دکتر افشین سلطانی
با همکاری مهندس عبدالرحمان میرزائی

کشاورزی پایدار

بسم الله الرحمن الرحيم

کشاورزی پایدار

تالیف:

افشین سلطانی

با همکاری عبدالرحمان میرزائی

۱۴۰۰

سرشناسه	:	سلطانی، افشین، ۱۳۵۰- Soltani, Afshin
عنوان و نام پدیدآور	:	کشاورزی پایدار/تالیف افشین سلطانی، با همکاری عبدالرحمان میرزائی
مشخصات نشر	:	گرگان: واژگان سیرنگ، ۱۴۰۰
مشخصات ظاهری	:	۳۸۴ ص.: مصور، جدول، نمودار
شابک	:	978-622-6595-11-7
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	کتابنامه: ص. ۳۸۱ - ۳۸۴
موضوع	:	کشاورزی پایدار Sustainable agriculture
شناسه افزوده	:	میرزایی، عبدالرحمان، ۱۳۶۸-
رده بندی کنگره	:	S۴۹۴/۵
رده بندی دیویی	:	۳۳۸/۱۴
شماره کتابشناسی ملی	:	۸۶۸۷۲۵۹
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا

نام کتاب: کشاورزی پایدار

نویسنده: افشین سلطانی با همکاری عبدالرحمان میرزائی

ناشر: انتشارات واژگان سیرنگ

نوبت چاپ: اول

مشخصات ظاهری: ۳۸۴ صفحه

تاریخ نشر: ۱۴۰۰

شمارگان: ۱۵۰

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۵۹۵-۱۱-۷

چاپ: مکی

امور توزیع و فروش: گرگان، خیابان ولیعصر، بین عدالت ۱۴ و ۱۶، مجتمع صدرا، طبقه ۲

تلفن و نمابر: ۳۲۳۴۹۹۱۶

پیش‌گفتار

کتاب *کشاورزی پایدار* به‌عنوان یک کتاب درسی برای درسی به همین نام در مقطع کارشناسی رشته‌های کشاورزی تهیه شده است. اما کتاب دارای مطالب مفید مرتبط با اثرات زیست‌محیطی کشاورزی و اصول و روش‌های پایدارسازی کشاورزی می‌باشد و می‌تواند مورد استفاده همه علاقمندان قرار گیرد. این کتاب حاصل چندین سال تدریس درس ذکر شده می‌باشد که مطالب و جزوه مربوطه با کمک آقای مهندس عبدالرحمان میرزائی پیاده‌سازی و ویرایش شده است. نسخه الکترونیک کتاب (PDF) به رایگان با ارسال ایمیل به Afshin.Soltani@gmail.com در اختیار همگان قرار دارد. کسانی که مایل به دریافت نسخه چاپی کتاب هستند با ناشر کتاب با ایمیل Sirang.graphic@gmail.com تماس بگیرند.

کتاب در دو قسمت و ۱۵ فصل سامان‌دهی شده است:

۱- موضوع چیست؟
۲- زوال و نابودی تنوع زیستی
۳- تغییر اقلیم: سرشت و دلایل
۴- تغییر اقلیم: اثرات و پیامدها
۵- زوال و تخریب منابع زمین و خاک
۶- زوال و نابودی منابع آب
۷- چه باید کرد؟ (اصول کشاورزی پایدار)
۸- کاهش فشار بر کشاورزی
۹- کاهش ردپای کربن (تغییر اقلیم)
۱۰- مدیریت پایدار تنوع زیستی و آفات
۱۱- مدیریت پایدار زمین و خاک
۱۲- مدیریت پایدار منابع آب
۱۳- فشرده‌سازی اکولوژیک
۱۴- سیستم‌های کشاورزی پایدار
۱۵- کشاورزی پایدار در ایران

قسمت اول کتاب مشتمل بر شش فصل به بیان مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با کشاورزی می‌پردازد. در این فصول اثرات زیان‌بار کشاورزی بر محیط‌زیست در بخش‌های مرتبط با اتمسفر (هوا)، منابع زیستی (تنوع زیستی)، منابع زمین و خاک و منابع آب توضیح داده شده‌اند. در قسمت دوم کتاب مشتمل بر هشت فصل، روش‌هایی برای کاهش اثرات منفی کشاورزی در این بخش‌ها و یا بهبود آن‌ها ارایه شده‌اند. در همه فصول، مشکلات و مسائل کشاورزی کشور مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در سه فصل به تغییر اقلیم و اثرات آن در کشاورزی پرداخته شده است که مطالب مشابه به فارسی کمتر در دسترس می‌باشد. مهمترین مشکل مرتبط با کشاورزی در کشور و شاید مهمترین مشکل در کل کشور مسئله اضافه برداشت از منابع آب است که مثل سرطانی بدخیم در حال نابودی محیط‌زیست، منابع طبیعی و کشاورزی کشور می‌باشد و متأسفانه توجه کافی و کل‌نگر به این مسئله نمی‌شود. در دو فصل به این موضوع پرداخته شده است. این دو فصل به همراه فصل آخر کتاب، فصل‌های کلیدی و بسیار مهم این کتاب هستند. در فصل آخر به کشاورزی پایدار در ایران پرداخته شده است و پیشنهاداتی به صورت برنامه‌های راهبردی برای برون‌رفت از شرایط حاضر ارایه شده است.

منابع مورد استفاده در انتهای کتاب فهرست شده‌اند ولی متأسفانه در داخل کتاب ارجاعات کافی و دقیق به آن‌ها نشده است که تلاش می‌شود در ویرایش‌های بعدی این کمبود رفع گردد.

هر فصل کتاب برای ارایه در یک جلسه کلاس درس تهیه شده است. فرض شده یک جلسه نیز در طول ترم برای ارزیابی یا سایر موارد اختصاص یافته باشد. برای مدرسین محترم این درس اسلایدهای درس برای ۱۵ جلسه موجود است که می‌توانند با ارسال ایمیل به نگارنده (Afshin.Soltani@gmail.com) آن‌ها را دریافت کنند.

افشین سلطانی

شهریور ماه ۱۴۰۰ – گرگان

فهرست عناوین

۱- فصل اول: موضوع چیست؟ ۱

۱-۱- مفهوم پایداری ۱

۱-۲- فعالیت‌های بشر و محیط زیست ۲

۱-۳- مرزهای سیاره‌ای ۵

۱-۳-۱- تغییر اقلیم ۶

۱-۳-۲- آلودگی‌های شیمیایی و رها شدن مواد نوظهور در محیط ۸

۱-۳-۳- تخلیه ازون استراتسفر ۹

۱-۳-۴- اضافه شدن ریزگردها به اتمسفر ۱۰

۱-۳-۵- اسیدی‌شدن اقیانوس‌ها ۱۲

۱-۳-۶- جریان نیتروژن و فسفر به بیوسفر و اقیانوس‌ها ۱۳

۱-۳-۷- مصرف آب شیرین و چرخه هیدرولوژیک جهانی ۱۵

۱-۳-۸- تغییر سیستم زمین ۱۷

۱-۳-۹- از دست رفتن انسجام بیوسفر (از دست رفتن و خاموشی تنوع زیستی) ۱۷

۱-۴- جمع‌بندی ۱۹

۲- فصل دوم: زوال و نابودی تنوع زیستی ۲۱

۲-۱- زوال تنوع زیستی ۲۱

۲-۲- مهم‌ترین دلایل زوال تنوع زیستی ۲۳

۲-۳-کشاورزی و کاهش تنوع زیستی ۲۵

۲-۳-۱- تغییر کاربری اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی ۲۷

۲-۳-۲- بهره‌برداری بیش از حد از جنگل‌ها و مراتع ۲۸

۲-۳-۳- کاهش کیفیت اکوسیستم‌ها در اثر کشاورزی ۲۸

۲-۳-۴- ورود یا ظهور گونه‌های مهاجم ۳۰
۲-۳-۵- تغییر اقلیم ۳۰
۲-۳-۶- ساده‌شدن تناوب زراعی و تبدیل چند کشتی به تک‌کشتی ۳۱
۲-۳-۷- اتکا به تعداد کمتر گونه، نژاد و رقم ۳۱
۲-۴- پیامدهای کاهش تنوع زیستی ۳۲
۲-۴-۱- خدمات تأمینی ۳۳
۲-۴-۲- خدمات تنظیمی و پشتیبانی ۳۴
۲-۴-۳- خدمات فرهنگی ۳۷
۲-۵- نتیجه‌گیری کلی ۳۷
۲-۶- خلاصه ۳۹

