسبت ۱۲ به ۱ کربن به نیتروژن). در این نسبت، جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کننده در سطح ثابتی حفظ و نگهداری می‌شود، زیرا رشد بیشتر جمعیت آنها به دلیل کمبود نیتروژن محدود می‌باشد. وقتی مقادیر زیادی از نیتروژن معدنی به خاک اضافه گردد، نسبت C:N کاهش یافته، و به دلیل فراوانی نیتروژن و تجزیه مقادیر بیشتری از مواد آلی، باعث افزایش بسیار زیاد جمعیت جانداران تجزیه‌کننده می‌گردد. بنابراین، نیتروژن اضافی باعث تجزیه سریعتر مواد آلی موجود در خاک و اتلاف آنها می‌گردد. به تدریج، با تجزیه مواد آلی (کربن)، باکتری‌ها با کمبود کربن و غذا مواجه می‌گردند، و لذا، جمعیت آنها به شدت کاهش یافته و مقادیر کمتری از نیتروژن آزاد خاک جذب خواهد شد. در این حالت، نیتروژن افزوده شده، به جای آنکه توسط ریزجانداران بازچرخانی و به تدریج برای گیاهان دوباره رهاسازی شوند، آبشویی و از دسترس خارج می‌شوند. این امر به شدت کارآیی مصرف کود را کاهش داده و باعث آلودگی‌های زیست محیطی نیز می‌گردد. برای کاهش سرعت بالای تجزیه مواد آلی خاک، باید کربن را نیز به همراه نیتروژن، به خاک اضافه کرد. کودهای سبز، کودهای دامی و کمپوست از منابع رایج کربن بوده و به خوبی به اهداف فوق کمک می‌نمایند.

موادی که دارای نسبت بالای کربن به نیتروژن هستند (بیش از ۲۵:۱) نیز باعث به هم خوردن تعادل در خاک می‌شوند. بدین ترتیب که این مواد باعث بسته یا حبس شدن نیتروژن شده و آن را به شکل غیرقابل مصرف برای گیاهان در می‌آورد. زیرا، ریزجانداران برای آنکه کربن فراوان موجود را تجزیه کنند (به عبارت دیگر از آن تغذیه کنند)، مجبور می‌شوند که تمام نیتروژن موجود را مصرف و در خود ذخیره‌سازی نمایند. به همین دلیل است که نیتروژن دیگر برای گیاه قابل دسترس و فراهم نمی‌باشد، زیرا نیتروژن در بدن ریزجانداران ذخیره شده است. به محض آنکه این ریزجانداران خاکزی می‌میرند، نیتروژن آنها توسط جانداران خاکزی دیگر مصرف می‌گردد. این روند ادامه خواهد داشت تا وقتی که تعادل و

نسبت مناسب بین کربن و نیتروژن حاصل گردد. تنها در این هنگام است که نیتروژن به تدریج در دسترس گیاه قرار خواهد گرفت. به همین دلیل است که توصیه می‌شود که به همراه موادی مانند کاه، کاغذ و خاک اره که دارای C:N بالایی هستند، به مقدار مناسب نیتروژن از منابع مختلف اضافه گردد تا C:N مناسب ایجاد شود.

۳- حفاظت از تنوع زیستی خاک[1]

تنوع زیستی در مناطق کشاورزی و روستایی اثرات اساسی و مثبت بر فعالیت‌های انسانی دارد. فعالیت‌های کشاورزی تأثیر به سزایی بر تنوع زیستی داشته و متقابلاً این تنوع تأثیرات مفیدی را بر بخش کشاورزی دارد. لذا، جهت دستیابی به کشاورزی پایدار، حفاظت از تنوع زیستی در این مناطق ضروری بوده و نیازمند راهکارها و رویکردهای عملی است.

به عنوان یک قاعده کلی، اکوسیستم‌های متنوع در طبیعت نسبت به آنهایی که دارای تعداد اندکی از گونه‌ها هستند، از ثبات بیشتری برخوردار می‌باشند. این قاعده در زیست‌بوم‌های کشاورزی نیز صحیح می‌باشد. کشاورزانی که گونه‌های گیاهی متنوعی را کشت می‌کنند، نسبت به کشاورزان تک محصولی یا تک کشتی، امکانات بیشتری را برای بهره‌برداری از فواید جانداران مفیدی که در گرده افشانی و کنترل آفات نقش مهمی ایفا می‌نمایند، فراهم می‌سازند. همچنین، تنوع در سطح زمین، تنوع در درون خاک را نیز به دنبال دارد، که این به نوبه خود بازچرخانی بهتر عناصر غذایی، کنترل امراض، تثبیت نیتروژن و ورز[2] بهتر خاک را به دنبال خواهد داشت.

خاک (به ویژه خاک سطحی) متنوع‌ترین قسمت کره زمین از حیث بیولوژیکی است (۸۰). این یکی دیگر از دلایلی است که خاک سطحی از ارزشمندترین سرمایه هر کشاورز محسوب می‌شود. "تنوع زیستی خاک" مجموعه‌ای از میکروارگانیسم‌هایی است که درخاک زندگی می‌کنند. این جانداران با یکدیگر، با گیاه و با حیوانات کوچک فعل و انفعالات داخلی داشته و بر یکدیگر اثرات متقابل می‌گذارند، و در نهایت شبکه‌ای از فعالیت‌های بیولوژیکی (زیستی) را شکل

[1] Soil Biodiversity
[2] Tilth

می‌دهند. *شبکه غذایی خاک*[1] حاوی انواع ریزجاندارانی مانند باکتری‌ها و قارچ‌ها تا انواع حشرات و کرم‌ها (مانند نماتدها و کرم‌های خاکی) می‌باشد. هر هکتار-۱۵ سانتی‌متر خاک سطحی حدوداً حاوی ۱۰۰۰ کیلوگرم کرم خاکی، بیش از ۲۶۰۰ کیلوگرم قارچ، بیش از ۱۶۰۰ کیلوگرم باکتری، در حدود ۱۵۰ کیلوگرم پروتوزوا و ۱۰۰۰ کیلوگرم آرتوروپاد (مفصل‌داران) و جلبک می‌باشد (۸۰). از این رو، خاک یک جامعه زنده محسوب می‌شود.

بسیاری از چرخه‌های طبیعی بیولوژیکی در خاک توسط انواع گونه‌های جانوری و میکروارگانیسم‌های خاکزی انجام می‌گیرد. به همین دلیل است که تأکید زیادی بر حفظ تنوع زیستی در خاک و سلامت موجودات خاکزی در مدیریت پایدار خاک می‌شود. آن دسته از فعالیت‌های کشاورزی و رویکردهای مدیریت خاک که اثرات نامطلوب بر جامعه بیولوژیکی خاک وارد می‌سازند، می‌توانند بر پایداری خاک از طریق کاهش توان سازگاری خاک با شرایط آینده نیز تأثیرگذار باشند.

با نگاهی به طبیعت، ممکن است این سوال پیش آید که مراتع و جنگل‌های طبیعی در نبود خاک‌ورزی و کوددهی چگونه عمل می‌کنند؟ در اکوسیستم‌های طبیعی جانداران خاک، نه ماشین آلات، کار خاک‌ورزی را انجام می‌دهند. کوددهی نیز انجام می‌گیرد، ولی از کود به تواتر استفاده می‌شود و محل را ترک نمی‌کند. لایه‌ای از بقایای گیاهی و یا گیاهان زنده سطح خاک‌های طبیعی را در طول سال می‌پوشانند. جامعه غنی جانداران خاکزی بقایای گیاهی و ریشه‌های مرده را تجزیه، و به تدریج عناصر ذخیره شده را در طول زمان آزاد کرده و به شکل قابل دسترس برای گیاه در می‌آورند. گیاهان نیز با جذب این عناصر به رشد خود ادامه می‌دهند. این روند مرتباً با هر نسل جدید از گیاهان ادامه می‌یابد. حال اگر در اراضی طبیعی جانداران خدماتی این چنین مهم و حیاتی را ارائه می‌دهند، چرا در مزارع و باغات کشاورزی از آنها بهره‌برداری نشود؟ آیا به صلاح و منفعت انسان نیست که جامعه بیولوژیکی خاک را به منظور حفظ و ارتقاء کیفیت و سلامت خاک حفظ کرده، و هزینه‌های اضافی عملیات کوددهی و خاک‌ورزی را کاهش دهد؟

[1] Soil Food Web

درک و آگاهی از نقش و فواید جانداران خاکزی از ضروریات مدیریت پایدار خاک است. بر اساس این آگاهی می‌توان راهکارهایی را اتخاذ نمود که هم تعداد و هم تنوع جانداران را در خاک افزایش دهد. برای روشن‌تر شدن این مفهوم می‌توان خاک را به یک واحد دامپروری و موجودات خاکزی را به انواع احشام و دام تشبیه کرد. همانگونه که دام و احشام نیازمند رسیدگی و غذا می‌باشند، برای آنکه جانداران خاکزی نیز به فعالیت‌های مفید خود در خاک ادامه دهند، نیازمند تغذیه و رسیدگی می‌باشند. علوفه و غذای این احشام و دام‌های خاکزی به شکل مواد آلی است. در ادامه به معرفی برخی از مهمترین انواع جانداران و ریزجانداران خاک پرداخته خواهد شد.

۳-۱- کرم‌های خاکی

تونل‌های حفاری شده توسط کرم‌های خاکی نفوذپذیری و تهویه خاک را بهبود می‌بخشد. نفوذپذیری زمین‌هایی که توسط کرم‌های خاکی شخم خورده‌اند، ۴ تا ۱۰ برابر بیشتر از نفوذپذیری زمین‌هایی است که دارای کرم‌های خاکی نیستند (۴۶). این به نوبه خود رواناب و فرسایش آبی را کاهش داده، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی را تسهیل کرده و به ذخیره‌سازی رطوبت در خاک برای مواقع خشکی و خشکسالی کمک می‌نماید. همچنین، کانال‌های عمودی کرم‌های خاکی باعث ورود هوا به اعماق پایین‌تر خاک و در نتیجه، فعال‌سازی بازچرخانی عناصر غذایی در آن اعماق می‌گردد. در زمان خشکی و خشکسالی، این کانال‌ها گیاه را قادر می‌سازد تا به اعماق پایین‌تر خاک، که حاوی رطوبت بیشتری هستند، ریشه‌دوانی کند. در صورت فراوانی تعداد کرم‌های خاکی، شخم و شیار آنها در خاک می‌تواند مقداری از هزینه‌های سنگین عملیات خاک‌ورزی توسط ماشین آلات را جایگزین نماید.

کرم‌های خاکی با خوردن بقایای گیاهی در سطح خاک، آنها را تجزیه کرده و مواد آلی و عناصر غذایی را در سراسر لایه سطحی خاک توزیع می‌نمایند. مقادیر عناصر غذایی در فضولات کرم‌های خاکی بسیار بیشتر از خاک اولیه است (جدول ۵-۴). یک جمعیت مناسب از کرم‌های خاکی می‌تواند بیش از ۹۰۰۰ کیلوگرم در هکتار خاک سطحی را در سال فرآوری نماید. همچنین، جالب توجه است که کرم‌های خاکی موادی را نیز ترشح می‌نمایند که محرک رشد گیاه است.

کرم‌های خاکی در مکان‌هایی که خاک‌ورزی نباشد، تکثیر و ازدیاد می‌یابند. قاعده کلی این است که هر چه خاک‌ورزی و عمق شخم کمتر باشد، شرایط برای تکثیر و رشد کرم‌های خاکی بهتر است. تعداد زیاد عملیات خاک‌ورزی و شخم عمیق، به ویژه در پاییز، تا ۹۰ درصد جمعیت کرم‌های خاکی را کاهش می‌دهد. خاک‌ورزی تعداد کرم‌های خاکی را از طریق خشک کردن خاک، افزایش احتمال یخزدگی خاک، دفن نمودن بقایای گیاهی که از آن تغذیه می‌کنند و قطعه قطعه کردن کرم‌ها، کاهش می‌دهد. تمهیدات دیگری که برای افزایش جمعیت کرم‌های خاکی می‌توان بکار برد عبارتند از:

- عدم استفاده از گاوآهن برگرداندار
- خرد کردن بقایا (کاهش اندازه بقایا)
- افزودن کودهای دامی
- کاشت کود سبز
- باقی گذاشتن بقایا در سطح خاک (حتی الامکان در طول سال)

جدول ۵-۴- مقادیر برخی از عناصر غذایی در فضولات کرم خاکی در مقایسه با خاک‌های اطراف (۸۰).

عنصر غذایی	فضولات کرم خاکی	خاک*
	کیلوگرم در هکتار	
کربن	۱۹۲۰۰۰	۸۸۰۰۰
نیتروژن	۱۲۰۰۰	۷۸۵۰
فسفر	۳۱۵	۴۵
پتاسیم	۱۰۱۰	۱۶۰

* خاک مورد آزمایش حاوی ۴ درصد ماده آلی بود.

۳-۲- آرتروپادها[1]

به جز کرم خاکی، گونه‌های متعدد دیگری از جانداران خاکزی وجود دارند که قابل رؤیت با چشم غیرمسلح می‌باشند، مانند Springtails، شپشک‌ها، بندپایان، هزارپایان، و حلزون‌ها. این جانداران تجزیه‌کنندگان اولیه هستند. نقش مهم آنها در خاک این است که قطعات بزرگ بقایای حیوانی و گیاهی را خورده و خرد می‌نمایند. برخی از آنها بقایا را به درون خاک منتقل و در دسترس جانداران خاکزی دیگر برای تجزیه بیشتر قرار می‌دهند. بعضی از آنها از ریزجانداران کوچکتر دیگر خاک تغذیه می‌نمایند. فضولات این جانداران نیز از نظر عناصر غذایی بسیار غنی می‌باشد.

۳-۳- نماتدها[2]

گونه‌های متعددی از نماتدها در خاک زندگی می‌کنند، و تنها چند گونه از آنها هستند که برای گیاهان مضر می‌باشند. گونه‌های غیرمضر از بقایای گیاهی در حال تجزیه، باکتری‌ها، کپک‌ها، جلبکها، پروتوزوآ و گونه‌های دیگر نماتدها تغذیه می‌نمایند. همانند دیگر شکارچیان خاکزی، نماتدها فرآیند بازچرخانی عناصر غذایی در خاک را تسریع می‌نمایند.

۳-۴- باکتری‌ها

باکتری‌ها پر تعدادترین نوع جانداران خاک هستند، به طوری که هر گرم خاک حاوی حداقل یک میلیون عدد از این جانداران تک سلولی می‌باشد (۸۰). گونه‌های متعددی از باکتری‌ها وجود دارند که هر یک نقش ویژه‌ای در محیط زیست خاک ایفا می‌نماید. مهمترین فایده باکتری‌ها فراهم‌سازی عناصر غذایی برای گیاه است. برخی از گونه‌ها نیتروژن، سولفور، فسفر و ریزمغذی‌های مواد آلی را آزاد می‌سازند. برخی دیگر از این گونه‌ها مواد معدنی خاک را تجزیه کرده و باعث رهاسازی پتاسیم، فسفر، منیزیم، کلسیم و آهن می‌گردند. برخی دیگر از باکتری‌ها هورمون‌های محرک رشد تولید می‌کنند که رشد ریشه گیاه را افزایش می‌دهد. بسیاری از گونه‌های باکتری نیتروژن هوا را به شکل قابل استفاده برای

[1] Arthropods
[2] Nematods

گیاه، و یا برعکس، نیتروژن قابل استفاده را به شکل گاز در می‌آورند. برخی از آنها در ریشه گیاهان لگومینه تثبت نیتروژن کرده و برخی بدون همزیستی با گیاه، عمل تثبیت نیتروژن را انجام می‌دهند. تغییر شکل نیتروژن از آمونیم به نیترات و بالعکس، بسته به شرایط خاک، توسط باکتری‌ها انجام می‌گیرد. فواید دیگر باکتری‌ها عبارتند از افزایش حلالیت عناصر غذایی، بهبود ساختمان خاک، مبارزه با امراض ریشه و سم‌زدایی خاک.

۳-۵- کپک‌ها

کپک‌ها در انواع گونه‌ها، اندازه‌ها و شکل‌ها در خاک وجود دارند. کپک لجنی[1]، قارچ‌ها[2] و مخمرهای تک سلولی[3] از انواع معروف کپک‌ها هستند. بسیاری از کپک‌ها با تجزیه مواد آلی و مواد معدنی خاک عناصر غذایی را برای گیاهان فراهم می‌سازند. برخی از آنها هورمون‌های رشد گیاهی و برخی دیگر آنتی‌بیوتیک‌هایی از قبیل پنی‌سیلین تولید می‌نمایند. بعضی از گونه‌های کپک حتی نماتدهای بیماری‌زای گیاهان را به تله می‌اندازند که این امر در کنترل بیولوژیک امراض نقش مهمی را ایفا می‌نماید (۸۰). میکوریزا کپک‌هایی هستند که در درون یا در سطح ریشه گیاهان زندگی کرده و با تارهای بلندی که تولید می‌کنند، کمک مؤثری به ریشه گیاه برای جذب عناصر غذایی، به ویژه جذب فسفر و آب می‌نمایند. این موجودات نقش بسیار مهم و حیاتی به ویژه در اراضی تخریب شده و فقیر ایفا می‌نمایند. در مقابل، کپک‌ها عناصر غذایی و کربوهیدارت‌های مورد نیاز خود را از ریشه گیاه میزبان تأمین می‌نمایند.

در اراضی بیابانی و یا شور کشور، آنها به طور مؤثری با ریشه گیاهان طبیعی همزیستی داشته و موجبات رشد بهتر این گیاهان را در طبیعت فراهم می‌سازند. جداسازی گونه‌های متحمل به شوری و یا خشکی آنها می‌تواند در تولید کودهای بیولوژیک برای مناطق خشک و یا شور کاربرد اقتصادی داشته باشد. میکوریزا، همچنین، هورمون‌ها و آنتی‌بیوتیک‌هایی تولید می‌کنند که محرک رشد گیاه بوده و

[1] Slim molds
[2] Fungi
[3] Yeasts

با بیماری‌ها مقابله می‌نمایند. ریشه گیاهانی که با میکوریزا کلنی شده باشند، بسیار کمتر مورد هجوم نماتدهای بیماری‌زا قرار می‌گیرد.

۳-۶- جلبک‌ها[1]

بسیاری از گونه‌های جلبک در لایه یک سانتی‌متری سطح خاک زندگی می‌کنند (۸۰). بر خلاف دیگر موجودات خاک، جلبک‌ها غذای مورد نیاز خود را از طریق فتوسنتز تأمین می‌نمایند. آنها به شکل یک قشر سبز رنگ پس از باران زیاد در سطح خاک قابل مشاهده هستند. در خاک‌های مناطق مرطوب و پرباران مازندران و گیلان می‌توان آنها را به وضوح مشاهده کرد. جلبک‌ها با تولید و ترشح مواد لزج به تشکیل خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک کمک می‌نمایند. همچنین، برخی از گونه‌های آن مانند جلبک آبی–سبز، نیتروژن هوا را تثبت کرده و به تدریج در اختیار ریشه گیاهان قرار می‌دهند.

۳-۷- پروتوزوآ[2] یا تک‌یاختگان

این ریزجانداران در آب موجود بین ذرات خاک می‌خزند و یا شنا می‌کنند. بسیاری از آنها شکارچی بوده و میکروب‌های دیگر را خورده و از آنها تغذیه می‌کنند. بدین ترتیب، نقش مؤثری را در کنترل جمعیت میکروب‌های دیگر ایفا می‌نمایند. یکی از رایج‌ترین انواع پروتوزوا، آمیب می‌باشد که از باکتری‌ها تغذیه می‌نماید. تغذیه آنها از ریزجاندارانی مانند باکتری‌ها ، فرآیند رهاسازی نیتروژن و فراهمی آن برای گیاه را تسریع می‌نمایند.

کلیه جانداران خاک که در بالا معرفی گردیدند، به غیراز جلبک، وابسته به مواد آلی به عنوان منبع غذایی هستند. بنابراین، برای حفظ و نگهداری از جمعیت آنها باید مواد آلی مرتباً برای آنها فراهم گردد. این مواد می‌توانند به شکل بقایای گیاهی، کودهای دامی، کمپوست یا مواد آلی دیگر از محل مزرعه یا خارج از مزرعه تهیه و به خاک افزوده شود. علاوه بر آن، شرایط مناسب رطوبتی، حرارتی، pH و تهویه نیز بر جمعیت آنها اثرگذار هستند.

[1] Algae
[2] Protozoa

۴- شوری خاک

خاک‌های شور بیشتر در مناطق خشک و نیمه خشک، یعنی مناطقی که میزان بارندگی آنها جهت شستشوی نمک‌های محلول خاک کافی نیست و تبخیر در آنجا بالا است، مشاهده می شود. خاک‌های شور خاک‌هایی هستند که غلظت نمک‌های محلول در آنها به قدری باشد که رشد و عملکرد گیاه را کاهش دهد، به شرطی که سایر عوامل مانعی برای رشد محصول ایجاد نکنند. در عمل شوری مفهومی وابسته به گیاه نیز می‌باشد. از نظر کاربردی در علوم کشاورزی، شوری در سیستم‌هایی مرکب از خاک (میزان شوری خاک)، آب (کیفیت آب) و گیاه (حساسیت گیاه به شوری) تعریف و بررسی می‌گردد. بسته به نوع و میزان نمک غالب در خاک، انواع خاک‌های مبتلا به شوری عبارتند از خاک‌های شور، خاک‌های سدیمی و خاک‌های شور-سدیمی. به طور کلی دو نوع شوری خاک وجود دارد: *طبیعی* و *ثانویه*.

۴-۱- شوری طبیعی یا اولیه

شوری طبیعی یا اولیه از تجمع نمک‌های حاصل از فرآیندهای طبیعی در طی زمان‌های طولانی در خاک یا آب‌های زیرزمینی به وجود می‌آیند. این نوع شوری منشأ غیر انسانی داشته و به راحتی قابل کنترل توسط مدیریت انسانی نمی‌باشد.

۴-۲- شوری ثانویه یا غیرطبیعی

شوری ثانویه در اثر فعالیت‌های بشر و عوامل انسانی ایجاد می‌شود، بنابراین، مدیریت در ایجاد آن نقش اساسی داشته و قابل پیشگیری و یا کنترل می‌باشد. شناسایی این عوامل و کنترل آنها منجر به پیشگیری از شوری ثانویه و افزایش پایداری خاک می‌گردد. برخی از این عوامل عبارتند از:

- مدیریت نامطلوب آبیاری: مهمترین علت بروز شوری ثانویه در جهان و ایران می‌باشد.
- تخریب پوشش گیاهی: استفاده بی‌رویه از پوشش گیاهی به منظور تعلیف دام و تخریب مراتع باعث افزایش پتانسیل تبخیر از سطح خاک و حرکت نمک به سطح خاک و در نتیجه، شور شدن خاک می‌گردد.

- تسطیح نامطلوب اراضی
- آبیش: آبیش زمین‌هایی که در آنها سطح آب زیرزمینی (ایستابی) بالا است، باعث افزایش حرکت آب به سطح خاک، و در نتیجه، افزایش شوری خاک می‌گردد.
- استفاده نامطلوب از ماشین‌آلات سنگین: این امر منجر به ایجاد فشردگی و تراکم خاک، و در نتیجه، کاهش قابلیت زهکشی خاک می‌گردد.
- عدم وجود سیستم‌های زهکشی مناسب در کنار سیستم‌های آبیاری

۴-۳- علائم و اصلاح خاک‌های شور

اکثر خاک‌های شور از نظر ظاهری ممکن است با خاک‌های غیرشور تفاوتی نداشته باشند. لذا آزمایشات شیمیایی برای تشخیص قطعی شوری الزامی است. همانطور که عنوان شد، انواع خاک‌های مبتلا به شوری عبارتند از خاک‌های شور، خاک‌های سدیمی و خاک‌های شور-سدیمی. برخی از علائم ظاهری خاک‌های شور عبارتند از:

- پودری شدن سطح خاک و مشاهده بلورهای نمک در قسمت‌های برآمده مزرعه وشیب دیوار جوی‌ها
- پیدایش منافذ رشته‌ای شکل توخالی با دیواره سفید در داخل خاک
- ایجاد سله در سطح خاک

علاوه بر موارد فوق، برخی دیگر از علائم خاک‌های سدیمی عبارتند از:

- پیدایش یک لایه سیاه رنگ و چربی شکل در سطح خاک
- بهم خوردن ساختمان فیزیکی خاک و ایجاد حالت چسبندگی در زمان مرطوب بودن
- انقباض و انبساط شدید در مراحل تر و خشک شدن و در نتیجه، پیدایش شکاف‌های با عرض و عمق‌های متفاوت

علائم مهم گیاهی در خاک‌های شور و یا سدیمی عبارتند از:

- عدم رشد کامل و یکنواخت در سطح مزرعه
- رنگ سبز تیره متمایل به آبی
- آثار سوختگی به صورت لکه در سطح برگ‌ها و یا حاشیه برگ‌ها

مهمترین واکنش گیاه به شوری خاک کاهش رشد و عملکرد است. عوامل متعددی بر واکنش گیاه به شوری اثرگذار هستند، که می‌توان آنها را در مدیریت خاک‌های شور مورد نظر قرار داد.