۳- فصل سوم: تغییر اقلیم (سرشت و دلایل) ۴۱
۳-۱- ماهیت تغییر اقلیم ۴۲
۳-۱-۱- طیف‌های تشعشع ۴۲
۳-۱-۲- اثر گلخانه‌ای ۴۳
۳-۱-۳- گازهای گلخانه‌ای ۴۶
۳-۱-۴- افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ۴۷
۳-۲- کشاورزی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ۴۹
۳-۲-۱- دی‌اکسیدکربن ۴۹
۳-۲-۲- متان ۵۱
۳-۲-۳- اکسید نیتروژن ۵۴
۳-۳- مؤلفه‌های تغییر اقلیم ۵۶
۳-۴- تغییر اقلیم کشور در سال‌های گذشته ۶۰
۳-۵- پیش‌بینی اقلیم یا آب‌وهوای آینده ۶۱

۳-۶- خلاصه ۶۱

٤- فصل چهارم: تغییر اقلیم (اثرات و پیامدها) ٦٣

۴-۱- مدل عمومی گردش یا مدل عمومی اقلیم ۶۴

۴-۲- سناریوهای تغییر اقلیم ۶۵

۴-۳- پیامدهای تغییر اقلیم در کشاورزی ۷۵

۴-۳-۱- اثر دی‌اکسیدکربن بر رشد و عملکرد گیاهان ۷۶

۴-۳-۲- اثر دما بر رشد و عملکرد گیاهان ۷۷

۴-۳-۳- پیامد کوتاه شدن فصل رشد در اثر افزایش دما ناشی از تغییر اقلیم ۷۸

۴-۳-۴- رشد و عملکرد در واحد سطح در شرایط کشت آبی ۸۱

۴-۳-۵- رشد و عملکرد در واحد سطح در شرایط کشت دیم ۸۲

۴-۳-۶- رشد و عملکرد گیاهان در شرایط کشور ۸۳

۴-۳-۷- تأثیر رویدادهای اکستریم ناشی از تغییراقلیم بر رشد و عملکرد گیاهان ۸۵

۴-۳-۸- تأثیر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز ناشی از تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گیاهان ... ۸۶

۴-۳-۹- تغییرات خاک ناشی از تغییر اقلیم و تاثیر آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاهان ۸۷

۴-۳-۱۰- واکنش نیاز آبیاری گیاهان به تغییر اقلیم ۸۷

۴-۴- خلاصه ۹۳

٥- فصل پنجم: زوال و تخریب منابع زمین و خاک ٩٥

۵-۱- تغییر کاربری اراضی (جنگل‌زدایی) ۹۶

۵-۲- کاهش ماده آلی ۹۹

۵-۳- تخلیه عناصر غذایی ۱۰۴

۵-۴- فرسایش خاک ۱۰۸

۵-۵- بیابانی‌شدن ۱۱۳

۵-۶- شور شدن خاک ۱۱۵
۵-۷- آلودگی خاک ۱۱۸
۵-۸- برخی آمارها ۱۲۰
۵-۹- خلاصه ۱۲۳

٦- فصل ششم: تخریب و زوال منابع آب ۱۲۵
۶-۱- اضافه برداشت آب ۱۲۶
۶-۱-۱-مفاهیم پایه ۱۲۶
۶-۱-۲-مراحل، نشانه‌ها و پیامدهای اضافه برداشت آب ۱۳۱
۶-۱-۳-اضافه برداشت آب در کشور ۱۳۶
۶-۱-۴-فرونشست زمین ۱۴۱
۶-۱-۵-شورشدن سفره‌های آبی ۱۴۱
۶-۲- ذخیره‌سازی سطحی آب در مقیاس وسیع (احداث بندهای بزرگ و سدها) ۱۴۳
۶-۳- آلودگی منابع آب ۱۴۴
۶-۴- آلودگی منابع آب با عناصر غذایی- یوتریفیکاسیون ۱۴۶
۶-۵- خلاصه ۱۴۸
۶-۶- ضمیمه ۱۴۹

۷- فصل هفتم: چه باید کرد؟ (اصول کشاورزی پایدار) ۱۵۳
۷-۱- چه باید کرد؟ راه‌حل چیست؟ ۱۵۳
۷-۲- تاریخچه کشاورزی پایدار ۱۵۴
۷-۳- دیدگاه‌ها در کشاورزی پایدار ۱۵۵
۷-۴- تعریف و شرایط کشاورزی پایدار ۱۵۶
۷-۵- اصول کلیدی مرتبط با پایداری در کشاورزی ۱۵۶

۷-۶- نقاط قوت سیستم‌های طبیعی..... ۱۵۸
۷-۷- مقایسه ویژگی‌های اکوسیستم‌های طبیعی، مدرن و پایدار..... ۱۶۰
۷-۸- استفاده کمتر از نهاده‌های بیرونی: بهینه‌سازی به‌جای حداکثرسازی..... ۱۶۲
۷-۹- دایره به جای خط..... ۱۶۴
۷-۱۰- دسته‌بندی روش‌های توصیه‌شده برای پایداری..... ۱۶۶
۷-۱۱- همپوشانی و شبکه‌ای بودن روش‌های پایدارسازی..... ۱۶۸
۷-۱۲- شرایط موفقیت..... ۱۷۰
۷-۱۳- چارچوب به‌کارگیری روش‌ها در مزرعه..... ۱۷۲
۷-۱۴- هدف‌گذاری اتحادیه اروپا و چین برای پایداری کشاورزی..... ۱۷۳
۷-۱۵- خلاصه..... ۱۷۵

۸- فصل هشتم: کاهش فشار بر کشاورزی..... ۱۷۷
۸-۱- تلفات-ضایعات..... ۱۷۸
۸-۱-۱- تلفات-ضایعات در زنجیره تأمین یا عرضه غذا..... ۱۷۹
۸-۱-۲- تلفات - ضایعات: هدر رفتن منابع به ازای آلودگی‌های رخ‌داده..... ۱۸۳
۸-۱-۳- درصد تلفات - ضایعات برای محصولات مختلف..... ۱۸۴
۸-۱-۴- تلفات و ضایعات در کشور..... ۱۸۴
۸-۲- رژیم غذایی، سبد غذایی و یا الگوی غذایی..... ۱۸۶
۸-۲-۱- تغییر رژیم غذایی در طول زمان (رفاه)..... ۱۸۹
۸-۲-۲- نحوه تأثیر رژیم غذایی بر منابع و نهاده‌ها در کشاورزی..... ۱۹۰
۸-۲-۳- رژیم غذایی انعطاف‌پذیر برای مقابله با تغییر اقلیم و افزایش سلامتی..... ۱۹۵
۸-۲-۴- جایگزین‌ها..... ۲۰۱
۸-۳- خلاصه..... ۲۰۱

۹- فصل نهم: کاهش ردپای کربن (تغییر اقلیم) ۲۰۳
۹-۱- ردپای کربن..... ۲۰۳
۹-۲- راه‌های مشارکت کشاورزی در کاهش ردپای کربن و تخفیف تغییر اقلیم..... ۲۱۰
۹-۳- فشرده‌سازی پایدار ، فشرده‌سازی اکولوژیک یا افزایش بهره‌وری..... ۲۱۱
۹-۴- بهبود تولید و مدیریت کود نیتروژن..... ۲۱۱
۹-۵- مدیریت کودهای دامی..... ۲۱۷
۹-۶- کاهش مصرف سوخت..... ۲۱۸
۹-۷- کاهش انتشار متان در کشت برنج..... ۲۲۰
۹-۸- کاهش انتشار متان در تخمیر در دستگاه گوارش دام‌ها..... ۲۲۲
۹-۹- افزایش ترسیب کربن در سیستم‌های کشاورزی..... ۲۲۳
۹-۱۰- مقایسه اثربخشی روش‌های کاهش تغییر اقلیم..... ۲۲۶
۹-۱۱- خلاصه..... ۲۲۷

۱۰- فصل دهم: مدیریت پایدار تنوع زیستی و آفات ۲۲۹
۱۰-۱- مدیریت تنوع زیستی در کشاورزی ۲۲۹
۱۰-۱-۱- افزایش یا حفظ تنوع زیستی در چشم‌انداز، بین مزارع و مزرعه..... ۲۳۰
۱۰-۱-۲- تناوب زراعی یا کشت مخلوط..... ۲۳۳
۱۰-۱-۳- نوارهای گیاهی در حاشیه رودخانه‌ها..... ۲۳۸
۱۰-۱-۴- نگرانی‌ها و مشکلات مرتبط با تنوع زیستی ۲۳۹
۱۰-۱-۵- بانک بذر -بانک ژن..... ۲۴۰
۱۰-۲- مدیریت پایدار آفات ۲۴۲
۱۰-۲-۱- نگرانی‌های مرتبط با مدیریت رایج آفات..... ۲۴۴
۱۰-۲-۲- اساس اکولوژیک مدیریت آفات..... ۲۵۱
۱۰-۲-۳- مدیریت تلفیقی آفات..... ۲۵۲

۱۰-۲-۴- کنترل بیولوژیک آفات ۲۵۴
۱۰-۳- خلاصه ۲۵۶

۱۱- فصل یازدهم: مدیریت پایدار زمین و خاک ۲۵۹
۱۱-۱- روش‌های افزایش سلامت خاک و پایداری تولید ۲۶۰
۱۱-۱-۱- تغذیه و کوددهی متوازن خاک ۲۶۰
۱۱-۱-۲- افزایش ماده آلی خاک ۲۶۷
۱۱-۱-۳- حداقل‌سازی خاک‌ورزی ۲۶۸
۱۱-۱-۴- گیاهان پوششی ۲۷۸
۱۱-۱-۵- تناوب زراعی ۲۸۳
۱۱-۲- مدیریت آب برای شورنشدن خاک ۲۸۳
۱۱-۳- خلاصه ۲۸۴

۱۲- فصل دوازدهم: مدیریت پایدار منابع آب ۲۸۵
۱۲-۱- مدیریت برداشت آب ۲۸۶
۱۲-۱-۱- تنظیم برداشت آب در حد پایدار ۲۸۶
۱۲-۱-۲- جلوگیری از هدرروی آب در انتقال و کاربرد (افزایش راندمان آبیاری) ۲۸۹
۱۲-۱-۲-۱- پارادوکس افزایش راندمان آبیاری ۲۹۱
۱۲-۱-۳- افزایش بهره‌وری آب ۲۹۴
۱۲-۱-۳-۱- افزایش بهره‌وری آب در مناطق خشک با روش کم‌آبیاری ۲۹۵
۱۲-۱-۴- کاهش تقاضا برای آب ۲۹۷
۱۲-۱-۵- افزایش دسترسی به آب ۲۹۹
۱۲-۲- آلودگی منابع آب ۳۰۰
۱۲-۳- خلاصه ۳۰۲

۱۳- فصل سیزدهم: فشرده‌سازی اکولوژیک ۳۰۵
۱۳-۱- تعاریف..... ۳۰۵
۱۳-۲- چگونه (مکانیسم‌ها)؟ ۳۰۷
۱۳-۳- شاخص‌های فشرده‌سازی یا کیفیت مدیریت..... ۳۱۵
۱۳-۴- فشرده‌سازی اکولوژیک در برابر کشاورزی کم نهاده..... ۳۱۸
۱۳-۵- فشرده‌سازی و محیط‌زیست ۳۲۰
۱۳-۶- خلاصه..... ۳۲۴

۱٤- فصل چهاردهم: سیستم‌های کشاورزی پایدار..... ۳۲۵
۱۴-۱- کشاورزی حفاظتی ۳۲۶
۱۴-۲- اگروفارستری..... ۳۳۱
۱۴-۳- تناوب علفزار-غله..... ۳۳۶
۱۴-۴- کشاورزی ارگانیک..... ۳۳۷
۱۴-۵- کشاورزی دقیق..... ۳۴۱
۱۴-۶- خلاصه..... ۳۴۵

۱۵- فصل پانزدهم: کشاورزی پایدار در ایران..... ۳٤۷
۱۵-۱- وضعیت کنونی کشاورزی و غذا ۳۴۷
۱۵-۲- نگرانی‌ها، مسائل و مشکلات مهم مرتبط با کشاورزی ۳۴۸
۱۵-۳- پیامدهای رفع اضافه برداشت از منابع آب آبی..... ۳۵۲
۱۵-۴- برنامه‌های راهبردی پیشنهادی برای پایدارسازی..... ۳۵۳
۱۵-۴-۱- وضعیت کشاورزی در اقتصاد کشور..... ۳۵۳
۱۵-۴-۲- راه‌های سازگاری به کم‌آبی..... ۳۵۴
۱۵-۴-۳- شرایط و فرضیات برنامه‌های راهبردی..... ۳۵۵

۱۵-۴-۴- نتایج مورد انتظار از برنامه‌های راهبردی ۳۵۸
۱۵-۴-۵- نقش سایر گزینه‌های سازگاری به کم‌آبی در برنامه‌ها..... ۳۶۹
۱۵-۴-۶- خلاصه برنامه راهبردی پیشنهادی ۳۷۰
۱۵-۵- چالش‌های اجرای برنامه‌های راهبردی پیشنهادی ۳۷۳
۱۵-۶- شرط‌های لازم برای اجرای برنامه‌های راهبردی..... ۳۷۵
۱۵-۷- سایر مشکلات و چالش‌های مرتبط با کشاورزی پایدار ۳۷۷
۱۵-۸- خلاصه..... ۳۷۹
فهرست منابع ۳۸۱

فصل اول
موضوع چیست؟

فعالیت‌های بشر در ۲۰۰ سال اخیر اثرات زیانبار فراوانی بر محیط زیست و منابع‌طبیعی داشته است و موجب ناپایداری در سیستم کره زمین شده است. کشاورزی نیز یکی از این فعالیت‌هاست. قبل از پرداختن به اثرات کشاورزی بر محیط زیست و روش‌های پایدار سازی کشاورزی، ابتدا در این فصل مختصری درباره کلیت فعالیت‌های بشر و رابطه آن با محیط زیست صحبت خواهد شد. اما ابتدا مفهوم پایداری را توضیح می‌دهیم.