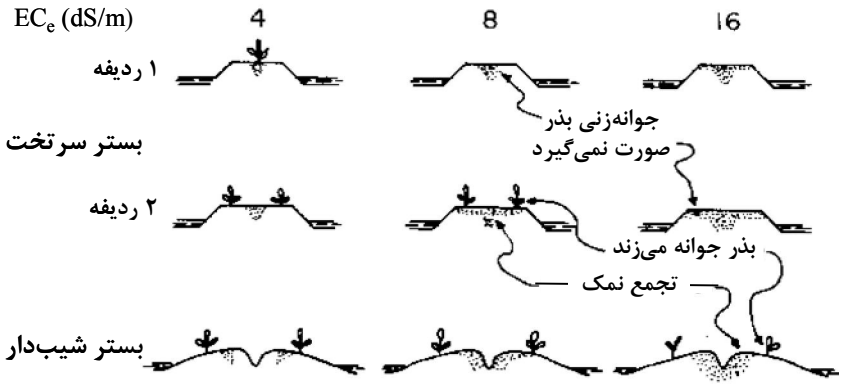
- **نوع و توزیع نمک در خاک**: نمک‌هایی که حلالیت بیشتری دارند، دارای تأثیرات نامطلوب بیشتری نیز می‌باشند. بسته به میزان آبیاری و زهکشی توزیع نمک در نیمرخ خاک ممکن است یکنواخت و یا کاملاً غیریکنواخت باشد. توزیع نمک در طول نیمرخ خاک به ندرت یکنواخت است. روش آبیاری از دیگر عواملی است که توزیع نمک در خاک را کنترل می‌کند.
- **رطوبت خاک**: رفتار گیاه طی دوره رشد نه تنها به پاسخ گیاه به شوری، بلکه به کم‌آبی هم بستگی دارد. در خاک‌های غرقابی یا ماندابی، دسترسی ریشه‌ها به اکسیژن کاهش یافته و رشد گیاه با کاهش تنفس ریشه‌ها محدود می‌شود. ثابت شده که عملکرد گیاه در شرایط شور، بهتر از حالت کم‌آبی است. لذا، مدیریت رطوبت خاک از اهمیتی ویژه در دستیابی به رشد و عملکرد محصول برخوردار است. کوتاه کردن فواصل آبیاری، الزاماً به بهبود عملکرد گیاهان مبتلا به شوری نمی‌انجامد. افزایش دور آبیاری تنها هنگامی به سود گیاه است که تنش آبی را (در صورت وجود) کاهش دهد، غلظت نمک‌های محلول را از حدی پایین‌تر نگه دارد و فراوانی آب باعث کمبود اکسیژن نگردد (۳۳).
- **شرایط فیزیکی خاک**: شرایط نامطلوب فیزیکی خاک می‌تواند اثرات ناشی از شوری را بر گیاه تشدید نماید. ساختمان ضعیف خاک و وجود لایه‌های با نفوذپذیری کم در نیمرخ خاک، رشد ریشه‌ها را محدود کرده و حرکت و توزیع آب و املاح را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین، تشکیل لایه نمکی در سطح خاک نیز به صورت مانعی فیزیکی عمل کرده و جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاه نوپا را مختل می‌سازد.
- **موجودات خاکزی**: باکتری‌های همزیست ریزوبیوم نسبت به شوری مقاوم‌تر از گیاه میزبان خود هستند. لذا، تقویت تنوع زیستی خاک در بهبود شرایط رشد گیاه بسیار مؤثر خواهد بود. تحقیقات متعدد نشان داده که در خاک‌های شور، غده‌زایی و تثبیت نیتروژن در برخی از گیاهان دچار اختلال می‌گردد. در خاک‌های شور، اگر خاک برای مدتی طولانی مرطوب

باشد، احتمال بروز بیماری‌های قارچی افزایش می‌یابد. زهکشی نامطلوب نیز خطرات یاد شده را تشدید می‌کند.

- **سن گیاه**: حساسیت گیاه به شوری در طول فصل رشد دائماً تغییر می‌کند. این ویژگی در مدیریت مصرف آب‌های با شوری‌های مختلف در خاک‌های شور معیار مهمی می‌باشد. گیاهان زراعی دارای سه مرحله اساسی رشد و نمو هستند، جوانه‌زنی و استقرار جوانه، مرحله رویشی و مرحله زایشی. بیشتر گیاهان در مرحله جوانه زدن مقاوم هستند، ولی در مرحله گیاهچه‌ای و مراحل اولیه پس از آن حساس بوده و در معرض آسیب هستند. چنانچه گیاه در خاک استقرار یابد، با گذشت زمان به شوری متحمل‌تر می‌شود. معمولاً با افزایش سن، تحمل به شوری گیاه افزایش می‌یابد. در سورگوم، گندم و لوبیا چشم بلبلی، حساسیت به شوری در دوره رویشی و مراحل اولیه تولید محصول بیشتر از مرحله گلدهی و پر شدن دانه‌هاست. در مرحله تشکیل سنبله یا خوشه، تنش شوری موجب تسریع رشد خوشه و کاهش تعداد سنبله در گندم می‌شود، ولیکن، افت عملکرد تا حدی با افزایش تعداد دانه در سنبله جبران می‌شود. غلات در مرحله رشد رویشی و آغاز مرحله زایشی نسبت به شوری حساس‌تر هستند. همچنین، شوری باعث عقیم شدن خوشه‌ها در برخی از واریته‌های برنج می‌شود.
- **نوع و گونه گیاهی**: تحمل به شوری ارقام و واریته‌های مربوط به یک گونه گیاهی در برخی از گونه‌ها بسیار متفاوت می‌باشد. همچنین، تحمل به شوری گونه‌های مختلف گیاهان با یکدیگر تفاوت بسیار دارد. این ویژگی در مدیریت زراعت در خاک‌های شور معیار مهمی می‌باشد.
- **روش آبیاری**: روش آبیاری واکنش گیاه به شوری را تحت تأثیر قرار می‌دهد، زیرا:
  - ✓ بر توزیع نمک در خاک اثرگذار است. برخلاف روش‌های آبیاری سطحی، روش‌های آبیاری تحت فشار (به ویژه آبیاری بارانی)، با به کار بردن مقدار کمتری از آب، می‌توانند توزیع یکنواخت‌تری در سطح مزرعه داشته باشند.

- ✓ مشخص می‌کند که آیا برگ‌ها مرطوب خواهند شد یا نه (مانند آبیاری بارانی). گیاهان می‌توانند از راه برگ‌ها به آسانی املاح موجود در آب را جذب کنند. به همین دلیل است که در آبیاری بارانی با آب شور، شاخ و برگ آنها مستقیماً آسیب می‌بیند. از این رو، برگشویی با آب غیرشور پس از آبیاری بارانی به مدت چند دقیقه توصیه شده است.
- ✓ بیانگر آن است که دسترسی به پتانسیل آبی بالا در خاک تا چه حد امکان‌پذیر است. روش‌هایی که موجب نگهداری پتانسیل آبی بالاتری در خاک می‌شوند، شرایط مساعدتری را برای رشد گیاه فراهم می‌سازند.

- **بستر بذر**: نحوه آراستن بستر بذر و چگونگی قرار گرفتن بذر در خاک بر جوانه‌زنی و استقرار آن در خاک‌های شور که به صورت شیاری (فارو) آبیاری می‌شوند، بسیار مؤثر است (شکل ۵-۵). عملیاتی که می‌توانند اثر شوری را در بستر بذر در روش آبیاری شیاری به حداقل برسانند عبارتند از نگهداری رطوبت زیاد در شیار، شیب‌دار کردن کردن بستر بذر و کاشت بذر در شیارهای دوگانه V شکل با سطح صاف (شکل ۵-۵).



شکل ۵-۵- اثرات آرایش بستر کاشت و نحوه قرارگیری بذر بر جوانه‌زنی و استقرار گیاه در خاک‌های شور (۳۸).

راهکارهای اصلاح خاک‌های شور به طور خلاصه عبارتند از:

- تقویت پوشش گیاهی
- آبشویی در صورت فراهمی آب با کیفیت مطلوب، که معمولاً در مناطق خشک به علت کمبود منابع آب با کیفیت مطلوب و ارزش بالای آب، این روش اقتصادی نیست.
- بهبود مدیریت آبیاری
- بسترسازی و عملیات مهندسی زراعی مطلوب

راهکارهای اصلاح خاک‌های شور-سدیمی و سدیمی به طور خلاصه عبارتند از:

- استفاده از مواد اصلاح‌کننده آلی (مانند کود سبز) و غیرآلی (مانند گچ): برای اصلاح این خاک‌ها ضروری است که در ابتدا درصد سدیم تبادلی خاک (ESP[1]) کاهش یابد. برای انجام این کار از انواع مختلف مواد آلی و غیرآلی به عنوان *اصلاح‌کننده* استفاده می‌شود. هدف از استفاده از اصلاح‌کننده‌ها تبادل سدیم (Na) با کلسیم (Ca) است تا ESP خاک کاهش یابد.
- تقویت پوشش گیاهی
- آبشویی: نکته بسیار مهم این است که اگر خاک‌های شور-سدیمی با آب‌های باکیفیت (غیرشور یا کم شور) و یا دارای مقادیر پایین Ca و Mg آبشویی شود، نمک‌ها شستشو شده و خاک تبدیل به خاک سدیمی می‌شود. در نتیجه، نه تنها خاک اصلاح نشده، بلکه وضعیت از اول مشکل‌تر شده است. از این رو بهتر است که در مراحل اولیه آبشویی با آب‌های شور و لب شور صورت گیرد. به تدریج با کاهش کافی ESP، خاک شور-سدیمی تبدیل به خاک شور می‌شود، که برای اصلاح آن می‌توان با آب‌های باکیفیت اقدام به آبشویی نمود.

[1] Exchangeable Sodium Percentage

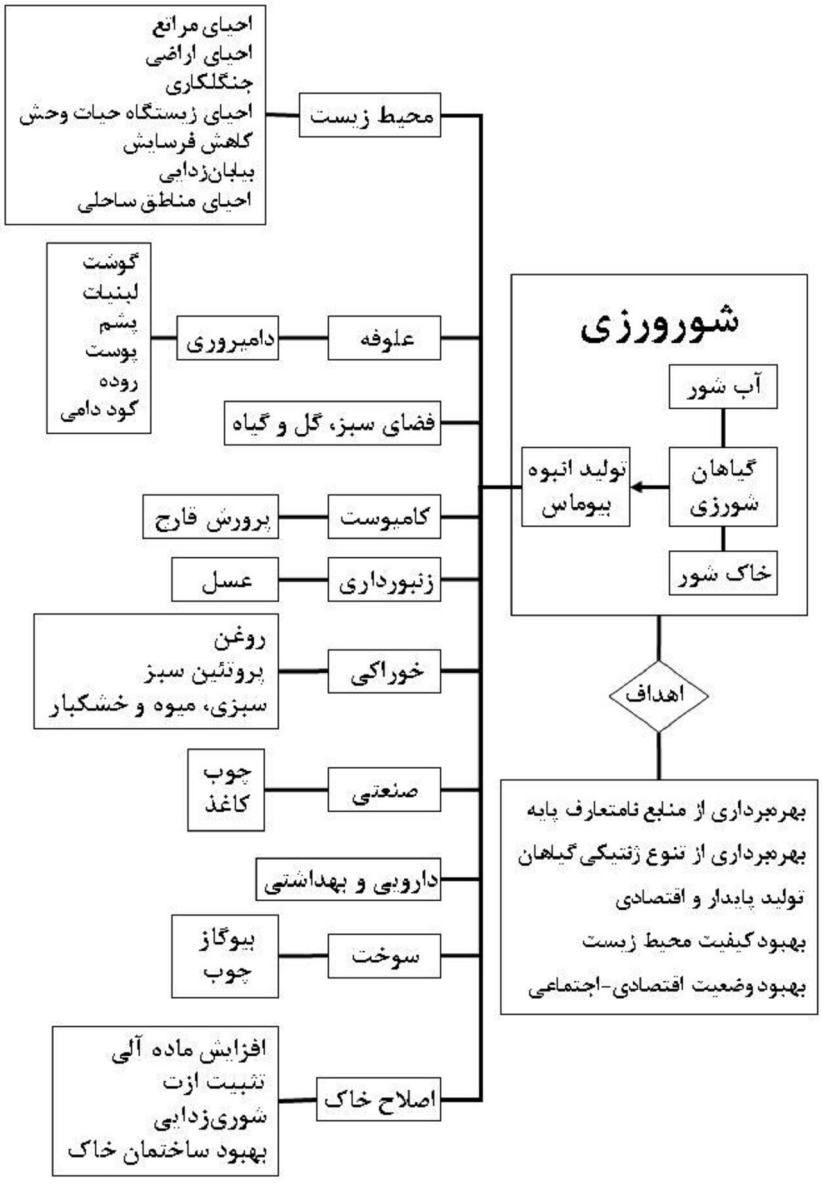
۵- شورورزی[1]: بهره‌برداری پایدار از منابع خاک و آب بسیار شور

مفهوم و اهداف کشاورزی پایدار در همه شرایط یکسان است. ولیکن، نحوه اجرا و رسیدن به آن اهداف بسته به زمان، مکان، زیست‌بوم، و جامعه متفاوت است. راهکارها و راهبردهای کشاورزی پایدار در مناطق خشکی مانند سیستان، با مناطقی جنگلی مانند مازندران ممکن است متفاوت باشند، ولیکن اهداف کلی یکسان است. "شورورزی" به طور کلی، کشاورزی پایدار در محیط‌های شور است، بدین معنی که *شورورزی* یک فناوری با رویکرد زیست محیطی و به منظور بهره‌برداری اقتصادی و پایدار از منابع خاک و آب شور می‌باشد. لذا، *شورورزی* را به زبان ساده می‌توان چنین تعریف کرد: تولید اقتصادی محصولات کشاورزی در محیط‌های شور. شمایی کلی از شورورزی در شکل ۵-۶ ارائه شده است. *محصولات کشاورزی* شامل انواع محصولات گیاهی (زراعی، باغی، جنگلی، مرتعی، صنعتی، زینتی و دارویی)، جانوری (انواع دام‌های سبک و سنگین، زنبور و کلیه فرآورده‌های آنها، مانند گوشت، لبنیات، پشم و عسل) و آبزیان (ماهی، میگو، علوفه، و غیره)، می‌باشد. منظور از *محیط‌های شور* همان خاک و آب شور می‌باشد. آب‌های شور خود محیط زیست و رویشگاه بسیاری از گیاهان و جانوران آبزی هستند. از این رو، بسته به کیفیت شیمیایی و میزان شوری منابع آب شور، می‌توان با پرورش انواع آبزیان سازگار از محیط‌های آبی شور (محیط‌های طبیعی و مصنوعی) نیز بهره‌برداری اقتصادی نمود.

پدیده‌های بیابان‌زایی، شور شدن اراضی، خشکسالی، و کاهش کیفی و کمی منابع آب، پیامدهای اقتصادی-اجتماعی نامطلوبی مانند کاهش، و در برخی موارد عدم امکان تولید محصولات کشاورزی، تخریب اراضی حاصلخیز کشاورزی، کاهش کمّی و کیفی منابع آب، افزایش میزان مهاجرت از منطقه، افزایش فقر و بیکاری را به دنبال دارد. با توجه به مشکلات عمده در مناطق تحت تأثیر خشکی و شوری، و با در نظر گرفتن اهداف کشاورزی پایدار، اهداف شورورزی بهره‌برداری از منابع پایه نامتعارف و تنوع زیستی محلی به منظور تولید پایدار و اقتصادی محصولات قابل استفاده، کنترل فرسایش، احیای اراضی و بهبود کیفیت محیط زیست، و

[1] Haloculture

بهبود وضعیت اقتصادی-اجتماعی جوامع محلی از طریق اشتغال‌زایی و محرومیت‌زدایی می‌باشد.



شکل ۵-۶- تصویر کلی از بهره‌برداری‌های کشاورزی در شورورزی.

دیدگاه‌های مدیریت و تولید محصولات زراعی در محیط‌های شور، در کشاورزی رایج و شورورزی متفاوت می‌باشند. در کشاورزی رایج، محیط شور را بر اساس نیاز گیاه با انجام اقداماتی اصلاح می‌کنند تا شرایط برای رشد آن فراهم گردد. این اقدامات شامل آبشویی با آب شیرین و جمع‌آوری و دفع زه‌آب از طریق احداث شبکه‌های زهکشی می‌باشد. ولیکن، در شورورزی گیاهانی برای کشت انتخاب می‌شوند که به طور طبیعی با محیط شور سازگار و متناسب باشند. گیاهان هالوفیت یا شورزی، در شورورزی به عنوان محصول زراعی محسوب می‌شوند. در کشاورزی رایج، اصلاح زمین شور به منظور کاشت و تولید محصولات زراعی و باغی رایج هزینه‌بر، دشوار و کند بوده و به مقدار زیادی آب شیرین نیاز دارد. ولیکن در شورورزی به اصلاح زمین و آب شیرین نیازی نیست، بلکه از آب شور برای آبیاری و افزایش تولید و عملکرد استفاده می‌شود. همچنین، در شورورزی می‌توان از میان تعداد بسیار زیادی از گیاهان شورزی، گیاه مورد نیاز و مناسب را انتخاب کرد. این در حالی است که تعداد محدودی از محصولات زراعی رایج قابلیت کشت در عرصه‌های شور، حتی پس از اصلاح خاک را دارند، که این خود کاربرد کشاورزی رایج در عرصه‌های شور را محدود می‌سازد. بنابراین، در شورورزی با استفاده از منابع خاک و آب شور موجود در محل و انتخاب گیاهان بسیار متحمل به شوری و یا گیاهان شورزی می‌توان محصولی مفید و اقتصادی تولید نمود که در آن شرایط محصولات زراعی رایج امکان رشد مطلوب و یا مقرون به صرفه را ندارند.

بخش وسیعی از اراضی آبی مبتلا به شوری متأثر از فعالیت‌های انسان است. اراضی شور نیازمند روش‌های اصلاحی و مدیریتی کارا، کم هزینه و سازگار با محیط زیست می‌باشند تا تولید اقتصادی و مطلوب محصولات زراعی امکان‌پذیر گردد. احیاء و اصلاح این اراضی برای کاشت محصولات رایج بسیار پرزحمت، پرهزینه و زمان‌بر است. لذا، در وهله اول پیشگیری از ایجاد مسئله شوری در مزارع فاریاب الزامی است. آبشویی متداول‌ترین راهکار برای خارج ساختن املاح از محیط توسعه ریشه است. در صورت فراهم بودن آب کافی و با کیفیت مناسب، که معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک چنین نیست، آبشویی می‌تواند از نظر عملیاتی امکان‌پذیر باشد. ولیکن، از حیث اقتصادی و ارزش آب، انجام آبشویی به سادگی قابل توجیه نمی‌باشد. در صورتی که اصلاح زمین شور از حیث عملیاتی

و اقتصادی امکان‌پذیر و مقرون به صرفه نباشد، *شورورزی* می‌تواند امکان بهره‌برداری اقتصادی از زمین را فراهم سازد.

رویکرد کلیدی در شورورزی استفاده از گیاهان متحمل به شوری و شورزی در بهره‌وری اقتصادی از محیط‌های شور می‌باشد. در حقیقت، گیاهان شورزی به عنوان محصولی زراعی با کاربردی مفید برای جامعه در شورورزی مطرح می‌باشند. کشت گیاهان شورزی به عنوان یک محصول زراعی هنگامی توصیه می‌شود که امکان کشت محصولات زراعی مرسوم از نظر عملیاتی و یا اقتصادی امکان‌پذیر نباشد. در چنین شرایطی شورزی‌ها با حداقل نهاده و با استفاده از آب شور عملکرد بالایی دارند.

گیاهان بر اساس توانایی رشد در محیط‌های شور به دو گروه کلی گلایکوفیت (شیرین رست) و هالوفیت تقسیم شده‌اند. گلایکوفیت‌ها، که شامل اکثر گونه‌های مهم زراعی می‌باشند، گیاهان حساس به شوری هستند و نمی‌توانند شرایط طولانی مدت شوری‌های کم را نیز تحمل کنند. بهترین معیار برای جداسازی این دو گروه از یکدیگر این است که‌هالوفیت‌ها می‌توانند چرخه حیات خود را در غلظت‌های بالای کلریدسدیم (۱۰۰–۲۰۰ m*M* NaCl) کامل نمایند (۵۰). تعاریف متعددی برای گیاهان هالوفیت یا شورزی ارائه شده است که مفهوم کلی آنها مشابه یکدیگر می‌باشد. در مجموع، شورزی‌ها گیاهانی هستند که به طور طبیعی در زیست‌بوم‌های شور رشد کرده و چرخه حیات خود را تکمیل می‌نمایند. برآورد شده است که تعداد گیاهان شورزی دنیا ۲ درصد از کل گونه‌های گیاهی دنیا (۶۰۰۰–۵۰۰۰ گونه) می‌باشد (۶۳). گیاهان شورزی طیف وسیعی از گونه‌های علفی، بوته‌ای، درختچه‌ای و درختی را در بر گرفته، و در انواع محیط‌ها، از باطلاق‌های ساحلی گرفته تا بیابان‌های شوره‌زار، رشد می‌نمایند.

بخش عمده فعالیت‌های شورورزی تولید زراعی گیاهان شورزی با کاربرد اقتصادی است. گیاهان شورزی کاربردهای مختلفی از جمله مصارف علوفه‌ای و تعلیف دام، خوراکی، چوب و کاغذ، سوخت، دارویی، بهداشتی و صنعتی دارند. پرورش ماهی و میگو از توسعه یافته‌ترین فعالیت‌های شورورزی در زمینه بهره‌برداری اقتصادی و تولید در محیط‌های آبی شور می‌باشد. ولیکن، گونه‌های

مختلف علف دریایی[1] و انواع جلبک‌ها[2] در چند دهه اخیر، توجه محققین را به عنوان منابع غنی و ارزشمند از ترکیبات شیمیایی و بهداشتی، دارویی، کودهای بیولوژیک، علوفه‌ای و سوخت جلب کرده‌اند. علاوه بر آن، بهره‌برداری صنعتی از منابع آب شور برای تهیه کالاها و فرآورده‌های ارزشمندی چون آب شیرین، نمک‌های صنعتی و شیمیایی و انرژی در شورورزی مد نظر می‌باشد. روش‌های متنوع بهره‌برداری اقتصادی از محیط‌های شور آبی و خاکی قابلیت تلفیق با یکدیگر را دارا می‌باشند، که این خود از نظر بهره‌وری بهینه از منابع و کاهش مخاطرات اقتصادی و ایجاد تنوع در درآمد کشاورزان قابل توجه و ارزشمند است.

۶- خاک‌ورزی

خاک‌ورزی شامل هر گونه عملیات مکانیکی است که باعث برگرداندن، نرم شدن یا اختلاط خاک گردد، مانند شخم زدن، بیل زدن و غیره. از آنجا که خاک‌ورزی هم می‌تواند باعث بهبود وضعیت خاک شود و هم به حاصلخیزی خاک لطمه وارد سازد، باید بر اساس نظام کشت و نوع خاک روش‌های مناسب خاک‌ورزی انتخاب شود. اهداف خاک‌ورزی عبارتند از:

- نرم کردن خاک برای بهبود نفوذ ریشه در خاک
- بهبود تهویه خاک
- تقویت فعالیت‌های جانداران خاکزی
- افزایش نفوذپذیری آب
- کاهش تبخیر
- کنترل علف‌های هرز
- اختلاط بقایای محصولات و کودهای دامی با خاک
- ایجاد بستر مناسب برای کاشت بذر و نهال
- اصلاح تراکم خاک که توسط فعالیت‌های پیشین به وجود آمده است.

خاک‌ورزی نامطلوب می‌تواند باعث افزایش رواناب و فرسایش خاک گردد. هر چه شیب زمین بیشتر باشد، این خطرات ابعاد گسترده‌تری می‌یابند (جدول ۵-۵).

[1] Seaweed
[2] Algae

گسترش و توسعه کشاورزی پایدار باعث ایجاد تحول در سیستم‌های خاک‌ورزی و معرفی روش‌های جدید با رویکرد حفاظت از خاک گردیده است. در سیستم‌های نوین خاک‌ورزی، حفظ بقایای گیاهی و کاهش تعداد عملیات شخم و شیار و تردد ماشین آلات در مزرعه مد نظر می‌باشند. در شکل ۵-۶ مقایسه بین سیستم‌های خاک‌ورزی ارائه شده است. خاک‌ورزی به طور کلی به دو سیستم تقسیم می‌شود (۱۵):

۱- **سیستم رایج**: در این سیستم کمتر از ۳۰ درصد بقایای کشت قبلی در سطح مزرعه باقی می‌ماند.

۲- **سیستم حفاظتی**: در این سیستم بیش از ۳۰ درصد بقایای کشت قبلی در سطح مزرعه باقی می‌ماند.

سیستم رایج را نیز برخی به دو دسته تقسیم می‌کنند:

۱-۱- **سیستم مرسوم**: در این سیستم کمتر از ۱۵ درصد بقایا در زمین باقی می‌ماند.

۱-۲- **سیستم کم خاک‌ورزی**: در این سیستم بین ۳۰-۱۵ درصد بقایا در سطح زمین مزرعه باقی می‌ماند.

حفظ بقایای گیاهی در زمین از مهمترین ویژگی‌های انواع خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد. از این رو، جهت سهولت کاشت بذور در میان انبوه بقایای گیاهی و بهبود مدیریت خاک‌ورزی، انواع ادوات مختلف ابداع و بکار گرفته شده است (شکل ۵-۷). هر یک از انواع خاک‌ورزی حفاظتی محاسن و معایبی نسبت به یکدیگر دارند. در ادامه برخی از انواع آن معرفی می‌گردد (۱۵ و ۲۶).