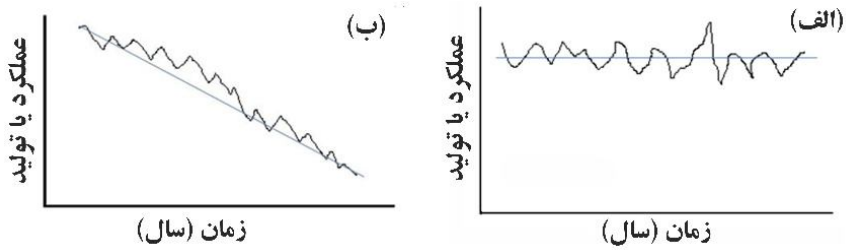
۱-۱-مفهوم پایداری[1]

برای درک بهتر مفهوم پایداری، یک مزرعه را در نظر بگیرید که سالیانه دارای تولید است. اگر میزان تولید سالیانه در برابر زمان را به‌صورت نمودار رسم کنیم، ممکن است یکی از دو حالت نشان داده شده در شکل ۱-۱ مشاهده شود. در حالت الف مشاهده می‌شود که تولید یا عملکرد در طول زمان با نوسان روبرو بوده است اما میانگین آن ثابت است؛ یعنی تولید در گذر زمان در یک محدوده حفظ شده است که در این حالت می‌گوییم سیستم پایدار است. در حالت ب مشاهده می‌گردد که تولید یا عملکرد تغییرات سالانه یا بالا پایینی‌هایی داشته است ولی همراه با این بالا پایینی‌ها معدل عملکرد یا تولید کاهشی بوده است که در این‌جا گفته می‌شود سیستم ناپایدار[2] است. بنابراین، مفهوم پایداری در اکوسیستم‌های کشاورزی یعنی سیستم قادر باشد خروجی خود

---

[1] Sustainable
[2] Unsustainable

را در طول زمان ثابت نگه دارد و اگر افزایش نمی‌یابد دچار کاهش نیز نگردد. در سایر سیستم‌ها نیز پایداری معنای کم و بیش مشابه دارد: حفظ خروجی یا عملکرد هر سیستم در طول زمان.



شکل ۱-۱- الف: پایداری در اکوسیستم و ب: ناپایداری در اکوسیستم

۱-۲-فعالیت‌های بشر و محیط زیست

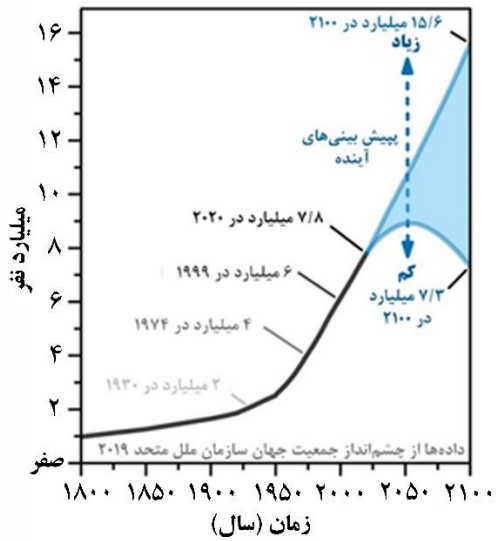
تمام فعالیت‌هایی که بشر انجام می‌دهد از جمله کشاورزی در ارتباط با محیط زیست و طبیعت است. به این صورت که برای انجام این فعالیت‌ها منابعی از طبیعت برداشته شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد، و در نتیجه این فعالیت‌ها، مواد آلاینده و یا ضایعاتی در طبیعت رها می‌شود (شکل ۱-۲). به عنوان مثال، از طبیعت سنگ آهن استخراج شده، سپس از آن تراکتور ساخته شده و در تراکتور سوخت ریخته شده و به مصرف فعالیت‌های مرتبط با کشاورزی می‌رسد و در نهایت آن تراکتور از کار افتاده به ضایعات و سوخت مصرفی آن به آلاینده‌ها تبدیل می‌شود. شبیه این فرآیند در بسیاری از بخش‌های دیگر غیر از کشاورزی نیز قابل مشاهده است. تا زمانی‌که این فعالیت‌ها در یک حد مناسب باشند و یا به‌عبارتی "برداشت منابع از محیط زیست و منابع طبیعی" و "آزاد شدن مواد آلاینده و ضایعات" در یک حد قابل‌قبول بوده و بیش از اندازه نباشد، طبیعت قادر است این وضعیت را مدیریت کند و آلودگی‌ها جذب[1] شوند و از فعالیت‌ها پشتیبانی شود و هچنان تداوم داشته باشند (مانند شکل ۱-۲). به عبارت دیگر، در این حالت، برداشت منابع جبران و مواد آلاینده و ضایعات جذب می‌شوند و سیستم از پایداری خارج نمی‌گردد. اما در برخی مواقع یا برداشت منابع و یا مواد آلاینده و ضایعات یا هردو افزایش می‌یابد به‌طوری‌که طبیعت قادر به

[1] Assimilation

جبران و پشتیبانی نیست. این اتفاق آغازی است برای کاهش یافتن خروجی سیستم و در نهایت سیستم از پایداری خارج می‌گردد.

شکل ۱-۲- ارتباط فعالیت‌های بشر و طبیعت

آن‌چه که در دنیا به ویژه در طی ۲۰۰ سال اخیر روی داده است مسئله افزایش جمعیت است. در طی دو قرن اخیر جمعیت دنیا به‌طرز چشم‌گیری افزایش یافته است. به‌طوری‌که در ۱۰۰ سال اخیر جمعیت از ۲ میلیارد به حدوداً ۸ میلیارد نفر رسیده است (شکل ۱-۳).

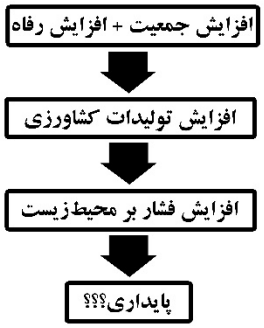


شکل ۱-۳- روند رشد جمعیت از سال ۱۸۰۰ تاکنون و پیش‌بینی آن تا سال ۲۱۰۰

از سوی دیگر، در کنار رشد جمعیت، رفاه نیز افزایش یافته است و این دو، فشار بر محیط زیست و منابع طبیعی را تشدید نموده‌اند. افزایش رفاه در بسیاری از بخش‌ها رخ داده و برداشت از

منابع طبیعی را تشدید کرده است. به طور مثال، در گذشته برای حمل و نقل از شهری به شهری دیگر از حیوانات استفاده می‌شد ولی اکنون از خودرو و هواپیما استفاده می‌گردد که این امر فشار بیشتری را بر طبیعت وارد می‌کند؛ هم ساخت و هم سوخت این وسایل حمل و نقل سبب تولید و آزاد شدن مقدار زیادی ضایعات و آلاینده‌ها به محیط زیست و طبیعت می‌گردد، در حالی که در گذشته مسافرت‌ها نیز به این شکل و شدت انجام نمی‌گرفت چرا که سطح رفاه بسیار پایین بود. یک جنبه دیگر رفاه که با کشاورزی مرتبط است، مصرف فرآورده‌های دامی است. با افزایش رفاه، مصرف فرآورده‌های دامی نیز افزایش می‌یابد و بنابراین باید زمین‌های بیشتری کشت گردد تا علوفه تولید شود و این علوفه صرف تغذیه دام گردد و در نهایت انسان فرآورده‌های دامی را مورد مصرف خود قرار دهد. در این فرآیند چون زنجیره غذایی طولانی‌تر می‌گردد فشار وارده بر طبیعت نیز بیشتر می‌شود. افزایش رفاه فشار بر محیط زیست را تشدید کرده است.

پس به طور خلاصه موضوع از این قرار است: فعالیت‌های بشر در ارتباط با محیط زیست است که منابع را از طبیعت برداشت کرده و مواد زائد و آلاینده‌هایی را به محیط آزاد می‌نماید (شکل ۱-۲). این فعالیت‌ها در کشاورزی در اثر افزایش جمعیت و رفاه به شدت افزایش یافته است و بنابراین فشاری که از طریق برداشت منابع و آزاد شدن مواد زائد و آلاینده در بخش کشاورزی به طبیعت وارد می‌شود نیز روز به روز بیشتر شده است و پایداری سیستم‌های کشاورزی با مشکل مواجه است. اکنون مسئله این است که طبیعت و محیط زیست تا چه زمانی قادر است تولید را پشتیبانی نماید به گونه‌ای که پایداری نیز وجود داشته باشد (شکل ۱-۴).