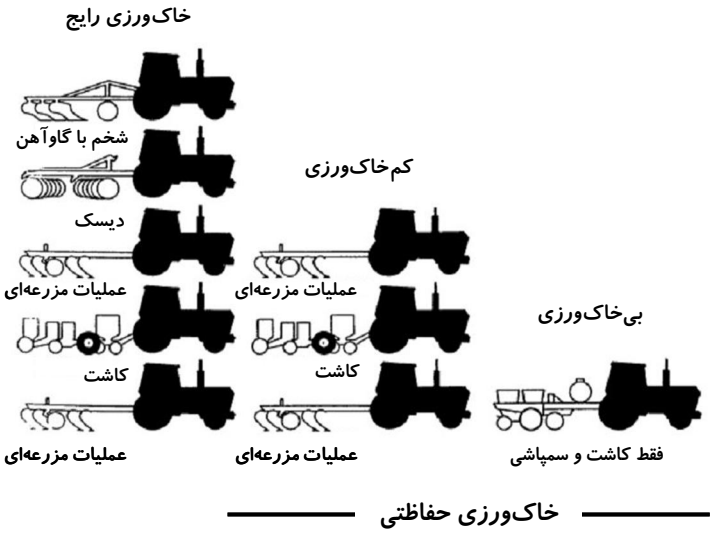
- **خاک‌ورزی مالچی یا پوششی**: سیستمی است که در آن بین برداشت یک محصول و کاشت محصول بعدی زمین شخم خورده می‌شود ولیکن، بیش از ۳۰ درصد سطح خاک پس از کاشت پوشیده از بقایای گیاهی می‌باشد.
- **خاک‌ورزی پشته‌ای**: خاک‌ورزی پشته‌ای از انواع مهم خاک‌ورزی حفاظتی است. مشخصه اصلی آن نگهداری بسترهای پشته‌ای ثابت یا نیمه ثابت در کل مزرعه است که بر روی آن محصول زراعی کاشته می‌شود.
- **خاک‌ورزی نواری**: خاک‌ورزی نواری هر نوع سیستمی است که در آن یک بستر کاشت نواری و کم عرض (۱۸-۱۲ سانتی‌متر) در میان گیاه پوششی

یا بقایای گیاهی ساخته شده، و همزمان یک منطقه شخم نخورده پهن بین ردیف‌ها باقی گذاشته می‌شود.

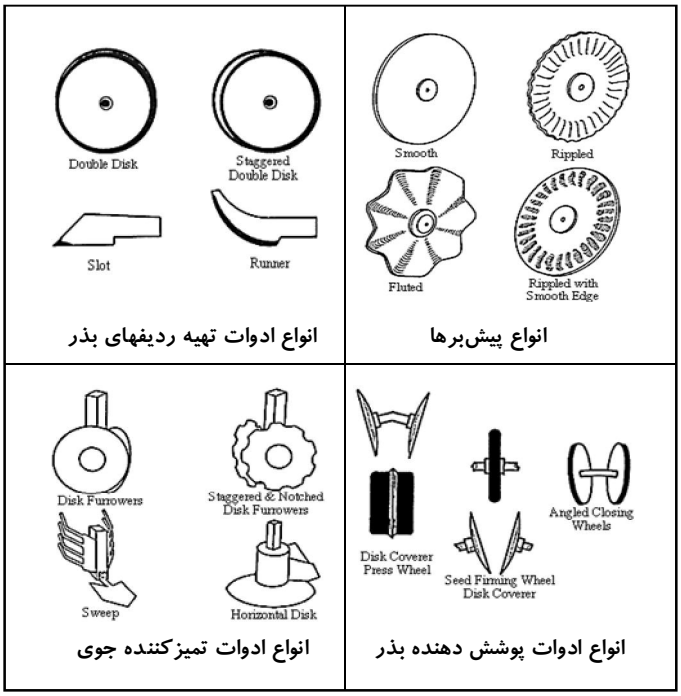
- **بی‌خاک‌ورزی**: در این سیستم زمین شخم نمی‌خورد و کاشت بذر با بذرکارهای ویژه در میان بقایای گیاهی انجام می‌گیرد. این سیستم بسیار وابسته به نهاده‌های شیمیایی، به ویژه سموم شیمیایی است.

جدول ۵-۵- اتلاف خاک و آب در اثر شخم با گاوآهن برگرداندار و سیستم بدون شخم برای تناوب ذرت-لوبیا چشم بلبلی (۲۵).

شیب (درصد)	رواناب (میلی‌متر)		فرسایش خاک (تن در هکتار)	
	بدون شخم	با شخم	بدون شخم	با شخم
۱	۱۱	۵۵	۰	۱
۵	۱۲	۱۵۹	۰/۲	۸
۱۰	۲۰	۵۲	۰/۱	۴
۱۵	۲۱	۹۰	۰/۱	۲۴



شکل ۵-۶- مقایسه بین خاک‌ورزی رایج و انواع خاک‌ورزی حفاظتی (۱۵).



شکل ۵-۷- انواع ادوات مورد استفاده در خاک‌ورزی حفاظتی برای کاشت در میان بقایای گیاهی (۱۵).

۷- تراکم و ساختمان خاک

خاکی که دارای زهکشی خوب بوده، سله نبندد و به سرعت آب را به درون خود بکشد دارای ورز[1] خوبی است. "ورز" خاک وضعیت فیزیکی خاک در رابطه با سهولت خاک‌ورزی، کیفیت بستر کاشت، سبز شدن آسان گیاهچه و نفوذ عمیق ریشه است (۵۳). در حقیقت، ورز خوب در خاک وابسته به خاکدانه‌سازی و ساختمان مناسب در خاک است.

عملیات زراعی را می‌توان در جهت حفظ و بهبود خاکدانه‌های خاک هدایت نمود. بدین ترتیب که این عملیات خاکدانه‌ها را پس از تشکیل شدن، از طریق به حداقل رساندن عواملی که باعث تخریب و نابودی خاکدانه‌سازی می‌شوند، حفظ و نگهداری نمایند. برخی از این عوامل عبارتند از:

- عاری بودن سطح خاک از پوشش که آن را در مقابل اثرات قطرات باران آسیب‌پذیر می‌سازد.

[1] Tilth

- خارج ساختن ماده آلی از مزرعه به هنگام برداشت محصول و فراهم نکردن آن برای خاک
- خاک‌ورزی بیش از حد
- عملیات شخم و شیار به هنگامی که خاک بیش از حد خیس یا خشک باشد
- استفاده بیش از حد از کود نیتروژن
- افزایش بیش از حد سدیم در خاک از طریق آب آبیاری یا کودهای حاوی سدیم

"ساختمان خاک" ترتیب و چگونگی قرار گرفتن فیزیکی ذرات معدنی جامد خاک در یک توده خاک تعریف شده است (۵۳). فواید ساختمان خوب خاک عبارتند از:

- نفوذ آسان ریشه گیاهان
- تهویه مطلوب خاک
- نفوذپذیری مطلوب خاک
- فعالیت مطلوب جانداران خاک

راهکارهای بهبود ساختمان خاک عبارتند از:

- افزودن ماده آلی به شکل کود دامی، کمپوست، مالچ و غیره
- افزایش و تقویت فعالیت جانداران خاک
- محافظت از سطح خاک توسط مالچ یا پوشش گیاهی

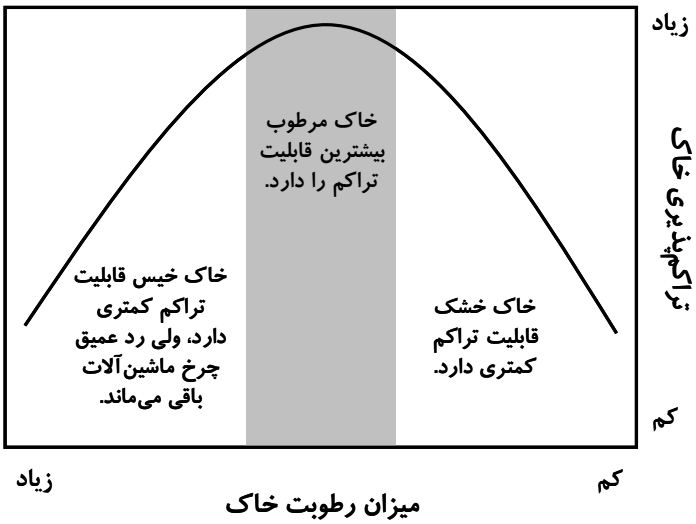
عملیاتی که باعث تخریب ساختمان خاک می‌شوند عبارتند از:

- خاک‌ورزی در شرایط رطوبت زیاد خاک که باعث تراکم خاک می‌شود.
- تعداد دفعات زیاد شخم‌زنی خاک باعث کاهش میزان ماده آلی خاک می‌شود.
- خاک‌ورزی مکانیزه و فشرده خاک باعث از بین رفتن خاکدانه‌ها می‌شود.

در فصل سوم (بخش ۵) علل عمده ایجاد تراکم خاک عنوان گردید. لازم به ذکر است که قطعات بزرگ زمین در مزرعه نیز می‌تواند به ایجاد تراکم خاک کمک نماید. در قطعات بزرگ شرایط خاک متغیرتر بوده و لذا، ممکن است قسمتی از زمین خشک و برای شخم آماده و قسمتی دیگر خیلی مرطوب و برای شخم آماده نباشد. در قطعات کوچکتر زمین، احتمالاً خاک از یکنواختی بیشتری برخوردار بوده و در زمان شخم شرایط کل قطعه نسبتاً یکسان خواهد بود. توصیه می‌گردد که در قطعه‌بندی زمین به اندازه‌های مختلف، شرایط و نوع خاک حتماً در نظر

گرفته شود. این امر نه تنها در مورد تراکم خاک، بلکه به بهبود مدیریت آبیاری، کاشت و مدیریت تغذیه محصول نیز کمک مؤثری می‌نماید.

رطوبت خاک عامل کلیدی در احتمال ایجاد تراکم خاک می‌باشد. در شکل ۵-۸ رابطه بین میزان رطوبت خاک و قابلیت متراکم شدن خاک نشان داده شده است. خاک‌های خشک، به علت اصطکاک زیاد بین ذرات خاک، به راحتی متراکم نمی‌شوند. آب مانند یک روان‌کننده عمل کرده و اصطکاک بین ذرات خاک را کاهش می‌دهد، و در نتیجه، خاک را برای متراکم شدن مستعدتر می‌سازد. در شرایط اشباع و نزدیک به اشباع، اکثریت خلل و فرج خاک از آب پر می‌باشند. آب متراکم نمی‌شود و از این رو، آب بین ذرات خاک مقداری از فشار وارده بر خاک را به خود گرفته و در مقابل تراکم مقاومت می‌نماید. به همین دلیل است که پس از یک حد معین از رطوبت، قابلیت تراکم‌پذیری خاک کاهش می‌یابد. (شکل ۵-۸). هرچند در شرایط رطوبت بسیار زیاد، خاک به راحتی متراکم نمی‌گردد، ولیکن، در اثر فشار وارده توسط چرخ‌ها خاک به کنار زده می‌شود و رد عمیقی از چرخها در زمین باقی ماند، که باعث اختلال در روند کارهای بعدی خواهد شد.



شکل ۵-۸- رابطه بین میزان رطوبت و قابلیت تراکم‌پذیری خاک (۵۳).

خاک‌ورزی در زمان شرایط نامناسب رطوبت خاک باعث ایجاد تراکم و تخریب ساختمان خاک می‌گردد. با استفاده از یک آزمایش ساده می‌توان زمان خاک‌ورزی جهت پیشگیری از تراکم خاک را تعیین نمود (۷۶).

۱- مقداری از خاک را در کف دست ریخته و با ورز دادن آن را به شکل یک فتیله ۳ میلی‌متری (مانند یک کرم خاکی) در آورید (شکل ۵-۹).

۲- اگر فتیله به راحتی ساخته شد، خاک بیش از حد خیس بوده و انجام خاک‌ورزی باعث تراکم خاک خواهد شد.

۳- اگر یک فتیله نسبتاً شکننده ساخته شد، رطوبت خاک به اندازه‌ای است که تردد ماشین آلات در آن بدون خطر تراکم امکان‌پذیر است.

۴- اگر فتیله به طور کلی ساخته نمی‌شود، خاک بیش از حد خشک است.

این آزمایش باید حتماً در چند نقطه مزرعه و در طول عمق مورد نظر برای خاک‌ورزی انجام گیرد تا نتایج از اطمینان و اعتبار بیشتری برخوردار گردد.

شکل ۵-۹- آزمایش مزرعه‌ای خاک برای تعیین زمان مناسب برای خاک‌ورزی.

۸- نظام‌های کاشت و بهره‌برداری از مزرعه

نظام‌های کاشت و بهره‌برداری پایدار از زمین از مؤلفه‌های مهم در مدیریت پایدار خاک، و در راستای اهداف کشاورزی پایدار می‌باشند. طراحی، اجرا و مدیریت سیستم‌های کاشت در کاهش اثرات تخریبی فرسایش، افزایش میزان ماده آلی خاک و بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بسیار مؤثر هستند.

۸-۱- تناوب زراعی[1]

توالی کاشت گیاهان مختلف برای یک یا چند سال بر اساس نظم و ترتیب خاص در یک زمین ثابت را "تناوب زراعی" می‌گویند. مهمترین هدف اجرای تناوب زراعی، افزایش تولید محصولات زراعی از طریق بهبود سلامت و کیفیت خاک است. پیامدهای تک کشتی (کشت تک محصولی) به مدت چند سال در یک مزرعه عبارت است از:

- افت عملکرد یا افزایش مصرف کود برای دستیابی به همان عملکرد
- تخلیه خاک از برخی عناصر غذایی و در نتیجه، فقر غذایی خاک
- افزایش امراض و آفات خاکزی و غیرخاکزی
- افزایش علف‌های هرز

فواید *تناوب زراعی* عبارتند از:

- کاهش احتمال تخلیه خاک از عناصر غذایی، زیرا هر گیاه نیاز خاص خود را دارد.
- کنترل آفات و امراض
- کنترل علف‌های هرز
- حفظ و نگهداری ماده آلی خاک و حتی افزایش آن
- استفاده بهینه از منابع آب آبیاری

قرار دادن آیش در برنامه تناوب زراعی توصیه نمی‌گردد و تنها در مواقعی که بحران کمبود آب بروز نماید، به ناچار می‌توان از آیش استفاده کرد. تناوب زراعی هر منطقه باید بر اساس شرایط آب و هوایی، وضعیت سلامت خاک، منابع آب آبیاری و بازده اقتصادی محصولات آن منطقه برنامه‌ریزی و اجرا گردد.

[1] Crop rotation

همچنین، باید گیاهانی که نسبت به ساختمان خاک حساسیت بیشتری دارند در ابتدای تناوب، و گیاهان با حساسیت کمتر، در انتهای برنامه تناوبی قرارگیرند (جدول ۵-۶). در مناطق خشک و نیمه خشک، توصیه شده است که گیاهان لگومینه حبوبات و دانه‌های روغنی (مانند سویا و لوبیا) در تناوب زراعی، قبل از گندم پاییزه قرار نگیرد و در عوض از گیاهان لگومینه علوفه‌ای یا کود سبز (مانند شبدر قرمز) استفاده شود. همچنین، هیچگاه دو گیاه خانواده لگوم (مانند یونجه و شبدر) را به علت تثبیت نیتروژن، نباید پشت سر هم کاشت. در نظر گرفتن تناسب ۵۰ درصد غلات، ۲۵ درصد علوفه یا حبوبات و ۲۵ درصد گیاهان وجینی دیگر به عنوان یک تناوب زراعی مناسب توصیه شده است (۳۰).

جدول ۵-۶- حساسیت برخی از گیاهان زراعی نسبت به ساختمان خاک (۳۰).

حساسیت زیاد	حساسیت متوسط	مقاوم
سیب زمینی	ذرت	گلرنگ
چغندر قند	توتون	کلزا
پنبه	بادام زمینی	حبوبات
آفتابگردان		غلات
سبزیجات و محصولات جالیزی		

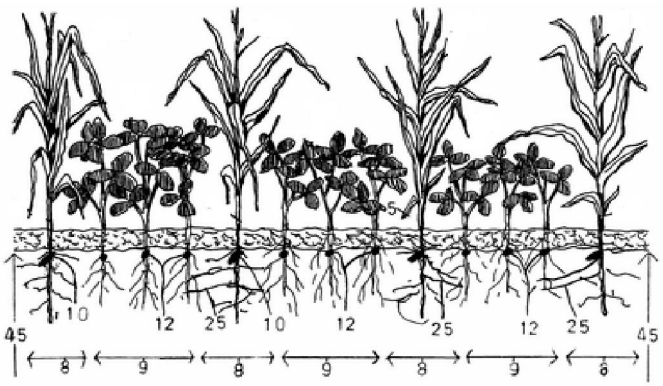
۸-۲- زراعت متوالی[1] یا کشت و کارهای متوالی

"زراعت متوالی" نمونه‌ای از سیستم‌های چند کشتی است که در آن دو یا چند محصول زراعی به توالی در یک زمین و در یک سال کشت می‌گردند (۳۰)، مانند کشت کلزا پس از برداشت برنج. محصول بعدی پس از برداشت محصول قبلی کاشته می‌شود. در این سیستم، کشاورز در هر زمان تنها یک محصول را در یک زمین مدیریت می‌نماید. همچنین، رقابت بین گونه‌ها که در کشت توأم یا مخلوط وجود دارد، در زراعت متوالی وجود ندارد.

[1] Sequential cropping

۸-۳- کشت مخلوط[1]

"کشت مخلوط" کاشت دو یا چند محصول در یک مزرعه و در یک زمان می‌باشد (شکل ۵-۱۰). در صورتی که گیاهان مناسبی انتخاب شوند، *کشت مخلوط* می‌تواند منجر به عملکرد کل بیشتر در سطح گردد. در حال حاضر، چند کشتی بیشتر در سواحل دریای خزر و خوزستان انجام می‌گیرد. در این نواحی، چند کشتی شامل غلات زمستانه با حبوبات، گوجه فرنگی، هندوانه یا برنج، و یا حبوبات پاییزه با محصولاتی مانند ذرت و پنبه است.



شکل ۵-۱۰- شماتیک کلی سیستم زراعی کشت مخلوط.

فواید کشت مخلوط عبارتند از:

- عملکرد کل بیشتر در واحد سطح، به علت بهره‌برداری مطلوب از فضا (داخل و بیرون خاک) و تأثیرات سودمند متقابل بین محصولات کشت شده
- حفاظت خاک در مقابل فرسایش‌های آبی و بادی و کاهش فرسایش خاک
- کاهش آفات و بیماری‌ها
- بهبود حاصلخیزی و وضعیت تغذیه خاک، به ویژه با استفاده از محصولات لگومینه
- کنترل علف‌های هرز

[1] Intercropping

- کاهش خطرات احتمالی: کاهش صدمات و افت عملکرد کمتر در مواقع شیوع بیماری، حمله آفات، و یا حوادث غیرمترقبه و در نتیجه، کاهش مخاطرات اقتصادی
- استفاده بهینه از منابع: به ویژه برای کشاورزانی که زمین محدودی را در اختیار داشته و از نیروی کار خانواده برای کشت و کار استفاده می‌گردد. برای مثال، در کشت حبوبات در میان غلات یا پنبه، فقط یک بار عملیات آماده‌سازی زمین انجام می‌گیرد.
- افزایش سود اقتصادی: با بهره‌برداری بهینه از منابع و کاهش خطرات احتمالی، و افزایش کیفیت و عملکرد محصولات تولیدی، سود اقتصادی بیشتری حاصل می‌گردد.
- استفاده بهینه از آب موجود در خاک: در سیستم‌های کشت مخلوط از منابع هوا و آب به طور مؤثرتری استفاده می‌گردد. آبی که از دسترس یک محصول خارج می‌شود (نفوذ عمقی)، می‌تواند توسط محصول دیگری که دارای ریشه‌های عمیق‌تر است، مورد استفاده قرارگیرد. بدین ترتیب، عملاً اتلاف آب کاهش می‌یابد.
- محافظت در مقابل باد و سرما
- حفاظت فیزیکی: در این سیستم، ممکن است یک گیاه به عنوان قیّم گیاه دیگر عمل نماید، مانند کشت مخلوط ذرت و لوبیای رونده.

هرچند کشت مخلوط دارای محاسن بسیار ارزنده‌ای است، ولیکن، در اجرای آن نکات مهمی که بیشتر جنبه مدیریتی دارند، باید در نظر گرفته شوند.

- رقابت بین گونه‌ها: در صورت عدم اجرای مناسب و عدم انتخاب گیاهان مناسب بر اساس اصول، رقابت درون گونه‌ای برای نور، عناصر غذایی و آب باعث کاهش عملکرد می‌گردد.
- محدودیت استفاده از ماشین آلات کشاورزی: در مزارع کوچک و غیرمکانیزه مشکل چندانی نیست.
- اثرات احتمالی آللوپاتی (دگرآزاری): ترشحات ریشه‌ای می‌تواند باعث آزار و ایجاد سمیت (آللوپاتی) بر گونه مجاور گردد. لذا، در انتخاب گونه‌های مناسب این مسئله باید مورد نظر قرار گیرد.

- تفاوت نیازهای غذایی و سموم شیمیایی برای مبارزه با آفات و بیماری‌ها
- مدیریت مزرعه: در کشت مخلوط مهارت‌های مدیریتی بیشتری مورد نیاز است، زیرا علاوه بر روش‌های کشت و کار، تولیدکننده باید از روابط متقابل بین گیاهان مختلف نیز آگاهی داشته باشد. بسته به شرایط اقلیم و وضعیت منطقه، روشهای مختلفی در اجرای سیستم کشت مخلوط اجرا می‌گردد. در ادامه به معرفی انواع آن پرداخته می‌شود.

۸-۳-۱- چند کشتی همزمان

در این سیستم، بذور مختلف محصولات، تقریباً همزمان در یک زمین و در یک سال زراعی کشت می‌گردد (۶۷). تاریخ کاشت و برداشت محصولات الزاماً یکسان نیست، ولیکن، گیاهان کاشته شده در اکثر فصل رشد با یکدیگر همزمان هستند. بنابراین، در طی این فصل رشد مشترک، بین محصولات رقابت وجود دارد، و کشاورز در یک زمان بیش از یک محصول را مدیریت می‌نماید. *چند کشتی همزمان* از حیث روش اجرا به سه دسته تقسیم شده است.

۱- **کشت درهم**: دو یا چند محصول در یک قطعه زمین، به طور همزمان، و به صورت دستپاش (غیرردیفی) کاشته می‌شوند. بذر گیاهان را می‌توان قبل از کاشت با یکدیگر مخلوط، و سپس به صورت دستپاش در مزرعه کشت کرد، مانند کاشت غلات با یونجه و یا شبدر. این روش بیشتر برای ایجاد و یا تقویت مرتع و مرغزار و یا تولید علوفه برای چرا کاربرد دارد. با کاشت مخلوطی از چند گیاه، کیفیت و عملکرد علوفه بهبود می‌یابد.

۲- **کشت توأم یا ردیفی مخلوط**: در این شیوه، حداقل یکی از گیاهان در ردیف‌های منظم و مشخصی کاشته شده، و گیاه یا گیاهان دیگر ممکن است به صورت ردیفی و یا به طور تصادفی با گیاه اول به طور همزمان کاشته شوند.

۳- **کشت مخلوط نواری**: هر یک از گیاهان در چند ردیف (به صورت نوارهای موازی) و همزمان در یک زمین کاشته می‌شوند. عرض نوارها طوری انتخاب می‌گردد که استفاده از ماشین آلات کاشت و برداشت با سهولت انجام گیرد، و محصولات به اندازه کافی رشد و گسترش یابند. در برخی از کشورها سویا و گندم را بدین نحو کشت می‌کنند. در سال بعد، نوارهایی

که در سال قبلی زیر کشت سویا بود را گندم، و نوارهای سال قبل گندم را به سویا اختصاص می‌دهند.

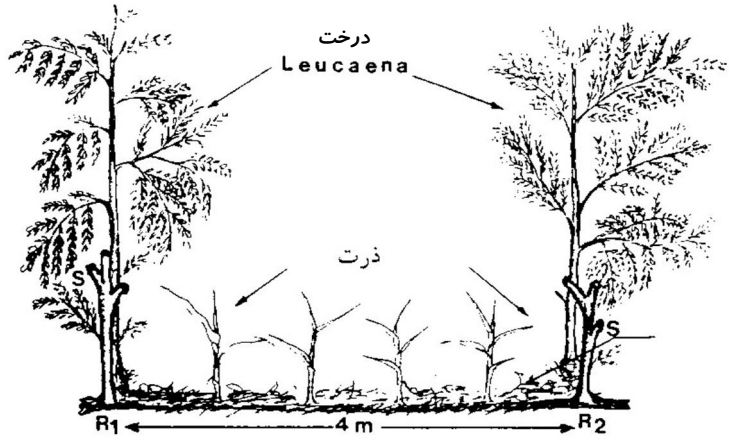
۸-۳-۲- کشت توأم تأخیری[1]

در این سیستم بذرهای محصولات مختلف به صورت متوالی در یک سال زراعی و در یک قطعه زمین کشت می‌شوند، ولیکن، بذر هر محصول پیش از برداشت محصول قبلی کاشت می‌گردد (۶۸). معمولاً زمان کاشت محصول دوم یا سوم پس از گلدهی محصول قبلی است. در صورتی که کاشت محصول دوم یا سوم قبل از گلدهی محصول قبلی انجام‌گیرد، کشت توأم یا ردیفی مخلوط محسوب خواهد شد.

۸-۳-۳- زراعت راهرویی[2]

نوع دیگری از کشت مخلوط یا توأم ردیفی و یکی از سیستم‌های جنگل‌زراعی است. "زراعت راهرویی" نوعی از زراعت مبتنی بر حفاظت است که در آن محصولات زراعی در راهروهایی که توسط درختان یا درختچه‌ها شکل گرفته، به منظور تسریع در بازسازی حاصلخیزی خاک، بهبود باروری (بازدهی) خاک و حفاظت از خاک، کشت و تولید می‌گردد (شکل ۵-۱۱). این درختان با جذب عناصر غذایی باعث حاصلخیزی خاک در دوره آیش شده و ماده آلی خاک را افزایش می‌دهند. این درختان و درختچه‌ها را می‌توان از میان گونه‌های درختی علوفه‌ای و یا درختان بقولات (تثبیت‌کننده نیتروژن) انتخاب کرد.این روش در مناطق دیمکاری نواحی استوایی و نیمه استوایی دنیا رایج می‌باشد.