شکل ۱-٤- تهدید پایداری سیستم‌های کشاورزی ناشی از افزایش جمعیت

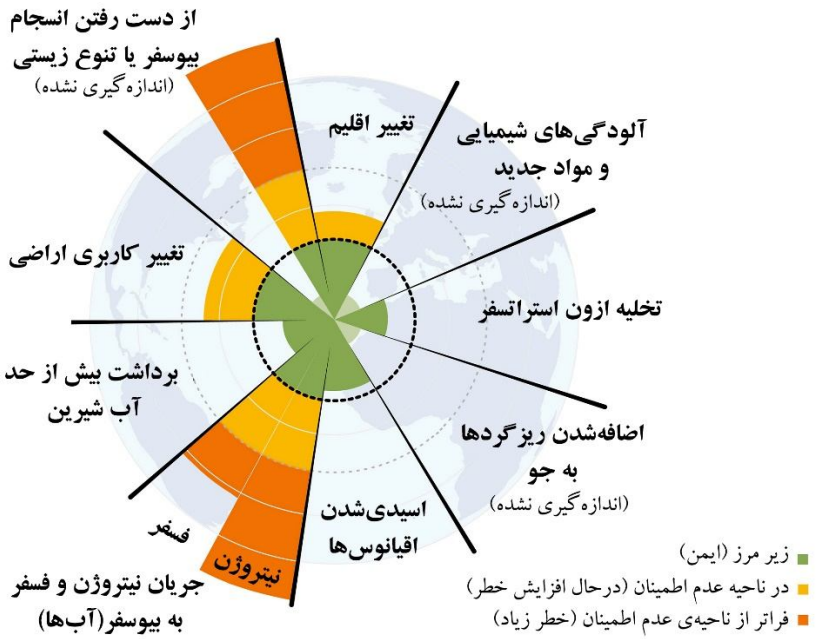
۱-۳-مرزهای سیاره‌ای

به‌منظور ارائه‌ی تصویر بزرگتری از محیط زیست و پایداری که مربوط به کل فعالیت‌های بشر و کل کره زمین است، مرزهای سیاره‌ای را توضیح می‌دهیم. دانشمندان مجموعه فعالیت‌هایی که بشر بر روی کره‌ی زمین انجام می‌دهد را مورد بررسی قرار داده‌اند و خطراتی که این فعالیت‌ها ایجاد می‌کنند را در قالب یک سری شاخص تعریف کرده‌اند که به آن‌ها مرزهای سیاره‌ای[1] گفته می‌شود. همچنین دانشمندان تلاش کرده‌اند برای این شاخص‌ها محدوده‌هایی را تعریف کنند که در کمتر از آن‌ها پایداری کره زمین بهم نمی‌ریزد. به بیانی ساده‌تر، مرزهای سیاره‌ای وضعیت پایداری کره زمین تحت تاثیر مجموعه فعالیت‌های بشر را تصویرسازی می‌کنند و درک آن را آسان‌تر می‌سازند که در شکل ۱- ۵ نشان داده شده است. در شکل۱-۵ مشاهده می‌کنید که در پس زمینه‌ی شکل کره زمین قرار دارد که به قسمت‌هایی تقسیم شده است که هر کدام از این قسمت‌ها یکی از مرزها می‌باشد. برخی از مرزها با کشاورزی ارتباط بیشتری دارند که در فصول بعدی توضیح داده خواهند شد.

در مرزهای سیاره‌ای دانشمندان برای هر یک از شاخص ها سه ناحیه ایمن، نامطمئن و غیر ایمن تعریف کرده‌اند که به ترتیب با رنگ‌های سبز، زرد و قرمز مشخص شده‌اند. فعالیت‌های بشر بایستی به‌گونه‌ای انجام شوند که این شاخص‌ها از ناحیه‌ی ایمن خارج نگردند تا پایداری کره‌ی زمین دست‌خوش تغییر نشود و این کره قادر باشد فعالیت‌های بشر را به‌صورت ایمن پشتیانی نماید. فعالیت‌هایی که در مرزهای سیاره‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرند شامل موارد زیر هستند: ۱- تغییر اقلیم[2]، ۲- آلودگی‌های شیمیایی و مواد جدید[3]، ۳- تخلیه ازون[4]، ۴- اضافه‌شدن ریزگردها به اتمسفر[5]، ۵- اسیدی‌شدن اقیانوس‌ها[6]، ۶- جریان نیتروژن و فسفر به بیوسفر و اقیانوس‌ها[7]، ۷-

[1] Planetary boundary
[2] Climate change
[3] Chemical pollution and the release of novel entities
[4] Stratospheric ozone depletion
[5] Atmospheric aerosol loading
[6] Ocean acidification
[7] Nitrogen and phosphorus flows to the biosphere and oceans

برداشت بیش از حد آب شیرین و چرخه‌های هیدرولوژیک جهان[1]، ۸- تغییر کاربری زمین[2]، ۹- از دست رفتن انسجام بیوسفر(تنوع زیستی)[3]



شکل ۱-۵- مرزهای سیاره‌ای: فعالیت‌های موثر بر پایداری کره‌زمین؛ نواحی ایمن، نامطمئن (درحال افزایش خطر) و غیر ایمن (خطر زیاد) به ترتیب با رنگ‌های سبز، زرد و نارنجی مشخص گردیده‌است. مرز بین هریک از نواحی با دایره‌ای خط چین شده از یکدیگر مجزا شده‌اند.

۱-۳-۱-تغییر اقلیم

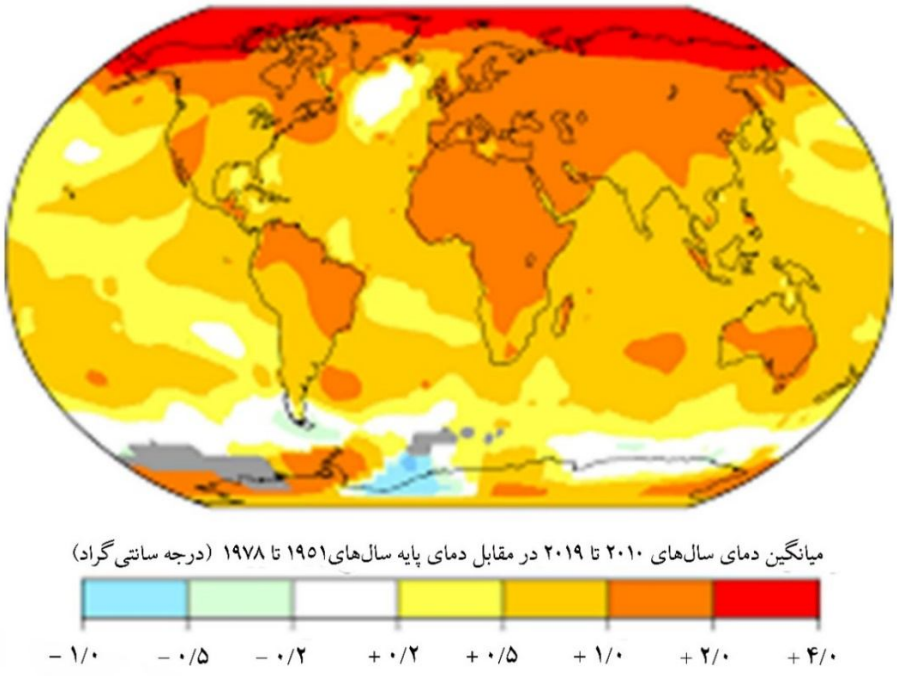
برای تغییر اقلیم از واژه‌های تغییر محیط جهانی[4] و یا گرم شدن کره زمین[5] هم استفاده می‌شود. تغییر اقلیم چیست؟ بر اثر فعالیت‌های بشر به ویژه بعد از انقلاب صنعتی، غلظت یک سری گازها که گازهای گلخانه‌ای نامیده می‌شوند شامل مانند دی‌اکسیدکربن، متان، اکسید نیتروژن در اتمسفر