[1] Relay Intercropping
[2] Alley cropping



شکل ۵-۱۱- نمونه‌ای از زراعت راهرویی یا دالانی که در آن ذرت بین دو ردیف (R1 و R2) از درخت که با فاصله ۴ متر از یکدیگر کاشته شده‌اند، کشت شده است. از قسمتهای هرس شده به عنوان مالچ برای ذرت و یا سوخت استفاده می‌شود.

۸-۴- جنگل‌زراعی[1]

"جنگل‌زراعی" فناوری‌ها و نظام‌های بهره‌برداری از زمین است که در آن گیاهان چند ساله چوبی (درختان) عمداً با گیاهان علفی، محصولات زراعی و یا حیوانات در یک زمین کشت می‌گردند. برخلاف جنگل‌کاری رایج، برداشت چوب در جنگل‌زراعی به طور معمول انجام می‌گیرد. کشاورزان می‌توانند جنگل‌زراعی را در اراضی کوچک نیز انجام دهند، که در این صورت فرآورده‌های آن به درآمد مزرعه و بهره‌برداری مؤثر از زمین‌هایی که برای محصولات زراعی استفاده نمی‌شوند، کمک می‌نماید. با مدیریت مطلوب در جنگل‌زراعی، حاصلخیزی خاک حفظ و در بسیاری از موارد بهبود می‌یابد. در طراحی سیستم‌های جنگل‌زراعی، ریشه‌های درختان باید در لایه‌های پایین‌تر از ریشه‌های محصولات زراعی قرار داشته باشند. از موارد کلیدی در سیستم‌های پایدار جنگل‌زراعی استفاده از درختان تثبیت‌کننده نیتروژن است. بیش از ۶۰۰ گونه درختی با توانایی تثبیت نیتروژن شناسایی شده است. بسیاری از این گونه‌ها کاربرد چند منظوره داشته و بیش از یک فرآورده اقتصادی تولید می‌نمایند (مانند علوفه، میوه، چوب).

[1] Agroforestry

۹- خاک‌های مقاوم به کم‌آبی، خشکی و خشکسالی

در چند سال اخیر بروز رخدادهای خشکسالی در کشور، افزایش داشته است. همچنین، در پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم آینده کشور، احتمال بروز این رخداد افزایش خواهد یافت. به طور کلی، خشکی و خشکسالی، و همچنین، کمبود منابع آب از ویژگی‌های مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. با توجه به مطالب فوق، استفاده بهینه و کارآمد از منابع آب از اهمیتی حیاتی در این مناطق، به ویژه ایران، برخوردار است.

خاک از جمله عواملی است که تأثیرات مهمی بر کارآیی کاربرد آب دارد. از آنجا که خاک نقش مهمی را در نگهداری و در دسترس قرار دادن آب برای گیاه ایفا می‌نماید، مدیریت مطلوب و پایدار خاک نیز می‌تواند کمک مؤثری به مدیریت آب در مزرعه و کاهش اثرات سوء خشکسالی بنماید. راهکارهای مدیریتی مناسبی وجود دارند که می‌توانند قابلیت و توانایی خاک را در حفظ و نگهداری آب برای محصول افزایش دهند، و به عبارت دیگر خاک را در مقابل خشکی و خشکسالی مقاومتر سازند. اینگونه خاک‌ها اصطلاحاً *خاک‌های مقاوم به خشکی*[1] نامیده شده‌اند (۷۹). برای آنکه خاک‌ها مقاوم به خشکی شوند، مدیریت پایدار خاک باید سه عامل زیر را در نظر گیرد:

۱- دریافت درصد زیادی از بارندگی از طریق افزایش نفوذپذیری خاک

۲- حداکثر ذخیره‌سازی آب در خاک برای استفاده در زمانهای بعدی از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب

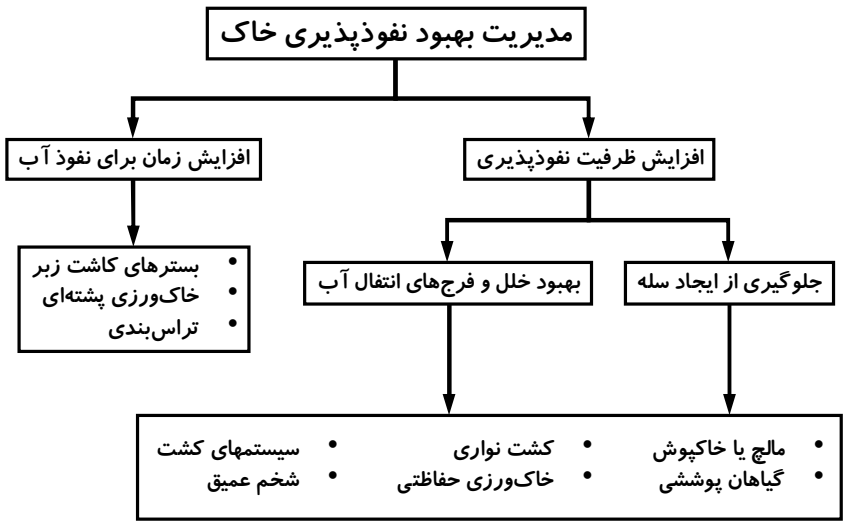
۳- بازیابی مؤثر آب ذخیره شده در خاک از طریق بهبود ریشه‌دوانی گیاه

با توجه به موارد فوق، مدیریت خاک برای مقاوم‌سازی آن به خشکسالی و افزایش کارآیی مصرف آب، باید در جهت بهبود نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب خاک و ایجاد شرایط مناسب در خاک برای ریشه‌دوانی هر چه گسترده‌تر و عمیق‌تر گیاه باشد. بسیاری از خصوصیات خاک و مدیریت آنها تأثیرات اساسی بر مدیریت آب دارد، مانند بافت خاک، خاکدانه‌سازی، میزان ماده آلی خاک و پوشش سطح خاک. خاک‌هایی که دارای ساختمان خوب و خاکدانه‌های پایدار در آب می‌باشند، دارای نفوذپذیری بهتری نیز هستند، که این خود باعث نفوذ بیشتر

[1] Drought resistant soils

و سریعتر آب (باران، آبیاری) به درون خاک و کاهش رواناب، و در نتیجه، کاهش فرسایش می‌شود. همچنین، این ویژگی‌های خاک برتهویه خاک، جوانه‌زنی و ریشه‌دوانی گیاه اثرات مهمی دارند. در شکل ۵-۱۲ راهکارهای افزایش نفوذپذیری خاک نشان داده شده است.

ظرفیت نگهداری آب تحت تأثیر بافت خاک قرار دارد (جدول ۵-۷). به طور کلی، با افزایش میزان رس، به دلیل تخلخل بالای خاک‌های رسی، میزان کل رطوبت خاک نیز افزایش می‌یابد. ولیکن، به دلیل اینکه اندازه خلل و فرج خاک‌های رسی ریزتر بوده و با نیروی بیشتری آب را در خود نگه می‌دارند، میزان آب قابل دسترس آنها کمتر از خاک‌های متوسط بافت (مانند لوم) است (جدول ۵-۷). هر چند ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های شنی به دلیل تخلخل کمتر نسبت به خاک‌های دیگر بسیار پائین است، ولی اکثر آن قابل دسترس گیاه می‌باشد.



شکل ۵-۱۲- راهکارهای بهبود نفوذپذیری خاک جهت مقاوم‌سازی خاک‌ها نسبت به شرایط کم‌آبی و خشکسالی.

تبخیر آب در خاک‌های شنی سریعتر از خاک‌های رسی صورت می‌گیرد، و در نتیجه، گیاه در این خاک‌ها علائم تنش خشکی (کم آبی) را زودتر نشان می‌دهد. بافت خاک از خواص ذاتی خاک می‌باشد و تغییر آن در اکثر مواقع اقتصادی نیست. در نتیجه، میزان ظرفیت نگهداری آب که وابسته به بافت می‌باشد، نیز تغییری نمی‌کند. ولی، با افزودن مواد آلی به خاک به مقدار قابل توجهی می‌توان ظرفیت نگهداری آب و ساختمان خاک را بهبود بخشید. طبق نتایج پژوهش‌های انجام یافته، به ازای هر ۱ درصد ماده آلی، خاک می‌تواند ۱۵۴۰۰۰ لیتر (۱۵۴ متر مکعب) در هکتار در ۳۰ سانتی‌متر خاک آب قابل استفاده را نگه دارد (۷۹). بدین ترتیب، عوامل سه گانه‌ای که در مدیریت خاک‌های مقاوم به خشکی ذکر گردید، نیز بهبود خواهند یافت و خاک در مقابل اثرات خشکسالی آسیب‌پذیری کمتری را خواهد داشت.

پوشش سطح خاک توسط بقایای گیاهی و انواع مالچ‌ها (خاکپوش) خاکدانه‌سازی و نفوذپذیری را بهبود بخشیده، ذخیره رطوبت در خاک را افزایش و تبخیر آن را کاهش داده و فرسایش خاک را کاهش می‌دهد. استفاده از مالچ پوکه معدنی (ارتفاع ۱۰ سانتیمتر) بر روی خاک ۶۵٪ تبخیر رطوبت از خاک را در شرایط آب و هوایی شهر داراب کاهش داد (۱۴). این در حالی بود که قطر ذرات پوکه معدنی بین ۱/۵-۱ سانتیمتر که بسیار درشت می‌باشد، بوده است.

خاک‌ورزی نیز تأثیر به سزایی در ریشه‌دوانی گیاه و شرایط فیزیکی خاک دارد. نوع و زمان خاک‌ورزی تعیین‌کننده اثرات مثبت یا منفی خاک‌ورزی بر سلامت و کیفیت خاک است. به طور کلی، بقایای گیاهی فراوان در سطح خاک، خاکدانه‌های فراوان و خاک‌های فعال از حیث بیولوژیکی کلیدهای مقاوم‌سازی خاک به شرایط کم آبی و خشکسالی است. کلیه این ویژگی‌ها با روش‌های کم خاک‌ورزی بهبود می‌یابند. مقادیر بالای بقایای گیاهی در سطح خاک، افزودن مواد آلی به خاک و به حداقل رساندن یا حذف خاک‌ورزی ذخیره‌سازی آب در خاک را به حداکثر می‌رساند.

جدول ۵-۷- اثر بافت خاک بر رطوبت خاک (۷۹).

بافت	میزان کل رطوبت	آب قابل دسترس	درصد آب قابل دسترس از کل رطوبت
	سانتی‌متر آب در هر ۳۰ سانتی‌متر خاک		
شن	۳/۰	۲/۳	۷۶/۷
لوم شنی	۴/۸	۳/۳	۶۸/۸
لوم شنی ریز	۶/۳	۴/۳	۶۸/۳
لوم	۸/۰	۵/۰	۶۲/۵
لوم سیلتی	۸/۸	۵/۳	۶۰/۲
لوم رسی شنی	۹/۳	۵/۳	۵۶/۹
لوم رسی	۹/۵	۵/۰	۵۲/۶
لوم رسی سیلتی	۹/۵	۴/۳	۴۵/۳
رس	۹/۸	۳/۸	۳۸/۸

فصل ششم: مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک

۱- بازدهی و حاصلخیزی خاک

یکی از ویژگی‌های قابل مدیریت در خاک‌های زراعی، *قابلیت بازدهی* یا *باروری خاک*[1] می‌باشد. "قابلیت بازدهی خاک" توانایی خاک برای تولید گیاه (غذایی، صنعتی، علوفه‌ای، دارویی و غیره) است. کلیه خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بر بازدهی خاک اثرگذار می‌باشند. بنابراین، *بازدهی* یا *باروری خاک* صرفاً فراوانی و یا کمبود عناصر غذایی نیست، بلکه تا چه حد محیط برای رشد مطلوب گیاه از نظر خصوصیات زیر مناسب و آماده است:

- از نظر ساختمان
- از نظر نگهداری رطوبت
- از نظر نگهداری مواد غذایی و فراهم کردن آن
- از نظر بهبود توسعه و رشد ریشه

برای آنکه گیاهان به طور مطلوب رشد کنند، خاک باید موارد زیر را برای آنها فراهم سازد. لذا، اگر برخی از شرایط در خاک مناسب نباشد، باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه خواهد شد (مانند شوری، ماندابی، تراکم، کمبود آب و خشکی و کمبود مواد غذایی).

- شرایط مناسب برای رشد ریشه
- مقدار مناسب آب
- مقدار مناسب عناصر غذایی
- تهویه مناسب

عوامل مؤثر بر *قابلیت بازدهی* یا *باروری خاک* عبارتند از:

۱- عمق خاک: حجم قابل بهره‌برداری برای ریشه گیاهان
۲- قابلیت دسترسی آب: نگهداری رطوبت برای تأمین مستمر آب
۳- زهکشی: شرایط ماندابی برای اکثر گیاهان نامناسب است.
۴- تهویه: برای رشد مناسب ریشه گیاه و فعالیت مطلوب موجودات خاکزی
۵- pH یا اسیدیته: نه خیلی اسیدی و نه خیلی قلیایی مطلوب است.

---

[1] Soil Productivity

۶- ترکیبات کانی و بافت خاک: تأثیر بر میزان عناصر غذایی که در اثر هوازدگی آزاد می‌شوند، ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و ساختمان خاک
۷- میزان ماده آلی: تأثیر بر آزادسازی عناصر غذایی در اثر تجزیه و فساد ماده آلی، ظرفیت نگهداری عناصر غذایی، نگهداری آب، ساختمان خاک و فعالیت مطلوب موجودات خاکزی
۸- فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک (ریزجانداران): تأثیر بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک، ظرفیت نگهداری آب، ساختمان خاک، تجزیه مواد آلی و سلامت خاک
۹- آلودگی: غلظت‌های بالای نمک‌ها، آفت‌کش‌ها و فلزات سنگین رشد گیاه را محدود می‌کنند.

برخی از عملیات مطلوب مدیریتی برای حفظ و بهبود قابلیت بازدهی خاک عبارت است از:

- حفاظت از خاک در مقابل آفتاب شدید و فرسایش‌های آبی و بادی توسط گیاهان پوششی و مالچ
- تناوب زراعی یا کشت مخلوط برای جلوگیری از تخلیه عناصر غذایی خاک
- خاک‌ورزی مناسب: برای ایجاد ساختمان خوب خاک، بدون ایجاد فرسایش و تراکم
- مدیریت مطلوب عناصر غذایی: استفاده از کود بر اساس نیاز گیاه در مراحل مختلف رشد
- تغذیه مطلوب و حفاظت از ریزجانداران خاک: بهبود و تقویت فعالیت‌های میکروب‌ها و موجودات مفید خاک (مانند کرم خاکی) به وسیله فراهم نمودن ماده آلی

حاصلخیزی خاک[1] یکی از جنبه‌های بازدهی یا باروری خاک است که از اهمیت زیادی نیز برخوردار می‌باشد. طبق تعریف انجمن علوم خاک آمریکا، "حاصلخیزی خاک" توانایی نسبی یک خاک در فراهم نمودن عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه است (۷۸). همچنین، حاصلخیزی خاک یکی از ویژگی‌های کیفی خاک است که آن را قادر می‌سازد تا عناصر غذایی را در مقادیر

[1] Soil Fertility

و تـوازن مناسـب بـرای رشـد گیاهـان یـا محـصولات مـورد نظـر فـراهم نمایـد. دیدگاه‌هـای کـشاورزی رایـج و نظـام‌هـای کـشاورزی پایـدار (ماننـد کـشاورزی ارگانیک) نسبت بـه حاصـلخیزی خـاک، و در نتیجـه مـدیریت آن، بـسیار متفـاوت می‌باشند. دیدگاه کشاورزی رایـج در مـورد حاصـلخیزی خـاک بـه صـورت زیـر می‌باشد:

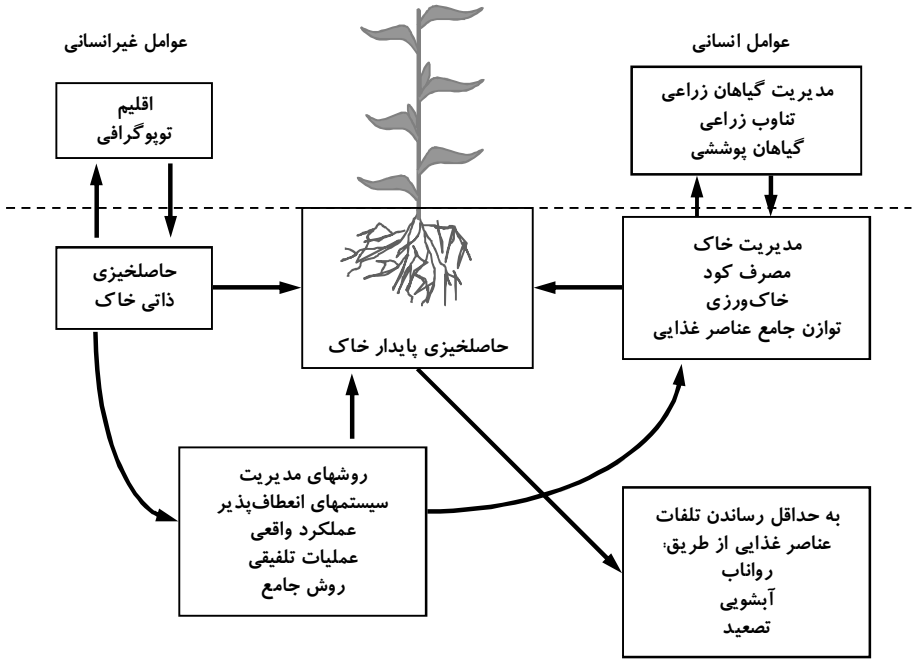
- معیار حاصلخیزی خاک عملکرد محصول است.
- خاک محیطی است که گیاه در آن می‌روید و جایگاهی برای افزودن مواد غذایی گیاه است.
- افزایش عملکرد معیار موفقیت و درست عمل کردن است.

دیدگاه کشاورزی طبیعی یا ارگانیک در مورد حاصلخیزی خاک نیز به صورت زیر بیان شده است:

- تغذیه گیاه یعنی تغذیه خاک
- خاک سطحی مهمترین سرمایه هر مزرعه است.
- فقط خاک حاصلخیز و سالم می‌تواند محصول سالم تولید کند.

۲- مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک

با توجه به تعاریف *مدیریت پایدار خاک* و *حاصلخیزی خاک*، هدف اصلی *مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک*، یا به عبارت دیگر *حاصلخیزی پایدار خاک*، بهبود توانایی نسبی خاک در فراهم نمودن عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه، و همزمان حفاظت از کیفیت و سلامت منابع پایه و محیط زیست و حفظ یا ارتقاء سودمندی اقتصادی مزرعه می‌باشد. *حاصلخیزی پایدار خاک* با استفاده از مفهوم *تعادل جامع* تعریف شده است، که اهداف اصلی آن بررسی عوامل اثرگذار بر خاک و روش‌های مدیریتی برای حفظ قابلیت تولید و بازدهی خاک، بدون ایجاد اثرات نامطلوب محیطی و اقتصادی می‌باشد. در روش *تعادل جامع* برای دستیابی به حاصلخیزی پایدار خاک، آگاهی از عوامل انسانی (قابل کنترل) و غیرانسانی (غیرقابل کنترل) اثرگذار بر قابلیت باروری خاک ضروری است (شکل ۶-۱).

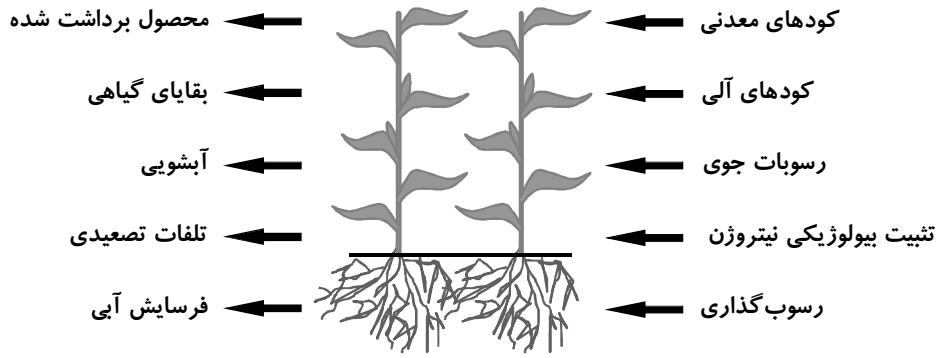


شکل ۶-۱- روش‌های مدیریت برای دستیابی به حاصلخیزی پایدار خاک (۵۱).

عوامل غیرانسانی شامل پنج مؤلفه اساسی تشکیل‌دهنده خاک می‌باشند (مواد مادری، اقلیم، جانداران ریز و درشت، توپوگرافی و زمان). این عوامل با یکدیگر اثرات متقابل داشته و حاصلخیزی ذاتی یا ارثی خاک را تعیین می‌کنند. عوامل انسانی معمولاً قابل کنترل می‌باشند، یا به عبارت دیگر، تحت تأثیر مدیریت و تصمیم‌گیری تولیدکننده می‌باشند. از این رو، نحوه مدیریت و تصمیم‌گیری‌های مربوط به کوددهی، مدیریت آب، خاک‌ورزی و مدیریت گیاه، که جزء عوامل انسانی می‌باشند، تعیین‌کننده کاهش، حفظ یا بهبود وضعیت موجود قابلیت بازدهی یا باروری خاک (حاصلخیزی ذاتی) و پایداری خاک خواهد بود.

دستیابی به حاصلخیزی پایدار خاک مستلزم این است که تجمع بیش از حد عناصر غذایی و آلاینده‌ها، و احتمال آلودگی منابع آبهای سطحی و زیرزمینی انجام نپذیرد. این امر هنگامی تحقق می‌یابد که تعادل جامع بین ورود و خروج عناصر غذایی به صفر برسد (شکل ۶-۲). اگر این موازنه منفی باشد، عناصر غذایی به تدریج از خاک تخلیه شده و قابلیت بازدهی خاک کاهش می‌یابد. چنین

نظام تولیدی در دراز مدت پایدار نخواهد بود. این مسئله در مورد هر یک از عناصر غذایی ضروری گیاه می‌تواند رخ دهد، ولیکن، به دلیل نیاز بیشتر گیاه به عناصر غذایی پرمصرف، احتمال وقوع آن برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم بیشتر از عناصر غذایی دیگر است. لذا، در تولید تجاری محصولات زراعی، برای حفظ حاصلخیزی پایدار خاک الزاماً باید از شکل‌های آلی و یا معدنی عناصر غذایی استفاده و آنها را وارد سیستم خاک کرد. تعادل جامع مثبت هنگامی رخ می‌دهد که افزایش خالص عناصر غذایی وجود داشته باشد. تعادل جامع مثبت بیانگر عدم کارآیی مناسب نظام تولید است. در این صورت، تلفات عناصر غذایی و ورود آنها به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و محیط زیست به وقوع می‌پیوندد. بنابراین، ایجاد تعادل بین اهداف تولید و حفاظت از منابع پایه چالشی مهم در مدیریت حاصلخیزی و قابلیت بازدهی خاک می‌باشد.



شکل ۶-۲- سیستم تعادل جامع عناصر غذایی (۵۱).

۳- مدیریت تلفیقی عناصر غذایی[1] (INM) یا سیستم‌های تلفیقی تغذیه گیاه[2] (IPNS)

این دو عبارت مترادف یکدیگر می‌باشند. "مدیریت تلفیقی عناصر غذایی" نوعی از سیستم تغذیه محصولات کشاورزی است که در آن نیازهای غذایی گیاه از طریق

[1] Integrated Nutrient Management
[2] Integrated Plant Nutrition Systems

کاربرد تلفیقی کودهای معدنی، کودهای آلی (مانند کودهای دامی، کودهای سبز، بقایای گیاهی، پسماندهای قابل بازیافت و غیره) و کودهای زیستی تأمین می‌گردد، به نحوی که تولید محصولات به صورتی مؤثر و سازگار با محیط زیست، افزایش یافته و قابلیت بازدهی خاک برای نسل‌های آینده کاهش نیابد (۵۱ و ۸۲). کاربرد کافی و متعادل کودهای آلی و غیرآلی مؤلفه محوری در INM است. *مدیریت تلفیقی عناصر غذایی* همراه با *عملیات مطلوب زراعی* مانند استفاده از ارقام مناسب، مدیریت مطلوب آب، مدیریت مناسب آفات و تناوب زراعی، انجام می‌گیرد. قابل ذکر است که ترکیب مناسب منابع مختلف عناصر غذایی با نظام کاربری زمین و شرایط اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی محل تغییر می‌یابد.

در کشاورزی رایج سعی در تغذیه مستقیم محصول توسط کودهای شیمیایی با حلالیت بالاست. در کشاورزی ارگانیک (طبیعی)، تغذیه محصول به طور غیرمستقیم توسط تغذیه ریزجانداران خاک با مواد آلی انجام می‌شود. به همین دلیل در این نظام تولید مواد آلی مهمترین مخزن یا منبع عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به همراه تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌ها می‌باشند. محاسن کودهای شیمیایی عبارتند از:

- می تواند باعث افزایش عملکرد زیاد محصول گردد.
- حاوی مقادیر مختلف عناصر غذایی به شکل قابل دسترس برای گیاه است.

معایب و محدودیت‌های کودهای شیمیایی عبارتند از:

- اتلاف توسط آبشویی، رواناب سطحی یا تبخیر (بخار شدن): کودهای نیتروژنه از طرق فوق از بین می‌روند.
- در شرایط نامطلوب یا دشوار، کارآیی آنها به شدت پایین می‌آید (خشکی، شوری، بارندگی زیاد، ...). این بدان معنی است که احتمال اتلاف و در نتیجه آلودگی منابع به شدت افزایش می‌یابد. موارد اول و دوم بر سلامتی انسان و منابع آب نیز اثرگذار هستند.
- مصرف بیش از حد نیتروژن باعث نرم شدن اندام‌های گیاهی شده و آنها را نسبت به امراض و آفات حساس‌تر می‌کند.
- باعث کاهش فعالیت‌های ریزجانداران تثبیت‌کننده نیتروژن می‌گردد.
- مصرف انحصاری N-P-K به تدریج منجر به کاهش میزان عناصر کم مصرف خاک و در نتیجه، کاهش عملکرد می‌گردد.

- افزایش تجزیه مواد آلی خاک و در نتیجه، تخریب تدریجی ساختمان خاک

"کود آلی" فرآورده‌های جانبی حاصل از فرآوری ماده‌های جانوری و گیاهی هستند، که دارای مقدار کافی عناصر غذایی است و ارزش کودی دارد (۱). بنابراین، کودهای آلی منشأ گیاهی و جانوری دارند. دو فرق اساسی بین کودهای آلی و شیمیایی وجود دارد. اول آنکه کودهای آلی حاوی عناصر متعدد غذایی (معمولاً همه عناصر مورد نیاز گیاه) هستند در حالی که کودهای شیمیایی حاوی یک یا تعداد معدودی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشند. دوم آنکه هر چند ممکن است مقدار این عناصر در کودهای آلی کمتر از کودهای شیمیایی باشد، ولی کودهای آلی عناصرغذایی را به تدریج رها و در اختیار گیاه قرار می‌دهند. نتایج مثبت تغذیه خاک توسط مواد آلی عبارت است از:

- عناصر غذایی به صورت متعادل‌تری در دسترس گیاه قرار دارند (ماکرو و میکرو) و در نتیجه، تأثیر مثبت بر سلامت گیاه دارند.
- افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی خاک که باعث بهبود فراهمی عناصر غذایی از منابع شیمیایی و آلی و تجزیه مواد سمی می‌گردد.
- بهبود فعالیت‌های ریزجانداران تثبیت‌کننده نیتروژن در خاک
- بهبود ساختمان خاک و در نتیجه، رشد مطلوب ریشه

۴- کودهای آلی[1]

یکی از برنامه‌های توسعه ۱۴۰۴ کشور، افزایش درصد مواد آلی خاک‌های کشاورزی با اعمال روش‌های مدیریت پایدار و مصرف کودهای آلی تا حد ۱ درصد است. انواع کودهای آلی شامل مواد آلی تجزیه شده از منشأ گیاهی یا حیوانی است، مانند پسماندهای آلی خانگی، انواع کمپوست و ورمی‌کمپوست، ضایعات چوب، ضایعات صنایع کشاورزی و غذایی، جلبک‌ها و دیگر گیاهان آبزی، کودهای آلی تجاری، کود سبز، کودهای حیوانی و کودهای زیستی. کودهای زیستی یا بیولوژیک شامل انواع میکروارگانیسم‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و یا حلال سنگ فسفر می‌باشند.

[1] Organic Fertilizers

کودهای آلی به طور معمول دارای همه عناصر مورد نیاز گیاه می‌باشند. در جدول ۶-۱ ترکیبات غذایی برخی از آنها ارائه شده است. این کودها معمولاً به صورت جامد بوده، ولیکن می‌توان آنها را به صورت مایع نیز تهیه کرد که پس از رقیق کردن، به صورت برگ‌پاشی یا مصرف خاکی از آنها استفاده می‌شود.

جدول ۶-۱- درصد عناصر غذایی در شماری از کودهای آلی (۳۴ و ۷۵).

منبع کود آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	گوگرد	کلر
لجن فاضلاب فعال شده	۶/۰	۲/۲	–	۲/۵	۱/۵	۰/۴	۰/۵
خون خشک شده	۱۳/۰	–	–	۰/۵	–	–	۰/۶
آرد استخوان (خام)	۳/۵	۲۲/۰	–	۳۱/۵	۱/۰	۰/۲	۰/۲
آرد پنبه دانه	۶/۶	۲/۵	۱/۵	۰/۵	۱/۵	۰/۲	–
پسماند ماهی (اسیدی شده)	۵/۷	۳/۰	–	۸/۵	۰/۵	۱/۸	۰/۵
پسماند ماهی (خشک شده)	۹/۵	۶/۰	–	۸/۵	۰/۵	۰/۲	۱/۵
کود زباله خانگی	۲/۵	۱/۵	۱/۰	۴/۵	۰/۵	۰/۴	۱/۳
آرد پوست بادام	۷/۲	۱/۵	۱/۲	۰/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۱
آرد پوست بادام زمینی	۱/۲	۰/۵	۰/۸	–	–	–	–
پیت ماس	۲/۷	–	–	۱/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۱
آرد سویا	۷/۰	۱/۲	۱/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۲	–
کود مایع حیوانی	۷/۰	۱۰/۰	–	۱۵/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۷

۴-۱- کمپوست و ورمی‌کمپوست

بقایای گیاهی بزرگترین منبع مواد آلی هستند. ولی متأسفانه به دلایل مختلف، سوزاندن بقایای گیاهی در کشور بسیار رایج می‌باشد. تنها فایده سوزاندن بقایا از حیث تغذیه این است که خاکستر حاصله حاوی برخی از عناصر غذایی (مانند پتاسیم) و قابل دسترس برای گیاه می‌باشد. برخی از مضرات عدیده این کار عبارتند از:

- رهاسازی مقادیر زیادی کربن، نیتروژن و سولفور به شکل گاز در آتمسفر
- عناصر غذایی خاکستر با همان اولین باران یا آبیاری به راحتی آبشویی می‌شوند.
- کاهش مواد آلی خاک
- از بین رفتن حشرات مفید و ریزجانداران خاک

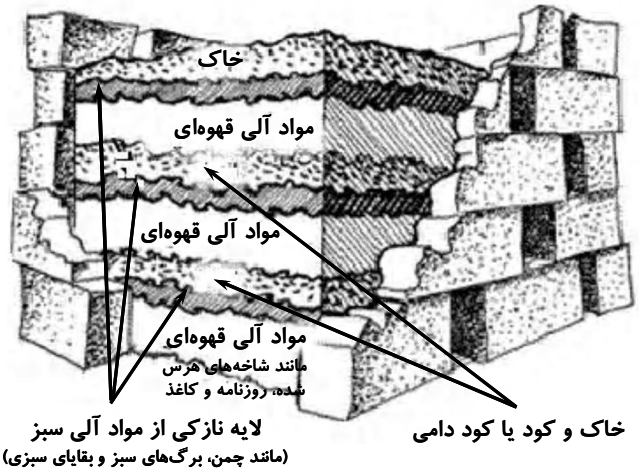
یکی از راهکارهای اقتصادی بهره‌برداری از این منابع و مقادیر بسیار زیاد از انواع دیگر بقایا و پسماندهای گیاهی (روستایی و شهری)، تبدیل آنها به کودهای آلی کمپوست و ورمی‌کمپوست است.

۴-۱-۱- کمپوست[1]

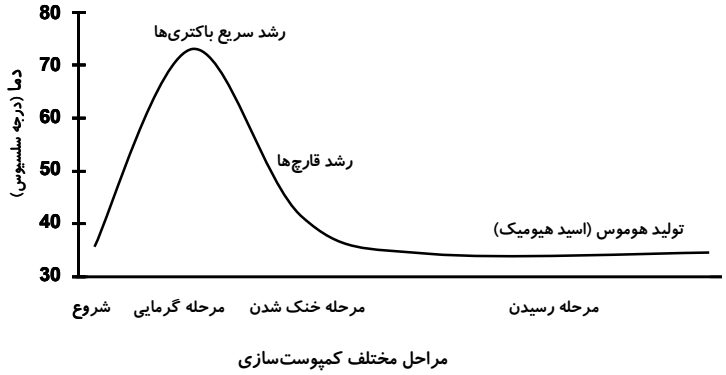
کمپوست سازی به عنوان وسیله‌ای برای جلوگیری و یا کاهش آلودگی زیست محیطی و همچنین، مدیریت و بازیابی ضایعات حاصل از اجتماعات انسانی مورد توجه بسیار قرار دارد. کمپوست سازی به عنوان یک عمل اقتصادی پیشرفته مطرح بوده، و در عین حال فرآیندی ساده و اساسی است که شهروندان معمولی نیز قادر به اجرای آن در بالکن آپارتمان‌های خود می‌باشند. طبق تعریف فرهنگستان علوم ایران (۱)، "کمپوست" پسماندهای آلی یا مخلوطی از پسماندهای آلی و خاک، همراه با و یا بدون کودهای شیمیایی و مواد آهکی است که پس از مخلوط کردن، در محلی انباشته و مرطوب نگهداری می‌شود و معمولاً تجزیه گرمادوستی، تا زمانی که مواد اولیه به طور محسوس تغییر نکرده یا تجزیه نشده، ادامه می‌یابد. به عبارت ساده‌تر، کمپوست فرآیند تجزیه زیستی و پایداری مواد آلی از منشأ گیاهی یا حیوانی به شکل هوموس می‌باشد (شکل ۶-

[1] Compost

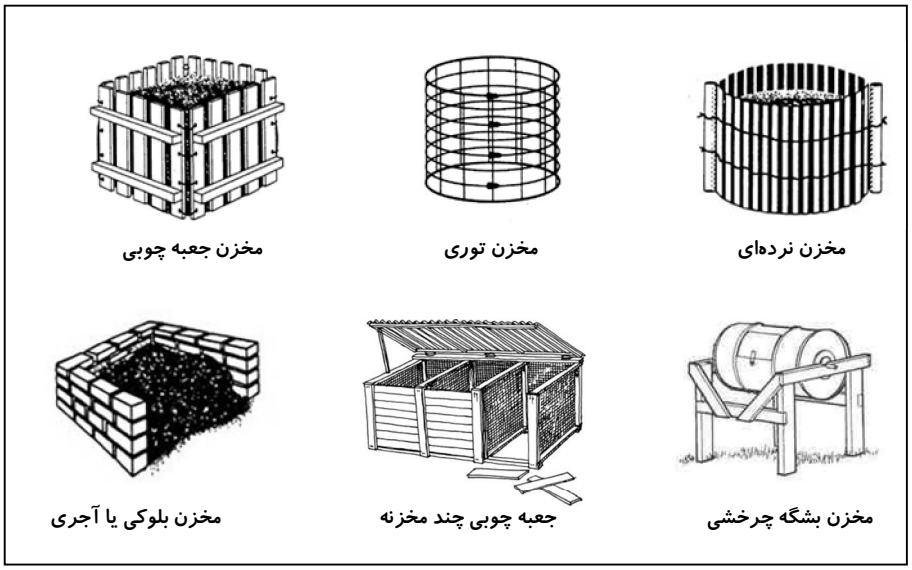
۳). تجزیه مواد آلی همواره به طور طبیعی توسط ریزجانداران انجام می‌گیرد. ولیکن، در کمپوست‌سازی تجزیه مواد آلی با سرعت بیشتری انجام می‌شود، که این امر باعث ایجاد دمای زیاد می‌شود (شکل ۶-۴). درنهایت، کمپوست‌سازی منجر به تولید مواد با کیفیت بهتر می‌گردد که عاری از عوامل بیماری‌زا و بذر گیاهان بوده و به طور مؤثری قابل استفاده در اراضی کشاورزی می‌باشد. در شکل ۶-۵ انواع مختلف مخازن کمپوست‌سازی ارائه شده است. بسیاری از این مخازن قابلیت کاربرد در مزارع کشاورزی و یا مناطق مسکونی شهری و روستایی را دارا می‌باشند.



شکل ۶-۳- لایه‌گذاری مناسب مواد مختلف در پشته مخزن کمپوست‌سازی.



شکل ۶-۴- نمودار حرارتی در مراحل مختلف تولید کمپوست (۱۱).



شکل ۶-۵- انواع مختلف مخازن تولید کمپوست برای کاربرد در مزرعه و یا مناطق شهری.

اهداف کمپوست سازی شامل آلودگی‌زدایی، حذف پاتوژن‌ها یا موجودات مضر، لارو حشرات، پارازیت‌های داخلی، بذرهای علف‌های هرز، کاهش محتوای انرژی قابل استفاده موجودات و کاهش حجم ضایعات می‌باشد. کمپوست حاوی بقایای تخمیر شده زباله‌های شهری و یا ضایعات کشاورزی می‌باشد. کیفیت کمپوست حاصل از زباله‌های شهری و ضایعات کشاورزی تفاوت چشمگیری با یکدیگر دارند. کمپوست حاصل از زباله‌های شهری علاوه بر شوری نسبتاً بالا، معمولاً، دارای مقادیر زیادتری از عناصر کم مصرف (به ویژه آهن و روی) و فلزات سنگین می‌باشند. کمپوست تازه، به دلیل آنکه در حال فعل و انفعالات بیولوژیکی می‌باشد، در هنگام کاشت گیاهان مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. لذا، زمان مناسب برای مصرف آن چند هفته قبل از کاشت محصول در مزرعه یا باغ می‌باشد. ولیکن، کمپوست کامل یا *هوموس* در تمام شرایط، چه قبل و چه هنگام کاشت، قابل استفاده می‌باشد. محدوده ترکیب عناصر اصلی در برخی از ضایعات مناسب برای کمپوست سازی در جدول ۶-۲ نشان داده شده است.

جدول ۶-۲- غلظت عناصر غذایی انتخابی در بعضی از مواد قبل از کمپوست کردن (۱۱).

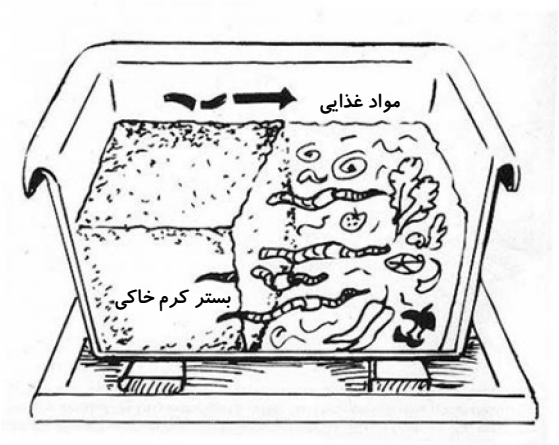
ماده	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	نسبت C:N
	درصد ماده خشک					
کود مرغی	۴/۵	۰/۸	۰/۷	۱/۸	۰/۴	۷
کود دامی	۱/۵	۰/۵	۰/۶	۱/۰	۰/۳	۱۸
علوفه	۱/۲	۱/۱	۲/۰	<۰/۱	۰/۱	۲۷
یونجه	۲/۴	۰/۲	۱/۸	۱/۴	۳/۹	۱۵
ساقه یولاف	۰/۶	۰/۱	۱/۲	۰/۶	۰/۱	۹۰
سبوس برنج	۰/۶	۰/۱	۰/۷	۰/۴	۰/۱	۸۵
ضایعات فرآوری ماهی	۹/۰	۷/۰	۸/۰	۱/۴	۰/۱	۴
خاک اره	۰/۱	<۰/۱	۰/۱	۰/۱	<۰/۱	۲۲۵
ضایعات فرآوری نشاسته	۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	۳۱۲
ضایعات صنعت کاغذسازی	۰/۹	۰/۱	<۰/۱	۶/۹	۰/۳	۶۱

۴-۱-۲- ورمی‌کمپوست[1]

"ورمی‌کمپوست" کمپوست‌سازی بر اساس فعالیت کرم‌های خاکی است، و دارای مرحله گرمایی نمی‌باشد. تولید کمپوست از این طریق، سریعتر از کمپوست‌سازی معمولی است. ورمی‌کمپوست یک کود بیولوژیک یا زیستی سیاه رنگ با pH مناسب، دارای بافت نرم و اسفنجی و سرشار از مواد هیومیک با عناصر غذایی قابل استفاده گیاه و نیز سرشار از آنزیم‌ها، ویتامین‌ها و فاکتورهای رشد (مانند جیبرلین) می‌باشد. برای ساخت ورمی‌کمپوست معمولاً از کرم‌هایی استفاده می‌شود که توان رشد و تکثیر بسیار سریعی داشته و نیز پتانسیل قابل توجهی برای مصرف مواد آلی زاید و موادی که به طور معمول فراهم و آلوده کننده هستند، داشته باشند.

[1] Vermicompost

ورمی‌کمپوست را می‌توان در منزل و یا مزرعه و همچنین، به صورت تجاری انجام داد. اجزاء سیستم ورمی‌کمپوست شامل انواع مناسب کرم خاکی، بستر رشد کرم خاکی و پسماندهای مناسب برای تغذیه کرم خاکی می‌باشد (شکل ۶-۶) کرم خاکی با خوردن پسماندهای خوراکی (غیرگوشتی) و مواد آلی گیاهی و دفع فضولات، کود آلی بسیار غنی را تولید می‌نماید. شیرابه کود جامد ورمی‌کمپوست نیز از نظر مواد غذایی غنی بوده و به صورت مصرف خاکی و یا برگ‌پاشی قابل استفاده است.



شکل ۶-۶- شماتیک کلی یک سیستم ساده ورمی‌کمپوست.

۴-۲- کود سبز[1]

"کودهای سبز" گیاهانی (ترجیحاً از خانواده لگومینه) هستند که به منظور بهبود رشد گیاهان بعدی، از طریق اصلاح و حاصلخیز نمودن خاک، برای مدت زمان محدودی کاشته شده، و بعد از رشد لازم و در حالی که هنوز سبز هستند (قبل از گلدهی) به زمین برگردانده می‌شوند. این گیاهان پس از برگردانده شدن به خاک، به سرعت تجزیه شده و عناصر غذایی را رها می‌سازد. موادی مانند کاه و کلش و شاخه‌ها دیرتر تجزیه می‌شوند، و بیشتر به افزایش ماده آلی خاک کمک می‌نمایند تا کوددهی محصول بعدی. یک هکتار کود سبز معمولاً بین ۵۰-۲۵ تن شاخه، برگ و بافت‌های گیاهی تازه تولید می‌کند. وارد کردن این مقدار بقایا به

[1] Green manure

خاک حدوداً برابر با ۱۰ تا ۲۰ تن کود حیوانی است. همچنین، این مقدار بقایا بین ۱ تا ۲ تن هوموس به خاک اضافه می‌کند.

کودهای سبز، گیاهان پوششی و مالچ‌های گیاهی تقریباً مشابه هستند. ولیکن، هدف از گیاهان پوششی و مالچ حفاظت از خاک است، ولی در *کود سبز* هدف اصلی تهیه عناصر غذایی برای محصولات بعدی و افزایش حاصلخیزی خاک از طریق افزودن ماده آلی است. *کود سبز* فواید متعددی دارد، مانند:

- ورز بهتر خاک در اثر نفوذ ریشه گیاه کود سبز در خاک
- حفاظت خاک در مقابل فرسایش و آفتاب شدید
- کاهش تلفات آب از طریق نفوذ عمقی
- تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه
- تثبت نیتروژن در صورت استفاده از گیاه لگومینه
- کاهش تلفات عناصر غذایی از طریق آبشویی
- محصول ثانویه: علوفه یا غذا (مانند لوبیا)
- تجزیه سریع: رهاسازی سریعتر عناصر غذایی متعدد با نسبت‌های مناسب که منجر به افزایش عملکرد و کاهش نیاز به کودهای شیمیایی می‌گردد.
- افزایش فعالیت ریزجانداران خاک از طریق افزایش ماده آلی خاک و در نتیجه، بهبود ساختمان خاک و بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک.
- کنترل علف‌های هرز

با توجه به موارد فوق، کود سبز از بهترین و ارزانترین راهکارهای بهبود حاصلخیزی خاک و تغذیه محصول بعدی است. کودهای سبز می‌توانند مقدار زیادی از عناصر غذایی را که به علت آبشویی به اعماق پایین خاک منتقل شده‌اند، جذب و مورد استفاده قرار دهند. این مسئله در مورد تناوب زراعی نیز صادق است.

خصوصیات و ویژگی‌های گیاهان کود سبز و گیاهان پوششی بسیار مشابه یکدیگر می‌باشند. علاوه بر خصوصیاتی که برای گیاهان پوششی ذکر گردید (فصل پنجم، بخش ۲-۳)، خصوصیات زیر نیز در مورد گیاهان مورد نظر برای کود سبز مطلوب می‌باشند.

- عدم اثر آللوپاتی (دگرآزاری) بر روی گیاه زراعی بعدی
- مقاوم به سرما، آفات و بیماری‌ها
- متحمل به تراکم زیاد در واحد سطح

در جدول ۶-۳ برخی از گیاهان مناسب برای کود سبز ارائه شده است. همچنین، در جدول ۶-۴ میزان تثبیت نیتروژن برخی از کودهای سبز لگومینه آورده شده است.

جدول ۶-۳- اسامی برخی از گیاهان مناسب برای کود سبز (۱۱).

بقولات		غیربقولات	
علوفه	غیرعلوفه‌ای	علوفه	غیرعلوفه‌ای
یونجه	نخود	جو	گندم
شبدر بنفش	ماش	ارزن	چاودار
شبدر سفید	باقلا	شلغم	یولاف
شبدر کریمسون	سویا	سودان گراس	خردل
خلّر		منداب	

جدول ۶-۴- مقدار تقریبی تثبیت نیتروژن سالانه توسط چند گیاه لگومینه (۱۱، ۳۴ و ۷۵).

بقولات	نیتروژن تثبیت شده (کیلوگرم در هکتار)	بقولات	نیتروژن تثبیت شده (کیلوگرم در هکتار)
یونجه	۲۲۱-۲۱۷	ماش	۹۵
شبدر لادینو	۲۰۰	ماشک	۷۲
باقلا	۱۸۰	نخود	۷۲
شبدر قرمز	۱۶۸-۱۲۸	سویا	۶۵
شبدر سفید	۱۵۱-۱۱۵	نخود زمستانی	۵۶
لوبیا چشم بلبلی	۱۰۰	لوبیا	۵۰-۴۵
شنبلیله	۹۷	بادام زمینی	۴۴

زمان کاشت گیاهان کود سبز تقریباً تا اواسط پاییز است. زمان مناسب برگرداندن آن به خاک نیز قبل از مرحله گلدهی (در حدود ۴ هفته پس از کاشت) است. قبل از این مرحله، بافت‌های گیاه نرم بوده و به راحتی در خاک تجزیه می‌شوند. زمان لازم برای تجزیه کود سبز بستگی به نوع گیاه داشته و بین ۱ تا ۶ هفته می‌باشد. لذا، برای کشت محصول بعدی، حتماً باید به زمان لازم برای تجزیه کود سبز توجه گردد. عمق شخم برای برگرداندن کود سبز به خاک‌های سنگین ۲۰ – ۱۵ سانتی‌متر و به خاک‌های سبک بین ۳۵ – ۲۵ سانتی‌متر توصیه شده است.

استفاده از کود سبز در نواحی خشک باید همراه با احتیاط باشد. استفاده از گیاهانی که نیاز آبی بالایی دارند در این مناطق توصیه نمی‌گردد. زیرا در صورتی که نیاز آبی این گیاهان برآورده نشود، به اندازه کافی رشد نکرده، و یا برای تأمین نیاز آبی خود، از ذخایر رطوبتی در لایه‌های زیرین خاک استفاده خواهند کرد، در حالی که این ذخایر رطوبتی برای گیاه بعدی که در تناوب با کود سبز است در نظر گرفته شده است. بنابراین، سودمندی کود سبز در مناطق خشک بستگی به نحوه مدیریت کشاورز خواهد داشت.

۴-۳- کود دامی[1]

کود دامی یا کود حیوانی یا کود اصطبلی به مخلوط سرگین و گمیز دام‌ها و کاه و کلشی که برای تهیه بستر آنها به کار می‌رود، اطلاق می‌گردد. نزدیک به نیمی از نیتروژن و پتاسیم و تمام فسفر کود دامی در قسمت جامد آن است. میزان عناصر غذایی در کودهای حیوانی بستگی به نوع دام، علوفه مصرفی، نوع بستر، روش نگهداری دام و نحوه تخمیر دارد (جدول ۶-۵).

معمولاً اثرات تغذیه‌ای کودهای حیوانی در افزایش عملکرد محصولات در سال اول چشمگیر نبوده و اثرات آنها با گذشت زمان مشهود می‌شود. علت این امر آن است که رهاسازی و قابل دسترس شدن عناصر غذایی موجود در کودهای دامی، که توسط ریزجانداران خاک صورت می‌گیرد، نیازمند زمان است.

[1] Animal manure

جدول ۶-۵- ترکیبات متوسط کودهای مختلف دامی (۷۵).