[1] Freshwater consumption and the global hydrological cycle
[2] Land-system change
[3] Biosphere integrity
[4] Global environmental change
[5] Global warming

افزایش یافت. وقتی غلظت این گازها زیاد می‌شود، به طریقی که بعداً توضیح داده خواهد شد (به فصل سوم رجوع شود)، دمای کره زمین افزایش می‌یابد. وقتی دمای کره زمین افزایش پیدا می‌کند، هر فرآیندی که در کره زمین در جریان است، دستخوش تغییر می‌شود. افزایش دما اولین پیامد است و چون افزایش دما یکنواخت نیست، الگوهای فشار بهم می‌خورد؛ با تغییر الگوهای فشار بارندگی تغییر پیدا می‌کند و درجه ابری بودن هوا و میزان تشعشع خورشیدی تغییر پیدا می‌کند. همچنین اکستریم ها زیاد می‌شوند. اکستریم[1]ها عبارتند از دماهای خیلی کم و زیاد، عدم بارندگی به‌مدت زیاد، باران‌های سیل‌آسا و نظیر این‌ها. بر اثر تغییر اقلیم شاهد وقوع بیشتر اکستریم‌ها خواهیم بود.

گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های بشر به‌ویژه سوزاندن سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی طبیعی به کشاورزی و دلایل دیگری که بعداً اشاره خواهد شد (به فصل سوم رجوع شود)، در اتمسفر زمین افزایش یافته‌است. تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین پیامدهای خطرناکی در پی دارند که از جمله می‌توان به ذوب شدن یخ‌های قطبی و بالاآمدن سطح دریاها، و افزایش وقوع آتش‌سوزی اشاره کرد. بر اثر این رویدادها حیات بر روی کره زمین دست‌خوش تغییر می‌شود. در شکل ۱-۶ دمای کره زمین در بازه ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ با ۱۹۵۱ تا ۱۹۷۸ مقایسه شده است که نشان می‌دهد در اغلب نقاط کره زمین افزایش یک درجه‌ای دما رخ داده است و حتی در برخی از مناطق کره زمین مانند مناطق قطب شمال تغییر دما تا ۴ درجه سانتی‌گراد قابل مشاهده شده است. گفته شده است که اگر میانگین دمای کره زمین بیش از یک تا دو درجه افزایش یابد بسیار خطرناک است و تغییرات بعدی و تبعات آن احتمالا قابل کنترل نخواهد بود.

[1] Extreme



شکل ۱-٦- تغییر دما در سطح کره زمین.

۱-۳-۲-آلودگی‌های شیمیایی و رها شدن مواد نوظهور در محیط

مواد نوظهور[1] یا جدید شامل موادی هستند که در گذشته وجود نداشته‌اند مانند پلاستیک که در اثر فعالیت‌های بشر تولید شده است و قبلا وجود نداشته است. پلاستیک در اثر تجزیه به ریزپلاستیک[2]ها تبدیل و وارد زنجیره غذایی جانداران مانند جانداران آبزی می‌شود و سپس ممکن است به مصرف بشر رسیده و علاوه بر آلودگی محیط زیست، مشکلاتی برای سلامتی بشر ایجاد کند (شکل ۱-۷). آلودگی‌های شیمیایی عمدتاً سه دسته هستند:

۱- مواد سنتزی آلی با طول عمر بالا

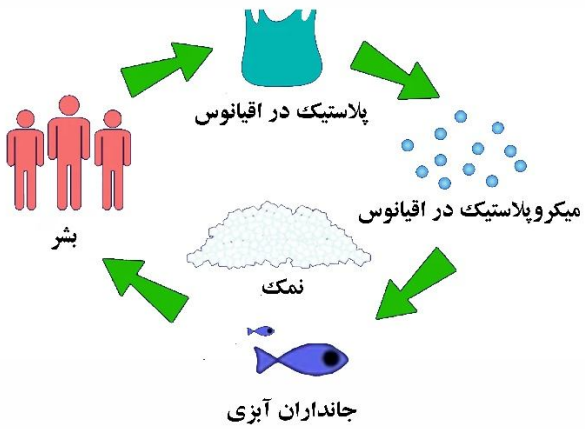
۲- فلزات سنگین

۳- مواد رادیو اکتیو که هم بر روی موجودات زنده اثر می‌گذارند و پیامدهای ناگواری دارند و

[1] Novel entities
[2] Micro plastic

هم قادرند محیط کره‌ی زمین را دستخوش تغییرات کنند.

در برخی موارد اثراتی که این مواد بر روی موجودات و محیط فیزیکی می‌گذارند ممکن است غیر قابل بازگشت باشد. جذب و تجمع این مواد آلاینده تا حدی که سمّی و کشنده نباشد بر روی باروری موجودات زنده مانند انسان اثرگذار است و علاوه بر این قادرند بر روی مواد ژنتیکی تاثیر گذاشته و جهش ژنتیکی ایجاد نموده و اثرات نامطلوبی را به دنبال داشته باشند. این اتفاق‌ها در فاصله بسیار دور از منشأ آلودگی نیز ممکن است روی دهد یعنی فقط در مکانی که آلودگی روی داده است، اثرات منفی نمی‌گذارند بلکه در خیلی دوردست‌تر نیز این تغییرات و اثرات منفی را می‌توان مشاهده کرد. به‌طور مثال، ترکیبات آلی که بیشتر سموم هستند باعث شده‌اند که جمعیت پرندگان و تولید مثل آن‌ها و نیز پستانداران دریایی به مقدار خیلی زیادی دچار کاهش شوند.

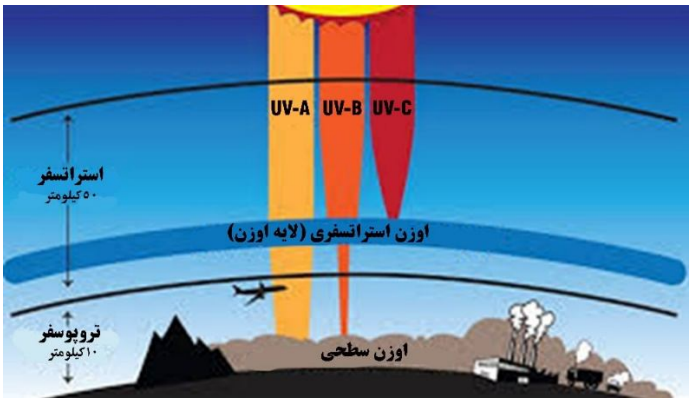


شکل ۱-۷- زنجیره آلودگی شیمیایی و مواد جدید و تأثیر آن بر موجودات زنده

۱-۳-۳-تخلیه ازون استراتسفر

در اتمسفر اوزن وجود دارد، مقداری در لایه‌های زیرین اتمسفر (تروپوسفر) و مقدار دیگری که بیشترین تجمع اوزن را شامل می‌شود در اتمسفر فوقانی (استراتوسفر) قرار دارد. لایه ازون در اتمسفر فوقانی برای حیات کره زمین بسیار ضروری است زیرا تشعشع ماورا بنفش که برای

موجودات زنده بسیار خطرناک است را جذب می‌کند و خطر آن را می‌کاهد. تشعشع ماورابنفش به سه بخش UV-A، UV-B و UV-C تقسیم می‌شود که اوزن در جذب تشعشع دو بخش آخر (فرابنفش C و B) تا ۹۵ درصد موثر و وکارآمد عمل می‌کند که از اهمیت زیادی برخوردار است (شکل ۱-۸) چراکه این دو بخش طول موج بسیار کوتاهی دارند و می‌توانند اثرات مخربی مانند سرطان پوست و جهش‌های ژنتیکی بر روی گیاهان و جاندارن داشته باشند.