خصوصیات	واحد	نوع کود دامی یا حیوانی				
		گاو شیری	گاو گوشتی	اسبی	گوسفندی	مرغی
نیتروژن	درصد	۲/۲۶	۲/۲۳	۳/۰۹	۳/۶۲	۳/۶۱
فسفر	درصد	۰/۶۴	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۶۸	۱/۹۹
پتاسیم	درصد	۲/۰۴	۱/۳۷	۱/۳۷	۲/۹۷	۱/۶۶
کلسیم	درصد	۱/۴۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۱/۸۱	۷/۰۹
منیزیم	درصد	۰/۴۴	۲/۳۰	۲/۳۰	۰/۴۷	۰/۸۹
سدیم	درصد	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۳۱
گوگرد	درصد	۰/۴۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۴۹	۰/۶۱
روی	میلی‌گرم در کیلوگرم	۲۰۹/۸۵	۱۵۴/۹۱	۱۵۴/۹۱	۱۴۸/۰۰	۴۶۸/۳۱
مس	میلی‌گرم در کیلوگرم	۵۴/۷۸	۶۱/۶۷	۶۱/۶۷	۲۷/۰۳	۱۲۴/۹۲
منگنز	میلی‌گرم در کیلوگرم	۲۳۸/۱۸	۴۰۲/۹۴	۴۰۲/۹۴	۳۵۲/۷۸	۵۲۸/۳۹
آهن	میلی‌گرم در کیلوگرم	۱۸۵۶/۱۳	۶۱۹۳/۱۰	۶۱۹۳/۱۰	۴۳۶۸/۵۱	۱۶۸۱/۲۲
ماده آلی	درصد	۸۵/۱۹	۷۹/۸۵	۷۹/۸۵	۷۷/۳۰	۷۳/۶۳
ماده خشک	درصد	۲۰/۰۹	۳۴/۲۶	۳۴/۲۶	۳۰/۳۲	۴۸/۴۱
شوری	دسی‌زیمنس بر متر	۱۹/۷	۱۵/۸	۱۵/۸	۲۵/۳	۴۶/۰
pH	---	۷/۵	۷/۳	۷/۳	۸/۰	۷/۵

۴-۴- کودهای بیولوژیکی یا زیستی[1]

بیو (Bio) به معنای زنده و کود فرآورده‌ای است که عناصر غذایی را به شکل قابل مصرف گیاه فراهم می‌سازد. "کودهای بیولوژیکی یا زیستی" فرآورده‌هایی به شکل جامد یا مایع هستند که حاوی ریزجانداران زنده یا کمون (مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها و جلبک‌ها)، به صورت خالص یا ترکیبی بوده و پس از کاربرد به تثبیت نیتروژن از هوا یا حل کردن عناصر غذایی خاک، علاوه بر ترشح مواد تحریک‌کننده رشد گیاه، کمک می‌کنند. برخلاف کودهای رایج، از کودهای بیولوژیکی یا زیستی به منظور بهره‌برداری از عناصر غذایی موجود در آنها استفاده نمی‌شود. بلکه عنصر غذایی مورد نظر، که معمولاً نیتروژن و یا فسفر است، فرآورده حاصل از فعالیت‌های ریزجانداران موجود در آن کود زیستی می‌باشد که پس از افزودن آن کود به خاک بعداً در خاک تولید می‌شود.

کودهای زیستی به چهار دسته طبقه‌بندی شده است (جدول ۶-۶). این کودها را می‌توان به صورت خاکی یا همراه با بذر، ریشه نهال‌ها و غده‌های بذری سیب زمینی استفاده کرد. کودهای زیستی نسبت به قارچ کش‌های جیوه‌ای حساس می‌باشند، از این رو، باید حداقل هفت روز بین مصرف آنها و مصرف کودهای زیستی فاصله باشد. همانطور که کودهای معدنی در خاک‌های فاقد مقادیر کافی عناصر غذایی کارآیی مناسبی دارند، کودهای زیستی نیز در خاک‌هایی که از نظر فعالیت‌های بیولوژیکی ضعیف هستند، کارآیی بالاتری خواهند داشت. از انواع کودهای زیستی در تولید غلات، گیاهان علوفه‌ای، درختان جنگلی و میوه‌ای، سبزیجات، صیفی‌جات، محصولات جالیزی، بقولات و دانه‌های روغنی و حبوبات استفاده شده است. در خرید و مصرف این نوع از کودها باید به عمر انبارداری، تاریخ مصرف، استاندارد کیفیت و نحوه کاربرد آن توجه گردد.

[1] Biofertilizers

جدول ۶-۶- گروه‌های چهارگانه کودهای زیستی یا بیولوژیکی (۸۲).

کودهای بیولوژیکی تثبیت‌کننده نیتروژن	کودهای بیولوژیکی حل‌کننده/حرکت‌دهنده فسفر	تسریع کننده‌های کمپوست	ریزوباکتری‌های تحریک‌کننده رشد گیاه
آزولا	*Bacillus*	Cellulolytic (*Trichoderma*)	گونه‌های مختلف
Rhizobium	*Pseudomonas*	Lignolytic (*Humicola*)	*Pseudomonas*
Azotobacter	*Aspergillus*		
Acetobacter	VA-mycorrhiza		
Azospirillum			

۵- مدیریت حاصلخیزی خاک‌های شور

تغذیه گیاهان در شرایط تنش شوری از چالش‌های عمده در تولید محصولات زراعی و باغی است. شوری از سه طریق رشد وعمکرد گیاه را کاهش می‌دهد (۳۲ و ۳۶). در وهله اول املاح محلول باعث کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک و در نتیجه، افزایش انرژی لازم برای جذب آب توسط گیاه می‌گردد. لذا، گیاه با صرف انرژی بیشتر برای جذب آب، انرژی کمتری برای فعالیت‌های متابولیکی خواهد داشت، که این امر منجر به کاهش رشد و نمو، و در نهایت عملکرد محصول می‌گردد. از این اثر به عنوان *اثر اسمزی* نیز یاد می‌شود. در تنش‌های شدید شوری، و در نتیجه، کاهش شدید پتانسیل اسمزی محلول خاک، ممکن است گیاه انرژی کافی برای جذب آب نداشته، و با وجود رطوبت مناسب در محیط ریشه، آثار تنش خشکی و کمبود آب را از خود نشان دهد که در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌گردد. به این پدیده *خشکی فیزیولوژیکی* نیز گفته می‌شود.

یون‌های محلول در خاک، به طور معمول، در هنگام فرآیند جذب آب توسط ریشه، به داخل گیاه راه می‌یابند. برخی از یون‌های محلول در غلظت‌های بالاتری در شرایط شوری در محلول خاک وجود دارند. این یون‌ها، به ویژه سدیم و کلر،

می‌توانند به طور مستقیم در گیاه ایجاد مسمومیت نمایند. این اثر، *اثر ویژه یونی* نامیده شده است. مسمومیت ناشی از غلظت بالای برخی از یون‌ها در اندام‌های گیاهی، باعث ایجاد اختلال در فرآیندهای متابولیکی گیاه شده، و در نهایت باعث کاهش رشد و عملکرد محصول می‌گردد.

عدم تعادل تغذیه‌ای در گیاه عامل سوم در کاهش رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش شوری است. غلظت‌های بالای عناصری مانند سدیم و کلر در محلول خاک باعث بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، مانند کلسیم و پتاسیم، می‌گردد. به طور کلی، عدم تعادل تغذیه‌ای ممکن است به علت اثر شوری بر قابلیت دسترسی و فراهمی عناصر غذایی، جذب و توزیع آنها در گیاه یا غیرفعال شدن فیزیولوژیکی یک عنصر غذایی خاص ایجاد شود، که در این صورت نیاز درونی گیاه به آن عنصر غذایی افزایش می‌یابد. فراهمی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های شور به pH و نسبت غلظت عناصر در محلول خاک وابسته است. اسیدیته خاک با اثرگذاری بر حلالیت عناصر، قابلیت دسترسی آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای مثال، فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی به شدت وابسته به pH و تغییر در حلالیت ترکیبات مختلف فسفر خاک می‌باشد (۵۸). آهن، منگنز، روی و مس به دلیل حلالیت کم، در شرایط قلیایی قابلیت دسترسی و فراهمی پایینی دارند (۵۹). از طرف دیگر، فراهمی عنصر بور در شرایط قلیایی بیشتر است که این امر می‌تواند باعث ایجاد مسمومیت بور در بسیاری از گیاهان زراعی گردد. در pH بالا، قابلیت دسترسی نیتروژن نیز کاهش می‌یابد که دلیل عمده آن کاهش فعالیت باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن در خاک است.

۵-۱- تغذیه گیاهان در خاک‌های شور

روش مرسوم در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در کشاورزی رایج استفاده از کودهای شیمیایی است. مصرف کود در شرایط تنش شوری، همانند کشاورزی در شرایط غیرشور، در برخی موارد می‌تواند منجر به افزایش عملکرد محصول گردد. در صورتی که شوری منجر به بروز عدم تعادل تغذیه‌ای گردد، احتمالاً مصرف کود می‌تواند منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاه گردد. در این میان، شدت تنش شوری عامل تعیین‌کننده کارآیی و مفید بودن مصرف کود می‌باشد. به طور کلی، در شرایط تنش شوری خفیف و متوسط، در صورت

نقصان حاصلخیزی خاک، مصرف کود می‌تواند مفید واقع شود، ولیکن، در شرایط تنش شوری شدید، کاربرد کود به طور معمول، کارآیی نداشته و از آنجا که کودهای شیمیایی نیز نوعی نمک می‌باشند، ممکن است منجر به تشدید تنش شوری و کاهش عملکرد محصول گردند. البته، نوع گیاه، نوع کود مصرفی و مدیریت زراعی نیز بر آن اثرگذار می‌باشند.

در خاک‌های شور، اثرات متقابل شوری و حاصلخیزی خاک در تولید و عملکرد محصول بسیار با اهمیت است. به طور کلی، در سطح معینی از حاصلخیزی خاک، با افزایش شوری مقدار عملکرد کاهش می‌یابد ولیکن در یک شوری معین، مصرف کود می‌تواند موجب افزایش عملکرد گردد. به طور معمول، واکنش گیاه به مصرف کود در خاک‌های با شوری کم تا متوسط (۱۰ dS/m) مثبت است، ولی در شوری‌های بالا، به دلیل بالا رفتن تجمعی فشار آسمزی، واکنش گیاه منفی بوده و عملکرد کاهش می‌یابد.

اثرات متقابل شوری و حاصلخیزی خاک را از سه جنبه می‌توان بررسی نمود:

- اثرات کود بر تغییرات شیمیایی درون خاک
- تأثیر شوری بر تغییرات شیمیایی کود
- تأثیر این فرآیندها و تغییرات بر عملکرد محصول

۵-۱-۱- اثرات کودهای شیمیایی بر تغییرات شوری خاک

اکثر تحقیقات انجام شده پیرامون اثر کود بر تغییرات شیمیایی خاک مربوط به مصرف کودهای تک عنصری نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) می‌باشد و اثر کودهای ترکیبی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. در ادامه جمع‌بندی نتایج تحقیقات متعدد در این زمینه ارائه می‌گردد (۳۶).

کودهای نیتروژن: به طور کلی، کودهای نیتروژنه شوری خاک را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهند، زیرا نمک‌های نیتروژنه دارای حلالیت بالایی هستند، و خود نیز باعث حلالیت سایر نمک‌هایی می‌گردند که از قبل در خاک وجود داشته است. کودهای نیتروژنه مانند نیترات آمونیوم (NH_4NO_3)، موجب کاهش pH خاک می‌شوند، و در نتیجه، حلالیت عناصر کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و پتاسیم (K) افزایش می‌یابد.

کودهای فسفر: کودهای فسفره معمولاً شوری خاک را اندکی کاهش می‌دهند، زیرا با افزودن این کودها به خاک، مقداری از فسفات‌های کلسیم و منیزیم که غیرمحلول هستند، تشکیل می‌شود. بنابراین، بخشی از شوری که مربوط به یون‌های محلول کلسیم و منیزیم بوده، از کل شوری خاک کم می‌شود.

کودهای پتاسیم: پتاسیم در مقایسه با نیتروژن، اثر چندانی بر pH خاک ندارد و در مقایسه با فسفر، موجب تشکیل نمک‌های غیرمحلول نمی‌شود. بنابراین، افزودن پتاسیم به تنهایی باعث افزایش شوری خاک می‌گردد اما نه به اندازه کودهای نیتروژنه.

۵-۱-۲- اثر شوری بر تغییرات شیمیایی کودها

شوری خاک، فرآیند معدنی شدن[1] نیتروژن را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. *معدنی شدن* تبدیل نیتروژن توسط فرآیندهای میکروبیولوژیکی در خاک به شکل‌های قابل جذب توسط گیاه (مانند یون نیترات) است. لذا، بهتر است در خاک‌های شور از کودهایی نظیر نیترات کلسیم که برای جذب گیاه نیازی به طی فرآیند معدنی شدن ندارند، استفاده شود (۳۶). فرآیند تبدیل نیتروژن موجود در هوا توسط برخی از گیاهان به نیتروژن آلی را *تثبیت ازت*[2] می‌گویند (۲۴). در فرآیند تثبیت ازت فعالیت باکتری ریزوبیوم بسیار اساسی و مهم است. از آنجا که فعالیت‌های باکتری ریزوبیوم در شرایط شوری کاهش می‌یابد، فرآیند تثبیت ازت نیز در اثر شوری کاهش و یا متوقف می‌شود.

۵-۱-۳- تأثیر کودهای شیمیایی بر عملکرد گیاهان در خاک‌های شور

در منابع و تحقیقات موجود، گزارشات ضد و نقیضی در مورد مصرف کود در اراضی شور ارائه شده است، که دلایل عمده آن تنوع گیاهان مورد مطالعه، تنوع نمک‌های محلول موجود در خاک و تنوع ترکیبات شیمیایی کودهای مصرفی می‌باشند. از این رو از نظر کاربردی، باید به شرایطی که آزمایشات در آن انجام

[1] Nitrification
[2] Nitrogen fixation

شده توجه کامل نمود، و از بسط نتایج به دست آمده به شرایط و خاک‌هایی که شباهتی به شرایط آزمایش فعلی یا زمین زراعی مورد نظر ندارند، خودداری کرد.

۱- نیتروژن

خاک‌های شور عمدتاً دارای کمبود نیتروژن هستند. مقدار زیادی از نیتروژن به شکل یون نیترات (NO_3^-) از طریق آبشویی به هدر می‌رود. همچنین، معدنی شدن آمونیاک در اثر شوری بالا کاهش می‌یابد. غلظت بالای کلر نیز فعالیت باکتری‌ها را کاهش می‌دهد، که این نیز به نوبه خود فرآیند معدنی شدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نتیجه، گیاهانی که نیتروژن را فقط به صورت NO_3^- جذب می‌کنند، علائم کمبود نیتروژن را نشان خواهند داد، هر چند که مقدار نیتروژن در خاک کافی باشد. بنابراین، بهتر است که در خاک‌های شور از کودهای نیتراته به جای کودهای آمونیومی استفاده شود.

به دلیل اثر آنتاگونیستی یون‌های کلر (Cl^-) و سولفات (SO_4^{2-}) بر یون نیترات (NO_3^-)، مقدار جذب نیترات در خاک‌های شور کاهش می‌یابد. در خاک‌های شور، به دلیل اثر سمیت نمک‌ها بر ریزوبیوم و کاهش شدید غده‌های تثبیت کننده ازت، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن نیز به شدت کاهش می‌یابد. در خاک‌های شور متابولیسم نیتروژن در درون گیاه نیز مختل می‌گردد، که دلیل عمده آن بالا بودن فشار آسمزی محلول خاک و کاهش قابلیت استفاده از آب توسط گیاه است.

به طور کلی، مصرف کود نیتروژنه در خاک‌های شور به مقدار کمتری از آنچه که در خاک‌های غیرشور و معمولی مرسوم است، واکنش مثبت گیاه را به همراه دارد (۳۶). تقسیط نیتروژن، همانند خاک‌های غیرشور، بیشترین بازده را دارد. پخش کود نیتروژنی مصرفی در سطح خاک باید پس از آبیاری، نه قبل از آن، صورت پذیرد. محلول‌پاشی نیتروژن در خاک‌های شور (محلول ۳٪ اوره به مقدار ۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به همراه مصرف خاکی آن اقتصادی و مفید است.

۲- فسفر

مصرف فسفر در خاک‌های شور باعث افزایش عملکرد می‌گردد. ولیکن، همانند نیتروژن، واکنش گیاه به کودهای فسفری به شوری‌های کم و متوسط محدود می‌گردد (۳۶).

۳- پتاسیم

خاک‌های شور معمولاً دارای مقادیر متوسط تا فراوان از عنصر پتاسیم (K) هستند. اما در طی فرآیند آبشویی، بخش زیادی از پتاسیم محلول از نیمرخ خاک خارج شده و در نتیجه، گیاهانی که در خاک‌های شور کشت می‌شوند دچار کمبود پتاسیم می‌شوند. همچنین، سدیم و کلسیم اثرات آنتاگونیستی بر پتاسیم دارند و باعث کاهش جذب آن می‌شوند. در چنین شرایطی، مصرف کودهای پتاسیمی منجر به افزایش عملکرد می‌گردد (۳۶).

۵-۲- شاخص نمک (SI) کودهای شیمیایی

شاخص نمک[1] یک کود نسبت افزایش پتانسیل آسمزی ناشی از یک کود شیمیایی به مقدار هم وزن نیترات سدیم است (۳۶).

$$SI = \frac{P_f}{P_N} \times ۱۰۰$$

که در آن:

P_f = افزایش پتانسیل آسمزی ناشی از کاربرد وزن معینی از کود

P_N = فشار آسمزی ناشی از همان وزن نیترات سدیم

با توجه به تعریف فوق، مقدار SI برای خود نیترات سدیم برابر ۱۰۰ است (جدول ۶-۷). این شاخص، میزان کودی را که در یک خاک معین مستقیماً موجب آسیب به گیاه می‌شود، تعیین نمی‌کند، بلکه اثرات غیرمستقیم را از طریق فشار آسمزی نشان می‌دهد. شاخص نمک کلرورهای پتاسیم و سدیم، به علت حلالیت زیاد این نمک‌ها، بسیار بالا است. کودهای فسفری، به علت حلالیت پایین، SI کمتری دارند (جدول ۶-۷).

[1] Salt Index

جدول ۶-۷- شاخص نمک برای برخی از کودهای شیمیایی رایج (۳۶).

کود مصرفی	درصد خلوص	شاخص نمک
کودهای نیتروژنی		
آمونیوم	۸۲/۲	۴۷/۱
نیترات آمونیوم	۳۵/۰	۱۰۴/۷
مونوفسفات آمونیوم	۱۲/۲	۲۹/۹
دی فسفات آمونیوم	۲۱/۲	۳۴/۲
سولفات آمونیوم	۲۱/۲	۶۹/۰
نیترات کلسیم	۱۱/۹	۵۲/۵
نیترات پتاسیم	۱۳/۸	۷۳/۶
نیترات سدیم	۱۶/۵	۱۰۰/۰
اوره	۴۶/۴	۷۵/۴
کودهای فسفری		
مونو فسفات آمونیوم	۶۱/۷	۲۹/۹
دی فسفات آمونیوم	۵۳/۸	۳۴/۲
مونو فسفات کلسیم	۵۶/۳	۱۵/۴
مونوفسفات پتاسیم	۵۲/۲	۸/۴
مونو فسفات سدیم	۵۱/۴	۳۶/۲
سوپر فسفات	۱۶/۰	۷/۸
سوپر فسفات	۲۰/۰	۷/۸
سوپر فسفات	۴۸/۰	۱۰/۱
کودهای پتاسیمی		
کلرید پتاسیم	۶۳/۲	۱۱۴/۳
نیترات پتاسیم	۴۶/۶	۷۳/۶
سولفات پتاسیم	۵۴/۰	۴۶/۱
سایر کودها		
کربنات کلسیم	۵۶/۰	۴/۷
سولفات کلسیم	۳۲/۶	۸/۱
کلرید سدیم	۵۳/۰	۱۵۳/۸
سولفات سدیم	۴۳/۶	۷۴/۲

۵-۳- ریزجانداران[1] شورزی و کودهای زیستی

ریشه از اندام‌های اصلی هر گونه گیاهی بوده و به طور کلی، رشد گیاه با فعالیت ریشه تنظیم می‌گردد. از جمله روش‌هایی که دارای توانایی بالایی برای مقابله با تنش‌های محیطی و سازگاری با مبانی حفظ محیط زیست دارد، استفاده از ریزجانداران محرک رشد است. گونه‌های متنوعی از ریزجانداران، شامل انواع تک یاختگان، باکتری‌ها، مخمرها و قارچ‌ها را در زیست‌بوم‌های مختلف شور می‌توان مشاهده کرد. این ریزجانداران به محدوده‌های مختلف شوری در شرایط هوازی و بی‌هوازی سازگاری یافته‌اند. برخی از آنها تثبیت‌کننده نیتروژن هوا و یا حل‌کننده فسفر بوده و موجب تحریک رشد بهتر گیاه همزیست خود می‌شوند. این امر فرصت مناسبی برای تهیه کودها و یا محرک‌های رشد بیولوژیکی یا زیستی برای تولید گیاه در خاک‌های شور فراهم می‌آورد. در زمین‌های شور، به علت pH قلیایی و غلظت بالای نمک‌ها، استفاده از کودهای شیمیایی که خود نیز نوعی نمک است، ممکن است کارآیی لازم را نداشته باشد. از طرف دیگر، به دلیل نیاز آبشویی بالا در آبیاری محصولات کشت شده، مقدار زیادی از کودهای شیمیایی مصرفی نیز آبشویی و باعث آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود، که خود مسائل و مشکلات زیست محیطی ایجاد می‌کند. بنابراین، استفاده از کودهای بیولوژیک و باکتری‌ها و قارچ‌های همزیست مناسب می‌تواند در این شرایط مفیدتر باشد.

بررسی و جداسازی سویه‌های مایکوریزا از ریشه گیاهان شورزی که در مناطق خشک و کویری کشور رشد می‌کنند، توسط پژوهشکده بیوتکنولوژی قشم انجام یافته که نتایج در جدول ۶-۸ ارائه شده است. در این رابطه، اخیراً یک تحقیق با میکوریزای Arbuscular، که یک قارچ همزیست در خاک بوده و در خاک‌های شور به وفور یافت می‌شود، و گیاه نی (*Phragmites australis*) انجام گرفته است (۳۷). نتایج این تحقیق با شوری آب صفر تا ۳۰۰ میلی‌مول کلرور سدیم (حدود ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر)، نشان داد که هر چند رشد ریشه و اندام هوایی گیاه با افزایش شوری کاهش می‌یابد، لیکن، گیاهان تلقیح شده، به ویژه در شوری‌های بالا (۳۰-۲۰ دسی‌زیمنس بر متر)، رشد ریشه و ساقه بسیار بالاتری نسبت به

[1] Microorganisms

گیاهان معمولی داشتند. همزیستی قارچ میکوریزا نه تنها اثرات مثبتی بر جذب عناصر غذایی و چرخه عناصر غذایی در خاک دارد، بلکه ترکیب جمعیت باکتری‌ها را نیز بهبود می‌بخشد (۶۶).

از باکتری‌های محرک رشد برای افزایش عملکرد محصول در خاک‌های شور می‌توان استفاده مطلوبی نمود. نتایج تحقیقات اثرات مثبت آنها را بر رشد گیاهان شورزی در شرایط شوری بالا نشان داده است. اخیراً تأثیر دو کود زیستی، یکی حاوی باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن و دیگری حاوی باکتری حل‌کننده فسفر، بر رشد گیاه علوفه‌ای کالرگراس (*Leptochloa fusca*)، تحت شرایط آبیاری با نسبت‌های ۵۰ - ۱۲/۵ درصد آب دریا (۲۳/۶-۹ دسی‌زیمنس بر متر) بررسی گردید (۸۳). کود زیستی نیتروژن حاوی سویه *Azospirilum* spp. و کود زیستی فسفر حاوی باکتری *Bacillus megaterium* بود. نتایج این تحقیق نشان داد که کودهای زیستی تأثیر معنی‌داری بر رشد و عملکرد کالرگراس، به ویژه در شوری‌های بالا، دارند. همچنین، کاربرد توأم هر دو باکتری تأثیر بیشتری نسبت به کاربرد هر یک به تنهایی داشت. میزان کلروفیل و پروتئین خام در گیاهان تلقیح شده به طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان معمولی (شاهد) بود. طبق این نتایج، این باکتری‌ها در افزایش سازگاری با شرایط تنش و تحمل به شوری کالرگراس بسیار مؤثر می‌باشند.

چند گونه آبزی از باکتری‌های محرک رشد (تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفر) نیز از ریشه‌های نهال‌های مانگرو جداسازی و شناسایی شده است (۸۶). گونه‌های شورزی (خاکزی یا آبزی) *Phyllobacterium* spp. (تثبیت‌کننده نیتروژن)، *Bacillus licheniformis* (حل‌کننده فسفر)، *Vibrio aestuarianus* و *V. proteolyticus* نیز اثرات مثبت بر رشد گیاهان شورزی مانگرو و سالیکورنیا داشته‌اند (۳۹). شناسایی میکروارگانیسم‌های متحمل به شوری و کاربرد آن برای افزایش رشد و عملکرد گیاه در شرایط شوری، چه محصولات زراعی رایج و چه گیاهان شورزی، می‌تواند از زمینه‌های جالب توجه تحقیقاتی در مباحث شوری و میکروبیولوژی خاک در کشور باشد. با توجه به گستردگی محیط‌های شور و زیرساخت‌های مناسب تحقیقاتی، توانمندی تهیه و ارائه کودهای زیستی با کاربرد ویژه در شرایط تنش شوری در کشور بالا است.

جدول ۶-۸- مناطق جمع‌آوری اکتومایکوریزا و درصد آلودگی ریشه گیاهان میزبان (۳۱).

گیاه میزبان	محل جمع‌آوری	تعداد اسپور در هر گرم خاک اطراف ریشه	درصد ریشه‌های آلوده به قارچ
قیچ	اطراف سمنان	۳۸۹	۴۰
قیچ	اطراف شاهرود	۵۸۲	۴۵
قیچ	اطراف شاهرود	۳۲۹	۳۵
تاغ	اطراف سمنان	۶۲۵	۵۰
تاغ	مناطق کویری سمنان	۸۷۸	۱۵
سالیکورنیا	اطراف سمنان	۳۴۰	۲۰
سالیکورنیا	شیراز (مهارلو)	۱۳۲۰	۶۰
سالیکورنیا	طبس	۳۶۹	۲۰
اکالیپتوس	گرگان	۱۳۲۰	۳۰
سالسولا	قشم	–	–
سالسولا	قشم	–	–
اکالیپتوس	قشم	۱۲۱۰	۶۰
اکالیپتوس	قشم	۱۳۴۲	۶۰

شناسایی باکتری‌های خاکزی جزیره قشم به منظور تولید پلیمرهای میکروبی جاذب آب، از سال ۱۳۷۳ آغاز شد، که منجر به تولید آن در مقیاس پایلوت گردید. این پلیمر میکروبی سوپر جاذب در شرایط آب شور و غیرشور آزمایش شده و قادر است نه تنها بین ۷۰۰-۵۵۰ برابر وزن خود آب جذب کند، بلکه آب را به مدت یک ماه و تا حرارت ۷۵ درجه سلسیوس در خود نگه می‌دارد. نتایج بررسی‌های این سوپر جاذب در چند نقطه جزیره قشم نشان داد که کاربرد آن موجب سه برابر شدن رشد گیاهان و تقلیل شوری خاک در محل کاربرد به یک سوم مقدار اولیه می‌شود (۳۱). تأثیر کاربرد کود بیولوژیک (از منبع جلبک)، پلیمر میکروبی سوپر جاذب و میکوریزا بر رشد جو در شرایط مزرعه‌ای و آبیاری با آب لب شور (۱۰ گرم بر لیتر) و آب دریا (۳۷ گرم بر لیتر) در جزیره قشم مورد بررسی قرار گرفت (۳۱). برخی از نتایج حاصله در جدول ۶-۹ خلاصه گردیده است. این نتایج تأثیر مثبت مایکوریزا را در شرایط شوری بسیار بالا

نشان می‌دهد. یادآوری می‌شود که هر سه فرآورده تولید پژوهشکده بیوتکنولوژی قشم و از منابع داخلی است.

جدول ۶-۹- تأثیر تیمارهای مختلف بر رشد محصول جو در شرایط آبیاری با آب لب شور و شور (۳۱).

تیمار	تعداد خوشه		وزن هزاردانه (گرم)		وزن کل بوته (گرم)	
	آب لب شور	آب شور	آب لب شور	آب شور	آب لب شور	آب شور
شاهد	۱۵/۶۶	۳	۳۶/۱۴	۲۵/۱	۳۲/۰۶	۱۲/۸۱
میکوریزا	۱۵/۳۳	۴	۳۷/۲۵	۳۷/۱	۳۷/۶۰	۲۱/۹۳
پلیمر میکروبی	۱۲/۳	۲	۳۳/۶۰	۱۶/۶	۳۰/۶۲	۱۱/۷۷
کود بیولوژیک	۱۵	۴	۳۶/۳۹	۲۷/۵	۳۴/۲۹	۱۵/۹۳

فصل هفتم: اقدامات ضروری در گذار به سوی مزرعه پایدار

فصل هفتم شامل رهنمودهایی مفید جهت گذار از نظام‌های کشاورزی صرفاً تجاری به سوی نظام‌های تولیدی مبتنی بر مدیریت پایدار، می‌باشد. این فصل به نوعی جمع‌بندی مطالب این کتاب است، و پاسخی به سؤال تولیدکنندگان که پس از آگاهی از اهداف و منافع کشاورزی پایدار، چه باید کرد؟ این رهنمودها کلی بوده و برای شرایط مختلف، مانند نوع و اندازه واحد تولیدی، شرایط منطقه‌ای و توانایی‌های تولید کننده، نحوه اجرای آن ممکن است متفاوت باشد. بدون شک تعامل کشاورزان با طبیعت، پیامدهای عدیده اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی بسیار مطلوبی را برای آنها، و جامعه در کل، به دنبال خواهد داشت.

۱- حفاظت از خاک و بهبود سلامت خاک

- توقف فرسایش آبی از طریق تراس‌بندی، کشت نواری و ترمیم آبکندها (گالی‌ها)
- افزودن مواد آلی به خاک: کود سبز، گیاهان پوششی، کمپوست، کودهای دامی، بقایای گیاهی و کودهای آلی
- خاک‌ورزی حفاظتی
- کنترل فرسایش بادی از طریق احداث بادشکن
- تناوب محصولات نقدی با علوفه، گیاهان مرتعی یا گیاهان پوششی

۲- کاهش مصرف آب و حفاظت از کیفیت آن

- توقف فرسایش در مزرعه و مرتع
- کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی
- ایجاد مناطق میانگیر (بافر) حفاظتی
- کاشت محصولاتی که با میزان بارندگی منطقه سازگاری دارند.
- بهبود کارآیی مصرف آب با استفاده از روش‌های آبیاری کارآمد و با کارآیی بالا

۳- مدیریت پسماندهای آلی و نهاده‌های شیمیایی به منظور پیشگیری از آلودگی

۳-۱- پسماندهای آلی

- آزمون خاک انجام گیرد و افزودن کودهای دامی و بقایای آلی تنها به هنگام نیاز انجام شود.
- پسماندها و حیوانات مرده کمپوست گردد.
- محل‌های جمع‌آوری پسماند و ضایعات خارج از دسترس باران و برف نگهداری شوند.
- پرورش دام و طیور به صورت آزاد و مرتعی صورت گیرد.

۳-۲- نهاده‌های شیمیایی و زباله‌ها

- استفاده از مواد جایگزین به جای مواد شیمیایی در صورت موجود بودن
- استفاده از حداقل مقدار مورد نیاز
- انتخاب و مصرف مواد شیمیایی با کمترین سمیت
- بازیافت پسماندها
- دفع پسماندها و ظروف شیمیایی بر اساس دستورالعمل برچسب

۴- مدیریت آفات و علفهای هرز با حداقل اثرات زیست محیطی

۴-۱- مدیریت آفات و بیماریها

- وارد کردن یا تقویت جمعیت فعلی شکارچیان طبیعی عوامل بیماری‌زا، عقیم‌سازی حشرات آفت و روش‌های دیگر کنترل بیولوژیکی
- استفاده از تله‌ها
- نگهداری مناطق طبیعی یا بخش‌هایی از زمین با گیاهانی که حشرات مفید را جذب می‌کنند.
- استفاده از حشره‌کش‌های انتخابی یا حشره‌کش‌های گیاهی که از سمیت کمتری برخوردار هستند.

- محصولات تله‌ای[1]
- تناوب زراعی، کشت توأم، کشت نواری و اجتناب از کشت تک محصولی (تک کشتی)
- حفاظت از سلامت خاک که باعث جلوگیری از امراض خاکی می‌شود.
- پیشگیری از تحت تنش قرار گرفتن گیاهان، زیرا گیاهان تحت تنش آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به آفات و بیماری‌ها دارند.

۴-۲- مدیریت علف‌های هرز

٤-۲-۱- راهکارهای مکانیکی

- استفاده از انواع ماشین‌های علفزنی
- شعله افکن
- غرقاب کردن زمین
- خاک‌ورزی
- آتش‌سوزی کنترل شده

٤-۲-۲- راهکارهای زراعی

- تناوب زراعی
- کاشت محصولات خفه‌کننده[2]
- کاشت گیاهان پوششی
- کاشت گیاهان آللوپاتیک[3]
- فواصل کمتر بین گیاهان

٤-۲-۳- راهکارهای بیولوژیکی

- چراگاه‌های مخلوط (مخلوطی از چند گیاه مرتعی)
- چرای متناوب
- مدیریت تلفیقی آفات

[1] Trap crops
[2] Smother crop
[3] Allelopathic plants

٤-٢-٤- راهکارهای شیمیایی

- استفاده از علف‌کش‌های با طیف کم[1] و با کمترین سمیت
- کالیبره و تنظیم کردن صحیح سمپاش‌ها
- استفاده از روش‌های سمپاشی که مقدار مصرف، انحراف با باد و تماس با کشاورز را به حداقل برساند.

۵- انتخاب گیاهان و حیواناتی که با شرایط محیطی موجود سازگار باشند.

- کاشت محصولات و ارقامی که با شرایط آب و هوایی محل بهترین سازگاری را داشته باشند.
- انتخاب محصولی که با خاک محل تطابق داشته باشد.
- ارقام یا محصولات جدیدی که نیاز چندانی به نهاده‌های شیمیایی نداشته باشند، به صورت آزمایشی کشت و بررسی گردد.
- پرورش نژادهایی از دام که با شرایط آب و هوایی محل سازگاری داشته باشند.
- پرورش دام‌هایی که افزایش وزن خوبی را با تغذیه از علف‌ها و علوفه‌های بومی نشان می‌دهند.

۶- تقویت و توسعه تنوع زیستی

بخش کشاورزی باید بخشی از بدنه مدیریت و ایجاد طبیعت زیبا، اکولوژی سالم برای حیات وحش و گیاهان بومی، آب شرب سالم، و تفریحگاه و تفرجگاه باشد. منظور از آن کاهش بوی بد ناشی از تولید دام و کودهای دامی و کارخانجات فرآوری انواع محصولات کشاورزی، افزایش تنوع زیستی در مزارع و محیط اطراف آنها از طریق مصرف بهینه سموم شیمیایی, و احیای اراضی طبیعی از طریق جنگلکاری وغیره، می‌باشد. تنوع زیستی در مزرعه و اطراف آن شامل حیوانات اهلی، محصولات زراعی، گیاهان بومی، حیات وحش (پرنده و حیوان) ریزجانداران و آبزیان است. برای تقویت و توسعه تنوع زیستی، باید به تولید

[1] Low band

محصولات زراعی و پرورش دام‌ها تنوع داده شود. بدین منظور می توان راهکارهای زیر را اعمال نمود.

- اختصاص مکان‌هایی ویژه، مانند حواشی مزرعه، استخر و غیره به عنوان زیستگاه‌هایی برای حیات وحش
- حفاظت از کیفیت و سلامت رودها و استخرها
- ایجاد و در نظر گرفتن گذرگاه‌هایی برای حیات وحش
- کشت محصولات ردیفی در تناوب با محصولات علوفه‌ای

۷- صرفه‌جویی در انرژی

- کاهش تعداد عملیات خاک‌ورزی
- کاهش مصرف مواد و کودهای شیمیایی
- توسعه و استفاده از روش‌هایی که به قدرت اسب کمتری نیاز داشته باشند.
- بازیافت روغن‌های مصرف شده
- استفاده از ادوات و ماشین‌هایی که با انرژی خورشیدی کار می‌کنند.
- استفاده از منابع سوختی تجدیدپذیر و قابل تولید در مزرعه، مانند اتانول، متانول و گاز متان از کودهای دامی و بقایای گیاهی (بیوگاز)

۸- افزایش سودآوری و کاهش ریسک

- تنوع در تولید محصولات زراعی و دام
- جایگزین نمودن مدیریت به جای نهاده‌های خارج از مزرعه
- حداکثر استفاده از منابع داخل مزرعه
- تقویت چرخه‌های طبیعی در مزرعه (مانند چرخه‌های بیولوژیکی و تولید عناصر غذایی گیاه)
- ارزش افزوده محصولات و دام
- تا حد امکان به طور مستقیم بازاریابی و فروش محصول انجام گیرد، مانند عرضه محصولات تولیدی در بازار کشاورزان (مانند جمعه بازار)، ایجاد غرفه‌های فروش مزرعه‌ای و غیره.

پیوست: پایش کیفیت خاک در مزرعه

"کارت سلامت خاک" از جمله راهکارهای پایش کیفیت خاک توسط کشاورزان در سطح مزرعه می‌باشد. *کارت سلامت خاک*[1] در حقیقت نوعی سیستم ثبت و بایگانی اطلاعات مربوط به مزرعه و مدیریت خاک آن است. همانطور که قبلاً عنوان شد، با استفاده از شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک که در حقیقت خصوصیات خاک می‌باشند، سلامت و کیفیت خاک را می‌توان تا حدودی برآورد نمود و با بایگانی اطلاعات و انجام مکرر آزمایشات مربوط به بررسی سلامت خاک، کیفیت خاک مزرعه و اثرات مدیریت را بر آن پایش کرد.

انواع مختلف کارت سلامت خاک در نقاط مختلف دنیا طراحی و ارائه شده است. ولیکن، کلیه آنها در پایه و اساس مشابه یکدیگر می‌باشند. این کارت‌ها حاوی اطلاعات عمومی در مورد مزرعه یا قطعه مورد نظر در مزرعه، مدیریت زراعی (مانند نوع و زمان خاک‌ورزی، کوددهی، سمپاشی و غیره) و خانه‌هایی برای ثبت نتایج آزمایشات مزرعه‌ای مرتبط با کیفیت خاک می‌باشد. این امکان وجود دارد که کشاورز پس از آشنایی بیشتر با موضوع، کارت سلامت خاک را بر اساس نیازهای محلی و شخصی خود طراحی نماید. به هر حال، طراحی و استفاده از این کارت‌ها بسیار آسان و سودمند می‌باشد.

آزمایشاتی که برای انجام در مزرعه پیشنهاد می‌گردد، به اندازه کافی آسان و کاربردی طراحی شده‌اند تا کشاورزان با استفاده از حداقل ابزار و صرف کمترین هزینه راغب و قادر به انجام آن باشند. در ادامه نمونه‌ای از این کارت‌ها و دستورالعمل‌های انجام چند آزمایش ساده برای برآورد و پایش کیفیت خاک در مزرعه ارائه خواهد شد (۸۴). *مؤسسه کیفیت خاک* نیز در این زمینه کتابچه راهنمایی به چاپ رسانده که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (۷۷). نکته مهم این است که کشاورز حتماً باید به یاد داشته باشد که منظور از استفاده از این کارت‌ها به هیچ عنوان جایگزین کردن آزمون‌های استاندارد خاک که توسط آزمایشگاه‌های تجزیه خاک انجام می‌گیرد، نیست. بلکه به عنوان مکمل آنها می‌تواند به مدیریت مزرعه و پایداری تولید کمک نماید.

---

[1] Soil Health Card

۱- نحوه استفاده از "کارت سلامت خاک"

در وهله اول قبل از اقدام به انجام آزمایشات، کلیه اطلاعات به دقت مطالعه شود.

- **آماده‌سازی ابزار**: نحوه ساخت و تهیه ابزار مورد نیاز در بخش بعدی ارائه شده است.
- **انتخاب محل مورد نظر**: حداقل ۲ مکان، یکی بهترین جای مزرعه و دیگری بدترین جای مزرعه به تشخیص کشاورز و یا مالک زمین، در نظر گرفته شود. با انتخاب مکان‌های دیگر درک و آگاهی بیشتری از وضعیت سلامت خاک مزرعه حاصل خواهد شد.
- **تعداد کارت‌های مورد نیاز**: در موارد زیر ممکن است که در هر مکان انتخابی از چند کارت استفاده شود:
  - در مکان انتخابی بیش از یک نوع خاک موجود باشد.
  - شرایط ردیف‌های کاشت و فاصله بین ردیف‌ها ممکن است متفاوت باشد (تردد ماشین آلات، درصد پوشش زمین، نور و غیره)
  - جهت مقایسه، یک سری از آزمایشات در منطقه‌ای بکر ولی همجوار با مزرعه یا باغ، انجام شود.
- **انجام آزمایشات**: هر کارت حاوی نام آزمایش‌ها و خانه‌های خالی برای ثبت نتایج آنها می‌باشد. پس از آشنایی کامل با روش انجام آزمایشات، هر سری از آنها را می‌توان در مدت ۳۰-۲۰ دقیقه انجام داد. توصیه می‌گردد که در هر مکان آزمایشات را ۵ بار انجام داده و از نتایج میانگین گرفته شود.
- **مرور روش‌های آزمایش**: با آشنایی بیشتر با روش‌های آزمایشات و خاک مزرعه، کشاورز باید با بررسی مجدد مکان‌هایی که انتخاب کرده، اطمینان حاصل نماید که مکان‌های انتخابی واقعاً مناسب و نماینده مزرعه بوده‌اند و اطلاعات مورد نیاز او را برآورده می‌سازند. اطمینان حاصل شود که آزمایشات هر دوره به طور یکنواخت و همسان انجام گیرد.
- **مرور نتایج**: کشاورز با بررسی و مرور نتایج حاصل از آزمایشات باید سعی نماید تا علل آنها را یافته و آنها را تفسیر نماید. توصیه می‌گردد که

اگر کشاورزان مزارع و باغات همجوار نیز مبادرت به استفاده از کارت سلامت خاک نموده‌اند، با یکدیگر مشاوره و تبادل اطلاعات نمایند.

- **تاریخ آزمایش**: هر کارت باید تاریخ داشته باشد. می‌توان تاریخ آزمایشات یا کارهای بعدی را نیز جهت یادآوری در کارت درج کرد. توصیه می‌گردد که هر ۶ ماه یا ۱۲ ماه یک بار آزمایشات مزرعه‌ای انجام گردد.

۲- تهیه مقدمات آزمایش

۲-۱- لوازم و ادوات مورد نیاز

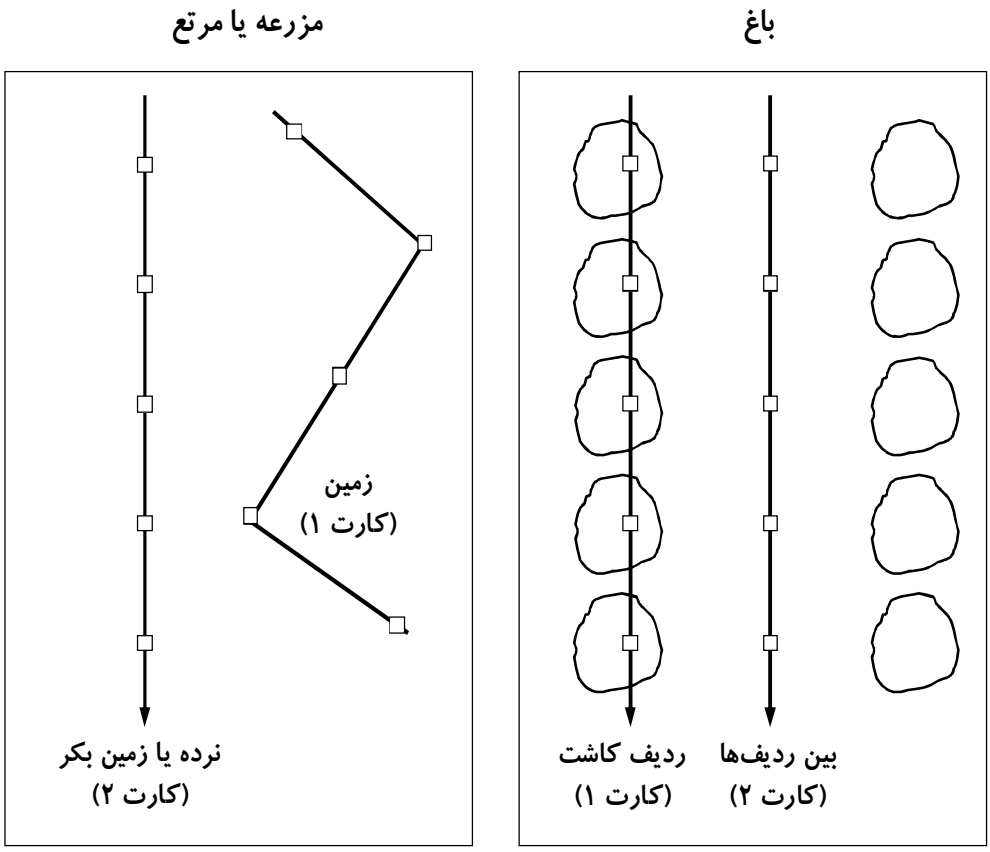
- چارگوش مفتولی یا سیمی دست ساز (بخش ۳)
- فروسنج[1] دست ساز (بخش ۳)
- استوانه دست ساز نفوذسنج (بخش ۳)
- مداد و زیردستی
- یک کارت برای هر سری از آزمایشات
- بیلچه
- صفحه نایلونی ضخیم مانند سفره یا نایلون گلخانه، با ابعاد ۱×۱ متر
- یک عدد شیشه دهان گشاد که ۱۲۵ میلی‌لیتر برروی آن مشخص شده باشد.
- یک ظرف با گنجایش ۵۰۰ میلی‌لیتر
- یک ظرف آب برای هر نقطه آزمایشی: برای خاک خشک ۱۲۵۰ میلی‌لیتر و خاک مرطوب ۷۵۰ میلی‌لیتر آب در نظر گرفته شود.
- یک عدد ساعت ثانیه‌دار

[1] Penetrometer

۲-۲- روش نمونه‌برداری

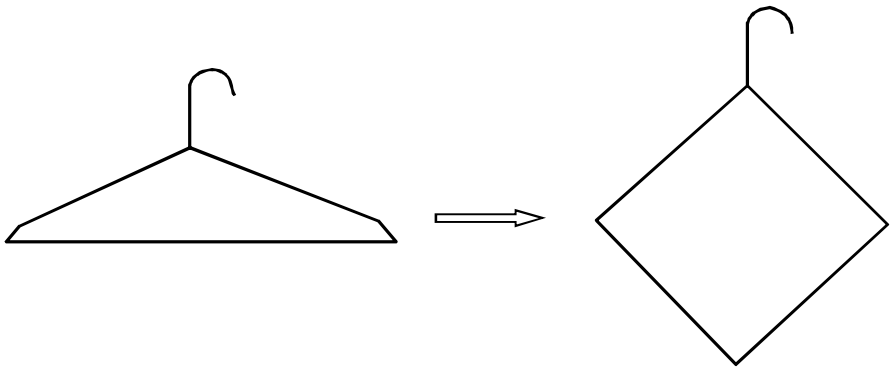
در شکل‌های زیر طرح‌های توصیه شده برای نقاط نمونه‌برداری رسم شده است. در این مورد نکات زیر توصیه می‌شود:

- از یک نقطه قابل شناسایی شروع گردد، مانند نزدیکی یک نرده یا علامت دیگر.
- برای هر کارت نمونه‌برداری از یک نوع خاک انجام‌گیرد.
- در پشت کارت نقشه‌ای از نقاط نمونه‌برداری شده رسم گردد و حدود هر نوع خاک در آن مشخص شود.

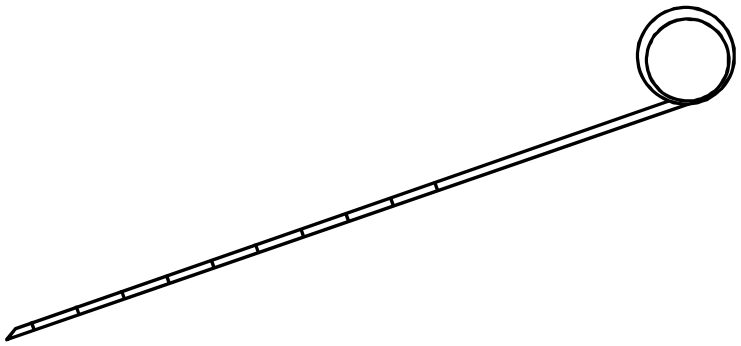


۳- لوازم دست ساز

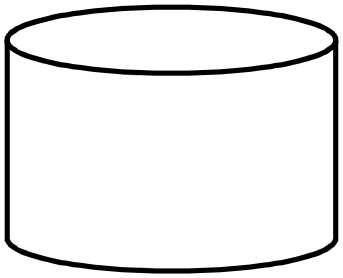
۳-۱- چارگوش سیمی یا مفتولی: چارگوش در حقیقت یک قاب چارگوش با سطح مشخص و معلوم است. از این چارگوش برای ارزیابی مقدار پوشش گیاهی در سطح زمین یا انواع حیات جانوری در بقایای گیاهی استفاده می‌شود. چارگوش سیمی را می‌توان با استفاده از یک رخت‌آویز فلزی یا مفتولی به راحتی درست کرد (شکل زیر). هر گوشه تقریباً ۲۴ سانتی‌متر طول خواهد داشت.



۳-۲- فروسنج: فروسنج وسیله‌ای برای بررسی تراکم خاک است. یک مفتول ۵۰ سانتی‌متری به ضخامت ۳/۱ – ۳ میلی‌متر تهیه گردد. با گرد کردن یک سر آن (در حدود ۱۲ سانتی‌متر) دسته فروسنج ساخته می‌شود. از سر دیگر مفتول، هر ۲ سانتی‌متر علامت‌گذاری شود تا به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر برسد (شکل زیر).



۳-۳- استوانه نفوذسنج: نفوذسنج میزان و سرعت نفوذ یک حجم مشخص از آب را به داخل خاک اندازه‌گیری می‌نماید. یک لوله پولیکا یا هر جنس مناسب دیگر به قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر یا بیشتر تهیه گردد. بهتر است که لبه یکی از دو طرف استوانه تیز گردد، تا با سهولت بیشتری در خاک قرار گیرد.



۴- آزمایش‌های خاک

تذکر داده می‌شود که خاک به طور طبیعی حاوی تعداد زیادی از انواع مختلف ریزجانداران و میکروب می‌باشد، که برخی از آنها ممکن است باعث بروز عفونت و امراض گردند. لذا، درصورت خراشیدگی در دست‌ها از دستکش استفاده گردد.

۴-۱- پوشش سطح زمین

چارگوش به صورت تصادفی به سطح مزرعه پرتاب شود. نسبت سطح لخت و بدون پوشش در چارچوب برآورد شود. بقایای گیاهی در سطح مزرعه بررسی گردد و عمق آن تعیین شود. با استفاده از کارت سلامت خاک امتیاز مناسب برای این نقطه از مزرعه مشخص خواهد شد.

۴-۲- فروسنج

با فشار نسبتاً کم، فروسنج دست ساز در سطح خاک تا عمق هر چه بیشتر فرو گردد. عمق فرورفتگی فروسنج در کارت ثبت شود. اگر فروسنج به سنگ برخورد کرد، نقطه دیگری انتخاب و دوباره آزمون انجام گردد.

۴-۳- نفوذپذیری

اگر سطح خاک تا عمق۷ سانتی‌متری خشک باشد، این آزمایش باید دو بار انجام گیرد و زمان آزمایش دوم به عنوان نتیجه این آزمون ثبت گردد. اگر خاک در حد ظرفیت مزرعه‌ای (خیس) یا اشباع باشد، ۲ روز باید صبر کرد تا خاک به اندازه کافی خشک و آماده آزمایش نفوذپذیری بشود. نفوذپذیری بالاتر بدین معنا است که خاک در مدت زمان کوتاهتری آب باران را در خود نفوذ داده و رواناب و فرسایش کمتر خواهد بود.