شکل ۱-۸- محل لایه اوزن در جو و اهمیت لایه ازون در جذب تشعشع فرابنفش

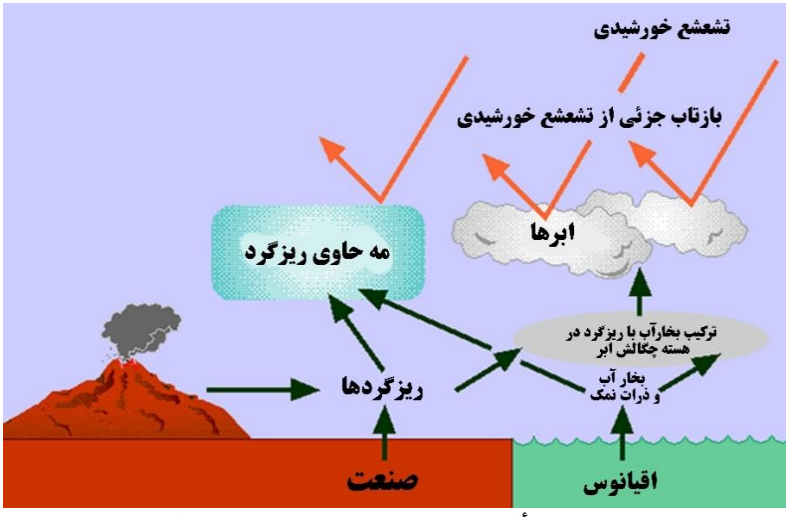
در اثر فعالیت‌های بشر موادی در اتمسفر رها شدند که باعث تخریب لایه اوزن استراتسفری گردیدند که مهم‌ترین این مواد، کلروفلوروکربن‌ها هستند که در گذشته به صورت گسترده در مواد خنک‌کننده در کولرها و یخچال‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت. البته سال‌ها قبل تخریب لایه اوزن به ویژه در بخش قطبی کره زمین گزارش گردید و خوشبختانه استفاده از مواد تخریب‌کننده اوزن مثل کلورفلوروکربن‌ها ممنوع اعلام شد و امروزه شاهد هستیم که لایه اوزن در بخش‌هایی در حال ترمیم است. این اتفاق یکی از نمونه‌های موفق همکاری کشورها برای حل یک مشکل زیست محیطی است.

۱-۳-٤-اضافه شدن ریزگردها به اتمسفر

زیرگردها عبارت از ذرات بسیار ریز هستند و شامل مواد مختلفی می‌باشند، مانند مواد موجود در

خاک و یا گردو غبار حاصل از آن. ریزگردها قادرند با بخار آب برهمکنش داشته و بر روی چرخه آب به ویژه تشکیل ابر و وقوع بارندگی تأثیر بگذارند. این اثر هم می‌تواند در سطح یک منطقه بزرگ و هم در کل سطح دنیا رخ دهد. به‌عنوان مثال، ریزگردها می‌توانند شدت، زمان، مکان و حتی وقوع باران‌های موسمی که در تابستان و در کشورهای گرمسیری رخ می‌دهد را تحت تأثیر قرار دهند.

ریزگردها قادرند با منعکس ساختن تشعشع خورشیدی و دگرگون ساختن موازنه تابش، بر روی اقلیم کره زمین نیز اثر بگذارند (شکل ۱-۹). لازم به ذکر است که گازهای مختلف نیز ممکن است طی فرایندی با یکدیگر تشکیل ریزگرد دهند. آلودگی‌های حاصل از سوخت و تغییر کاربری اراضی نیز از دیگر منابع ایجاد ریزگرد است. این ریزگردها در اثر فعالیت‌های بشر مانند فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی رو به افزایش هستند.



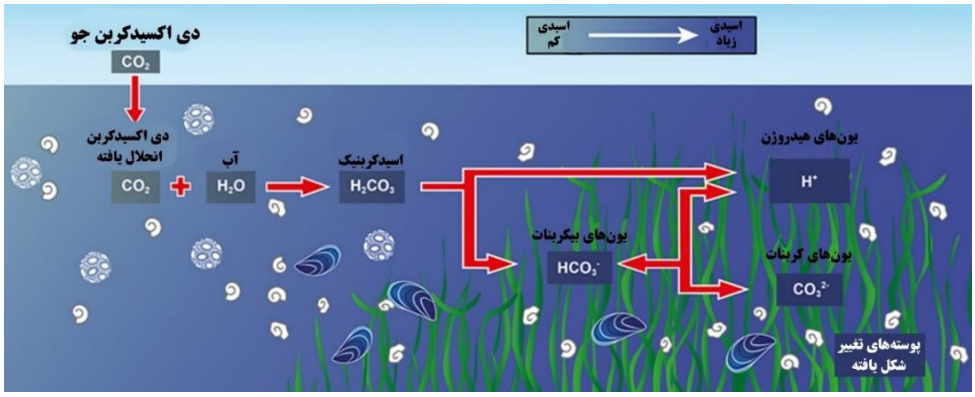
شکل ۱-۹- تأثیر ریزگردها بر موازنه تابش و تغییر اقلیم

علاوه بر تأثیر ریزگردها بر تغییر اقلیم، ریزگردها سلامتی بشر و سایر جانداران را نیز تهدید می‌کنند. تنفس ریزگردها توسط انسان و سایر جانداران آسیب‌زا است. برخی از ذرات گرد و غبار سمّی بوده و اثرات کشندگی بالایی دارند. برآوردها نشان داده است که سالیانه حدوداً ۸۰۰ هزار نفر در اثر تنفس مواد آلاینده و ریزگردها از بین می‌روند.

۱-۳-۵-اسیدی‌شدن اقیانوس‌ها

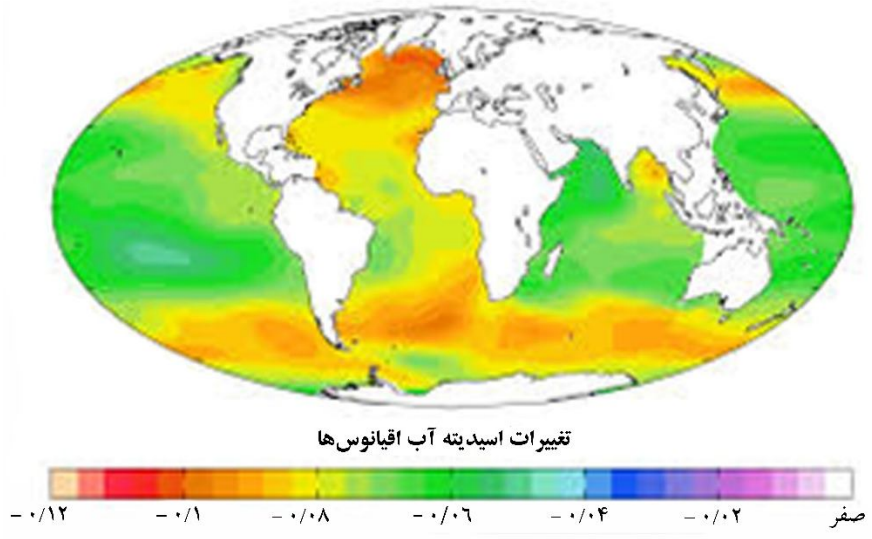
اسیدی شدن اقیانوس‌ها به این صورت روی می‌دهد که دی‌اکسید کربن اتمسفر در اثر تغییر اقلیم افزایش می‌یابد و در اثر انحلال دی‌اکسیدکربن در آب‌های اقیانوس‌ها و دریاها، اسید کربنیک ایجاد می‌شود. این اسید کربنیک به دو یون هیدروژن و بی‌کربنات تجزیه شده و یون هیدروژن آن باعث اسیدی‌شدن آب می‌شود. مشکلی که در این‌جا ایجاد می‌شود این است که این کاهش pH حاصل از یون هیدروژن بر روی حیات بسیاری از جانداران آبزی اثر منفی دارد.