- بدون به هم زدن خاک، سطح خاک از بقایای گیاهی تمیز گردیده یا پوشش گیاهی تا سطح خاک بریده شود.
- استوانه تا عمق ۷-۵ سانتی‌متری در خاک قرار داده شود. دقت شود که استوانه در خاک تا حد امکان باید تراز باشد. به آرامی خاک اطراف دیواره داخلی استوانه فشار داده شود تا درز و ترک‌ها پوشانده شده و از نشت آب جلوگیری شود.
- با دقت ۵۰۰ میلی‌لیتر آب در داخل استوانه ریخته و زمان یادداشت شود (زمان شروع).
- وقتی که آب در خاک نفوذ کرد و سطح براق خاک کاملاً پدیدار گردید، زمان توقف آزمایش است (زمان پایان). اگر سطح کف استوانه ناهموار باشد، زمان پایان هنگامی است که بیش از ۵۰٪ سطح براق خاک نمایان گردد.

۴-۴- تنوع زیستی خاک

چارگوش به صورت تصادفی در مزرعه پرتاب گردد. در این چارچوب، سطح خاک برای شناسایی انواع حشرات و حیوانات خاک بررسی شود. در محدوده چارچوب به آرامی بقایا برگردانده شده و موجودات زنده دوباره بررسی گردد. تعداد گونه‌های مختلف جانداران خاکزی مانند مورچه‌ها، کنه‌ها، عنکبوت، هزارپا و کرم‌ها، ثبت شود. در این آزمایش تعداد جمعیت مهم نیست، بلکه تعداد گونه‌ها مد نظر می‌باشد. برای مثال، یک صف مورچه به عنوان یک گونه شمارش می‌شود.

۴-۵- توسعه ریشه

با استفاده از بیلچه یک چاله با قطر و عمق ۲۰ سانتی‌متر حفر گردد. بلوک خاک از زمین بیرون آورده شده و در صفحه نایلونی گذارده شود. به هنگام در آوردن خاک، حتی‌الامکان شکل بلوک خاک حفظ شده و از هم پاشیده نشود. گستردگی و توزیع ریشه‌ها بررسی و در کارت ثبت گردد. توزیع ریشه‌های فرعی ریز نشان می‌دهد که آیا ساختمان خاک رشد ریشه و در نتیجه، دسترسی گیاه به عناصر غذایی را محدود می‌نماید یا خیر؟

۴-۶- ساختمان خاک

مقداری از خاک نزدیک سطح اولیه بلوک خاک برداشته شود. اندازه و ترتیب قرار گرفتن خاکدانه‌ها بررسی گردد. شکنندگی، سختی، اندازه ذرات شکسته شده و بی‌شکلی (مانند ساختمان شنی) بررسی و ثبت شود.

۴-۷- ثبات خاکدانه‌ها

سه یا چهار عدد از خاکدانه‌های خاک (به اندازه تقریبی یک عدس) از عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک تهیه و در شیشه دهان گشاد که حاوی ۱۲۵ میلی‌لیتر آب است، قرار داده شود. پس از یک دقیقه، مشاهده گردد که آیا خاکدانه‌ها از هم پاشیده شده‌اند یا سالم باقی مانده‌اند. اگر سالم مانده‌اند، به آرامی چند بار شیشه با حرکت چرخشی بهم زده شود و خاکدانه‌ها دوباره بررسی گردد. اگر هنوز هم سالم باشند، شیشه با شدت تکان داده شود و دوباره بررسی گردد. نتایج در کارت ثبت شود. آزمایش برای عمق ۲۰ سانتی‌متری نیز تکرار گردد.

۴-۸- کرم‌های خاکی

بلوک خاکی برروی صفحه نایلون به قطعات کوچکتر شکسته شود. تعداد کرم‌های خاکی بزرگتر از ۲۵ میلی‌متر شمارش و ثبت گردد. تعداد زیاد کرم‌های خاکی بیانگر شرایط مساعد است (ماده آلی بیشتر، pH مناسب، بقایای شیمیایی پایین). در اکثر موارد این شرایط برای رشد گیاه نیز مساعد است.

۴-۹- رنگ برگ‌ها

بررسی گیاهان زراعی، باغی و مرتعی و درختان محل مورد آزمایش می‌تواند برخی از مشکلات مربوط به سلامت گیاه را نشان دهد. در مزرعه یا باغ برگ‌های کامل (در حدود چهار ردیف پایینتر از نقطه رشد) بررسی گردد. برگ‌های جوان در سرشاخه‌ها معمولاً به طور طبیعی قرمز یا رنگ پریده می‌باشند، در حالی که برگ‌های پیر در انتهای ساقه ممکن است لکه‌دار باشند که امری طبیعی است.

۴-۱۰- فرسایش

با فرو کردن چند چوب (برای مثال، با ابعاد ۱۰×۵ سانتی‌متر) در نقاط مختلف مزرعه یا باغ، می‌توان پس از هر بارندگی میزان رسوب‌گذاری در سطح درونی قطعه چوب را بررسی کرد.

نمونه‌ای از کارت سلامت خاک

کارت سلامت خاک

تاریخ: ..... مکان: ..... نوع خاک: .....

نوع و تعداد خاک‌ورزی: ..... رطوبت خاک: ☐ خشک ☐ مرطوب ☐ خیس ☐ مانداب

تناوب زراعی (محصول یا محصولات کشت شده): ..... عملکرد: .....

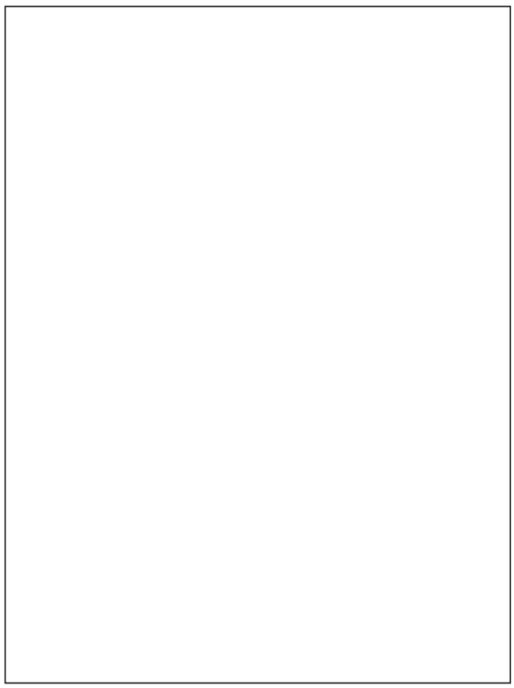
تاریخ کاربرد و مقدار کود دامی: ..... تاریخ کاربرد و مقدار انواع دیگر مواد آلی: .....

تاریخ کاربرد، نوع و مقدار کود شیمیایی: ..... تاریخ کاربرد، نوع و مقدار آفت‌کش: .....

نتایج ◄	ضعیف	متوسط	خوب	امتیاز آزمایش (۹-۱)					
آزمایش ▼	۱ --- ۲ --- ۳	۴ --- ۵ --- ۶	۷ --- ۸ --- ۹	۱	۲	۳	۴	۵	میانگین
۱- پوشش زمین	کمتر از ۵۰ درصد	۵۰ تا ۷۰ درصد	بیشتر از ۷۵ درصد						
۲- فروسنج	میله فرو نمی‌رود	به سختی کمتر از ۲۰ سانتی‌متر	به راحتی تا ۲۰ سانتی‌متر						
۳- نفوذپذیری	بیشتر از ۷ دقیقه	۳ تا ۷ دقیقه	کمتر از ۳ دقیقه						
۴- تنوع جانداران	کمتر از ۲ گونه	۲ تا ۵ گونه	بیشتر از ۵ گونه						
۵- توسعه ریشه	تعداد کمی از ریشه‌های ریز فقط در نزدیکی سطح	مقداری ریشه‌های ریز اکثراً نزدیک سطح	مقدار زیادی ریشه‌های ریز در همه جا						
۶- ساختمان خاک	غالباً به شکل کلوخه‌ای یا سله سطحی، تعداد اندکی خاکدانه‌های نرم و اسفنجی	تعدادی کلوخه ولی تعداد زیادی خاکدانه‌های اسفنجی ۱۰ میلی‌متری	ترد، به راحتی به خاکدانه‌های ۱۰ میلی‌متری شکسته می‌شود						
۷- ثبات خاکدانه‌ها عمق ۱۰ سانتی‌متر عمق ۲۰ سانتی‌متر	خاکدانه‌ها در کمتر از ۱ دقیقه متلاشی شدند.	خاکدانه‌ها پس از ۱ دقیقه سالم ماندند.	خاکدانه‌ها پس از چرخاندن سالم ماندند.						
۸- کرمهای خاکی	۰-۳	۴-۶	بیشتر از ۶						
۹- رنگ برگ	گیاهان کم رشد، رنگ‌پریدگی برگ	برخی تغییرات در رشد و رنگ	رنگ برگ مناسب و رشد گیاه یکنواخت						

کروکی محل

(مکان‌های نمونه‌برداری، تغییر در نوع خاک و غیره)



یادداشت‌ها

آزمایش	توضیحات و تفسیر
۱	
۲	
۳	
۴	
۵	
۶	
۷	
۸	
۹	

منابع مورد استفاده

۱- ابطحی، ع.، ش. حاج رسولیها، غ. حق نیا، ح. سیادت، م. کلباسی اشتری و م. مفتون. ۱۳۷۹. فرهنگ کشاورزی و منابع طبیعی، جلد دهم: خاکشناسی. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

۲- احمدی، ح. ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در بیابان‌زایی. فصلنامه جنگل و مرتع، شماره ۶۲، ص ۷۲-۶۶.

۳- اختصاصی، م.ر. و س.م. موسوی. ۱۳۸۴. شناخت علل، کنترل و مدیریت بیابان‌زایی انسانی رویکرد جدید در برنامه ملی مدیریت مناطق بیابانی کشور. جنگل و مرتع. شماره ۶۶، ص ۱۶-۱۴.

۴- باطنی، م. ۱۳۸۲. با آبخیزداری بیشتر آشنا شویم. دفتر برنامه ریزی رسانه های ترویجی، معاونت ترویج و نظام بهره برداری، وزارت جهاد کشاورزی، ۳۲ ص.

۵- بافکار، ع. و ح.ر. مجردی. ۱۳۸۵. حفاظت آب و خاک. انتشارات دانشگاه رازی، کرمانشاه، ۲۰۱ ص.

۶- بی‌نام. ۱۳۸۳. مفاهیم و تعاریف. فصلنامه کشاورزی پایدار، شماره فروردین، ص ۲.

۷- بی‌نام. ۱۳۸۴. مفاهیم و تعاریف. فصلنامه کشاورزی پایدار، شماره بهار و تابستان، ص ۴.

۸- بی‌نام. ۱۳۸۵. مفاهیم و تعاریف. فصلنامه کشاورزی پایدار، شماره آذر و دی، ص ۱.

۹- بی‌نام. ۱۳۸۶ الف. مفاهیم و تعاریف. فصلنامه کشاورزی پایدار، شماره ۱، ص ۷۴-۷۳.

۱۰- بی‌نام. ۱۳۸۶ ب. مفاهیم و تعاریف. فصلنامه کشاورزی پایدار، شماره ۳، ص ۵۲-۵۱.

۱۱- تاجبخش، م، ع. حسن زاده قورت تپه و ب. درویش زاده. ۱۳۸۴. کودهای سبز در کشاورزی پایدار. انتشارات جهاد دانشگاهی آذربایجان غربی، ارومیه، ۲۱۶ ص.

۱۲- حسینی، س.ص. و م. قربانی. ۱۳۸۴. اقتصاد فرسایش خاک. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۲۸ ص.

۱۳- خورسندی، ف. ۱۳۸۶. گلخانه و کشاورزی پایدار. فصلنامه کشاورزی پایدار، سال ۴، شماره ۳، ص ۳۱-۲۰.

۱۴- خورسندی، ف.، ح. قدسی، م. پرتوآذر، ا. مرادی و ز. صبوری. ۱۳۸۶. کاهش تلفات آب از خاک با استفاده از مالچ پوکه معدنی. فصلنامه کشاورزی پایدار، شماره ۱، ص ۵۶-۴۷.

۱۵- خورسندی، ف.، س.ج. حسینی عزآبادی و س. سعادت. ۱۳۸۴. خاک‌ورزی حفاظتی در کشاورزی ارگانیک. نشریه فنی شماره ۴۲۰، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج. ۲۹ ص.

۱۶- دامغانی، ع.م.، ع. کوچکی و پ. رضوانی مقدم. ۱۳۸۳. شاخصهای پایداری، ابزاری برای کمّی کردن مفاهیم کشاورزی بوم شناختی. علوم محیطی، شماره ۴، ص ۱۰-۱.

۱۷- درویش، م. ۱۳۸۴. درآمدی بر ضرورت پایش پایداری زیست‌بوم تمهیدی برای کاستن از شتاب فرآیندهای بیابان‌زایی در ایران. فصلنامه جنگل و مرتع، شماره ۶۶، ص ۲۶-۱۷.

۱۸- رزاقی، ح. ۱۳۸۲. امنیت غذایی و منابع طبیعی. فصلنامه جنگل و مرتع، شماره ۵۹، ص ۴.

۱۹- رضایی، س.ع. ۱۳۸۳. کمینه متغیرهای لازم برای ارزیابی کیفیت خاک رویشگاه‌های مرتعی مناطق نیمه خشک البرز مرکزی. فصلنامه جنگل و مرتع. شماره ۶۳، ص ۱۹-۱۲.

۲۰- رفاهی، ح. ۱۳۸۳. فرسایش بادی و کنترل آن. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۳۲۰ ص.

۲۱- رفاهی، ح. ۱۳۸۵. فرسایش آبی و کنترل آن. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۶۷۱ ص.

۲۲- رفیعی امام، ع. و غ. زهتابیان. ۱۳۸۴. روش تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی. جنگل و مرتع. شماره ۶۶، ص ۱۳-۶.

۲۳- علیزاده، ا. ۱۳۸۳. فیزیک خاک. مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۴۳۸ ص.
۲۴- فوت، د. هنری. ۱۳۸۲. مبانی خاکشناسی. (مترجمین) ش. محمودی و م. حکیمیان، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۷۰۰ ص.
۲۵- کوچکی، ع. م. حسینی و ا. هاشمی دزفولی. ۱۳۷۹. کشاورزی پایدار (چاپ سوم). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۶۲ ص.
۲۶- لال، ر.ل. و ف.ج. پی یرس. ۱۳۷۶. مدیریت پایدار خاک (چاپ دوم). (مترجمین) غ. حق نیا و ع.ک.چکی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۰۴ ص.
۲۷- لال، راتان. ۱۳۷۸. رهنمودها و روشهای ارزیابی استفاده پایدار از منابع خاک و آب در مناطق گرمسیری. (ترجمه) م.ع. حاج عباسی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۰۳ ص.
۲۸- مؤمنی، ع. ۱۳۸۴. وسعت و پراکنش جغرافیایی خاک‌های مسئله‌دار. در *خاک‌های ایران: تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره‌برداری*. ص ۲۱۲-۲۰۰. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۲۹- مسلمی، ع. ۱۳۸۵. توسعه پایدار روستایی با تأکید بر سیستم انسان و محیط. ماهنامه جهاد، شماره ۲۷۰، ص ۱۴۹-۱۲۹.
۳۰- مظاهری، د. ۱۳۷۶. زراعت مخلوط. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۲۶۲ ص.
۳۱- معظمی، ن. ۱۳۸۲. چکیده طرح کاشت دانه‌های روغنی با آب دریا. پژوهشکده بیوتکنولوژی، سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران.
۳۲- ملکوتی، م.ج.، پ. کشاورز، س. سعادت و ب. خلدبرین. ۱۳۸۲. تغذیه گیاهان در شرایط شور. انتشارات سنا، تهران.
۳۳- ملکوتی، م.ج. و م. همایی. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک: مشکلات و راه حل‌ها (چاپ دوم). دفتر نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۵۰۸ ص.
۳۴- ملکوتی، م.ج. و م.ر. بلالی. ۱۳۸۳. مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی (مجموعه مقالات). نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران، ۵۷۵ ص.

۳۵- هاتفیلد، جی. ال. و دی. ال. کارلن. ۱۳۷۶. نظام‌های کشاورزی پایدار. (مترجمین) ع. کوچکی، م. حسینی و ح.ر. خزاعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۸۸ ص.

۳۶- همایی، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول، تهران، ۹۸ ص.

37- Al-Garni, SMS. 2006. Increasing NaCl - salt tolerance of a halophytic plant *Phragmites australis* by mycorrhizal symbiosis. American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci., 1(2):119-126.

38- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1994. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization (FAO) of the united Nation, Irrigation and Drainage Paper 29 (Rev). Rome.

39- Bashan, Y., M. Moreno, M.E. Puente, G. Holguin, P. Vazquez, E. Troyo and B.R. Glick. 2000. Inoculation of marine plants with marine plant growth promoting bacteria and halotolerant *Azospirillum* - A novel approach of employing PGPBs for environmental use and seawater agriculture. *In* Proceedings of the 5th International Growth-Promoting Rhizobacteria Conference.

40- Beare, M.H., K.C. Cameron, P.H. Williams and C. Doscher. 1997. Soil quality monitoring for sustainable agriculture. Proc. 50th New Zealand Plant Protection Conference, New Zealand, pp. 520-528.

41- Carter, M.R., E.G. Gregorich, D.W. Anderson, J.W. Doran, H.H. Janzen and F.J. Pierce. 1997. Concepts of soil quality and their significance. *In* E.G. Gregorich and M. Carter (Eds.), Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Elsevier Science Publishers, the Netherlands, pp. 1-19.

42- Doran J.W. and M.R. Zeiss. 2000. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. Applied Soil Ecology, 15:3-11.

43- Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. *In* J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek and B.A. Stewart (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Sci. Soc. Am. Special Publication No. 35, SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 3-21.

44- Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1996. Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. *In* J.W. Doran and A.J. Jones (Eds.), Method for Assessing Soil Quality. Soil Sci. Soc. Am. Special Publication No. 49, SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 3-21.

45- Dumanski, J. 1997. Criteria and indicators for land quality and sustainable land management. ITC Journal, 1997-3/4:216-222.

46- Edwards, C.A. and P.J. Bohlen. 1996. Biology and Ecology of Earthworms. Chapman and Hall, New York, 426 pages.

47- FAO. 1989. Sustainable Development and Natural Resources Management. 25th Conference, Paper C 89/2-Sup. 2, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

48- FAO. 1991. Issues and Perspectives in Sustainable Agriculture and Rural Development. Main document No. 1 DAO/Netherlands Conference on Agriculture and Environment. S-Hertogenbosch, the Netherlands, April 15-19, FAO, Rome.
49- FAO. 2005. Agricultural trade and poverty: Can trade work for the poor? Food and Agriculture Organization of the UN, Rome.
50- Flowers, T.J., M.A. Hajibagheri and N.J.W. Clipson. 1986. Halophytes. Quart. Rev. Biol. 61:313-337.
51- Gruhn, P., F. Goletti and M. Yudelman. 2000. Integrated Nutrient Management, Soil Fertility and Sustainable Agriculture: Current Issues and Future Challenges. Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 32, International Food Policy Research Institute, Washington D.C.
www.ifpri.org/sites/default/files/publications/2020dp32.pdf
52- Hammond, A.L. (ed.). 1992. World Resources 1992-3. Oxford University Press, Oxford.
53- Hillel, D. 1982. Introduction to Soil Physics. Academic Press, New York.
54- Hillel, D. 1992. Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil. The Free Press, New York.
55- Jackson, J.A. 1997. Glossary of Geology (4^{th} edition). American Geological Institute, Alexandria, VA.
56- Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris and G.E. Schuman. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J., 61:4-10.
57- Karlen, D.L., S.S. Andrews and J.W. Doran. 2001. Soil quality: Current concepts and applications. *In* D.L. Sparks (ed.), Advances in Agronomy Volume 74. Academic Press, San Diego, California, pp. 1-40.
58- Khorsandi, F. 1994a. Phosphorous fractions in two calcareous soils as affected by sulfuric acid application. J. Plant Nutr. Vol. 17(9):1599-1609.
59- Khorsandi, F. 1994b. Sulfuric acid effects on iron and phosphorous availability in two calcareous soils. J. Plant Nutr. Vol. 17(9):1611-1623.
60- Kok, H., R.K. Taylor, R.E. Lamond S. Kessen. 1996. Soil compaction: Problems and solutions. AF-115, Cooperative Extension Service, Kansas State University, Manhattan.
http://www.ksre.ksu.edu/library/CRPSL2/AF115.pdf
61- Kruse, J.S. 2007. Framework for sustainable soil management: Literature review and synthesis. SWCS special publication 2007-001. http://www.swcs.org/documents/filelibrary/BeyondTliteraturereview.pdf
62- Larson, W.F. and F.J. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. *In* J. Dumanski et al. (Eds.), Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World. Volume 2: Technical Papers. Proceedings of the International Workshop, Chiang Rai, Thailand, Sept. 15-12, pp. 175-203.
63- Le Houerou, H.N. 1993. Salt-tolerant plants for the arid regions of the Mediterranean isoclimatic zone. *In* H. Leith and A. Al Masoom, eds., Towards the rational use of high salinity tolerant plants. Tasks in

Vegetation Science, 27:403-422, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
64- Letey, J., R.E. Sojka, D.R. Upchurch, D.K. Cassel, K.R. Olson, W.A. Payne, S.E. Petrie, G.H. Price, R.J. Reginato, H.D. Scott, P.J. Smethurst and G.B. Tripplett 2003. Deficiencies in the soil quality concept and its application. Journal of Soil and Water Conservation, 58(4):180-187.
65- Mahler, R.L, C. Williams, K.A. Bechinski, E.J. Rynk and G.P. Carpenter. 1996. Sustainable Agriculture: Concepts, promises and challenges. University of Idaho Sustainable Agriculture Team, Univ. of Idaho, USA.
66- Marschner, P. and K. Baumann. 2003. Changes in bacterial community structure induced by mycorrhizal colonization in split-root maize. Plant and Soil, 251:279-289.
67- Moomaw, R, G. Lesoing and C. Francis. 1996. Two crops in one year: Doublecropping. NebGuide G91-1025, Coop. Ext., Univ. Lincoln, Nebraska.
68- Moomaw, R, G. Lesoing and C. Francis. 1996. Two crops in one year: Relay Intercropping. NebGuide G91-1024-A, Coop. Ext., Univ. Nebraska, Lincoln.
69- Norman, D., R. Janke, S. Freyenberger, B. Schurle and H. Kok. Undated. Defining and implementing sustainable agriculture. Sustainable Agriculture Series, Paper #1.
http://www.kansassustainableag.org/Library/ksas1.htm
70- Oldeman, L.R. 1994. The global extent of soil degradation. *In* D.J. Greenland and I. Szabolcs (Eds.), Soil Resilience and Sustainable Land Use. CAB International, Wallingford, UK, pp. 99-118.
71- Oldeman, L.R., R.T.A. Hakkeling and W.G. Sombroek. 1991. World map of status of human induced soil degradation: An explanatory note. Soil Formation and Reference Center, Wageningen, the Netherlands.
72- Papendick, R.I. (ed.) 1991. International conference on the assessment and monitoring of soil quality: Conference report and abstracts. Rodale Institute, Emmaus, PA.
73- Rao, N.H. and P.P. Rogers. 2006. Assessment of agricultural sustainability. Current Science, 91(4):439-448.
74- Reganold, J.P. 1988. Comparison of soil properties as influenced by organic and conventional farming systems. American Journal of Alternative Agriculture, 3:144-155.
75- Sharma, A.K. 2004. A Handbook of Organic Farming. Agrobios, Jodhpur, India.
76- Shepherd, G., F. Stagari, M. Pisate and J. Benites. 2008. Visual Soil Assessment Field Guide: Annual Crops. FAO, Rome. www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=128&Itemid=165&lang=en
77- Soil Quality Institute. 1999. Soil Quality Test Kit Guide. NRCS, ARS-USDA. http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/test_kit_complete.pdf
78- Soil Science Society of America. 1987. Glossary of Soil Science Terms. SSSA, Madison, WI. https://www.soils.org/publications/soils-glossary

79- Sullivan, P. 2002. Drought resistant soil. ATTRA, National Sustainable Agriculture Information Service. http://www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/drought.pdf
80- Sullivan, P. 2004. Sustainable soil management. ATTRA, National Sustainable Agriculture Information Service. http://www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/soilmgmt.pdf
81- Szabolcs, I. 1989. Salt-affected soils. CRC Press, Boca Raton, Florida, p 274.
82- Tandon, H.L.S., and R.N. Roy. 2004. Integrated Nutrient Management – A Glossary of Terms. jointly published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi. http://www.fao.org/ag/agp/ipns/index_en.jsp
83- Tawfik, M.M. A.A. Bahr and A.K.M. Salem. 2006. Response of Kaller grass (*Leptochloa fusca* L.) to biofertilizer inoculation under different levels of seawater irrigation. J. Applied Sciences Research, 2(12):1203-1211.
84- Tuckombil Landcare Inc. 2002. Northern Rivers Soil Health Card. http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/168703/northern-rivers-soil-health-card.pdf
85- USDA NRCS (National Resource Conservation Service). 2003. Protecting urban soil quality: Examples for landscape codes and specifications. http://soils.usda.gov/sqi/files/UrbanSQ.pdf
86- Vazquez, P., G. Holguin, M.E. Puente, A. Lopez-Cortes and Y. Bashan. 2000. Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves growing in a semiarid coastal lagoon. Biol. Fertil. Soils., 30:460-468.
87- Wang, Z., A.C. Chang, L. Wu and D. Crowley. 2003. Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland. Geoderma, 114:262-278.

View publication stats