یکی از مهم‌ترین اثرات، کاهش pH آب اقیانوس‌ها و دریاها این است که این اسیدی‌شدن آب‌ها میزان یون کربنات در دسترس برای موجودات زنده که جهت تشکیل پوسته استفاده می‌کنند را محدود می‌سازد. بنابراین تشکیل پوسته و اسکلت در جانداران آبزی با اسیدی شدن کاهش می‌یابد که حیات آن‌ها را با مخاطره روبرو می‌سازد. بسیاری از پلانکتون‌ها، سخت پوستان و جانداران دارای صدف، جز این گروه هستند (شکل ۱-۱۰). اسیدی‌شدن آب‌ها حیات و بقای این جانداران را تحت تاثیر قرار داده و جمعیت آن‌ها را کاهش می‌دهد، بنابراین هم ساختار و هم فرآیندهایی که در اکوسیستم‌های اقیانوسی اتفاق می‌افتد، دچار اختلال می‌شود. برای مثال، اسیدی شدن آب بر ذخایر ماهیان اثر منفی دارد و جمعیت آن‌ها را کاهش می‌دهد چراکه ماهیان به این ریزجانداران وابسته بوده و در زنجیره غذایی ماهیان قرار دارند.



شکل ۱-۱۰- اسیدی‌شدن اقیانوس‌ها و تاثیر آن بر جانداران آبزی

بررسی‌ها نشان داده است که نسبت به پیش از انقلاب صنعتی، اسیدی‌شدن آب اقیانوس‌ها تا ۳۰ درصد افزایش یافته است (شکل ۱-۱۱). پس، بین اسیدی‌شدن اقیانوس‌ها و تغییر اقلیم ارتباط وجود دارد و هر دو ناشی از افزایش دی‌اکسیدکربن هستند. البته در تغییر اقلیم گازهای دیگری نیز نقش دارند و تأثیر می‌گذارند. بنابراین، بسیاری از این مشکلات زیست‌محیطی جدا از هم نیستند بلکه بسیاری از آن‌ها با یکدیگر ارتباط دارند به این صورت که یک عامل ممکن است چند مشکل را ایجاد کند. به همین ترتیب با رفع یک عامل احتمال دارد چند مشکل رفع گردد. برای مثال، با کنترل انتشار دی‌اکسیدکربن می‌توان این دو مشکل زیست‌محیطی (تغییر اقلیم و اسیدی شدن آب‌ها) را مدیریت نمود و از تأثیر آن‌ها بر کره‌ی زمین کاست.

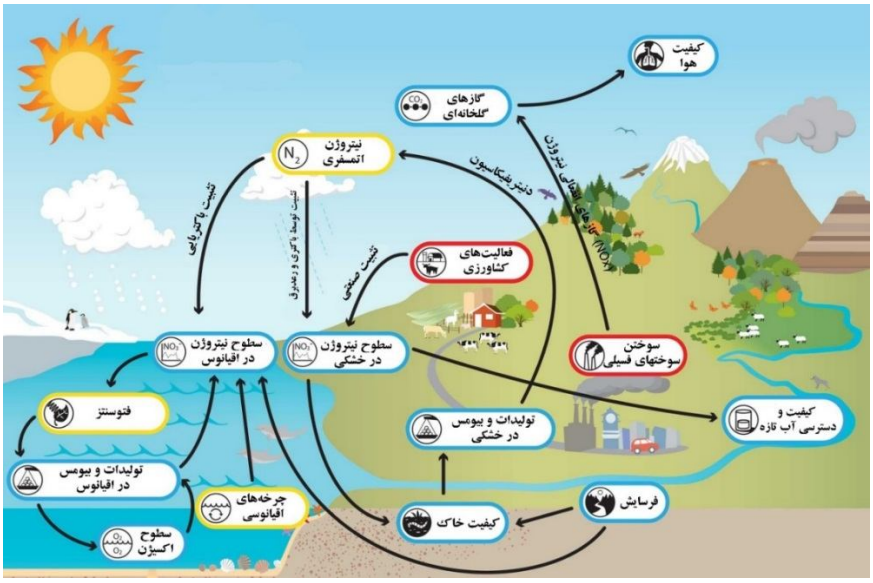


شکل ۱-۱۱- تغییرات اسیدیته آب اقیانوس‌ها

۱-۳-۶-جریان نیتروژن و فسفر به بیوسفر و اقیانوس‌ها

در اثر فعالیت‌های صنعتی و به‌ویژه کشاورزی طی ۲۰۰ سال گذشته، نیتروژن و فسفر زیادی به آب‌ها و محیط‌زیست نشت کرده است. در بخش کشاورزی مقدار زیادی نیتروژن به‌صورت کود در تولید محصولات زراعی و باغی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بخش قابل توجهی از این

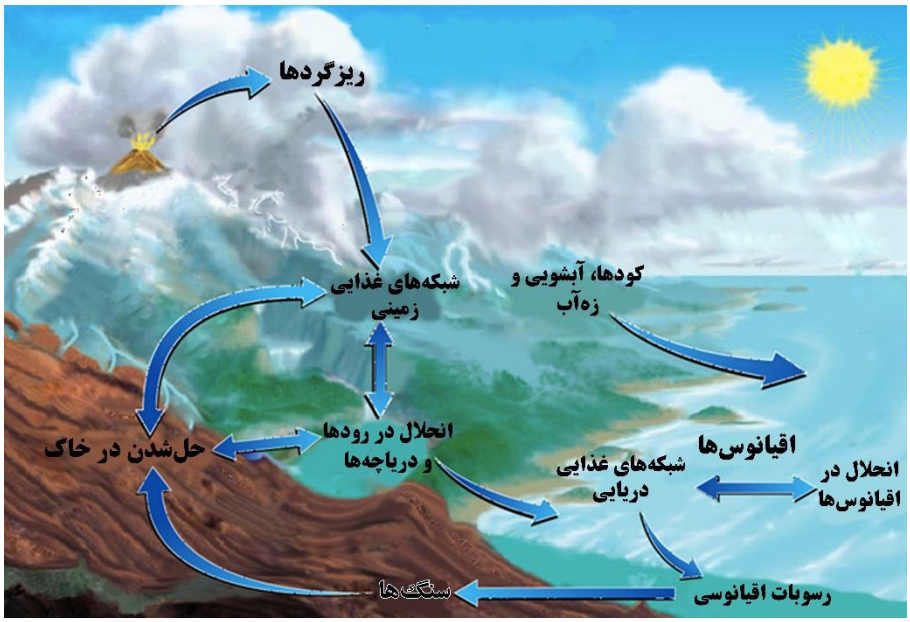
کودها (۵۰ تا ۷۰ درصد) به‌صورت‌های مختلفی مانند آبشویی از دسترس گیاه خارج شده و به آب‌های زیرزمینی، رودها و اقیانوس‌ها نشت می‌کند و یا بخشی از از این کودها تبخیر شده، از دسترس گیاه خارج و به‌صورت گاز (N_2O) به جو باز می‌گردد و سپس با بخار آب ترکیب یافته و بصورت بارش به اقیانوس‌ها و سایر اکوسیستم‌ها وارد می‌گردد (شکل ۱-۱۲). منبع اصلی کودهای نیتروژنی، نیتروژن اتمسفر (گاز N_2) است که به کود حاوی نیتروژن مانند اوره تبدیل و سپس در اکوسیستم‌های کشاورزی مصرف می‌شود. کود فسفر نیز ممکن است توسط پدیده فرسایش از دسترس گیاه خارج و به آب‌ها، رودها و اقیانوس‌ها نشت پیدا کند (شکل ۱-۱۳).



شکل ۱-۱۲- چرخه نیتروژن (شکل برگرفته از دانستنی‌های تغییر اقلیم: دانشگاه کالیفرنیا، ۲۰۱۹)

این نیتروژن و فسفری که به اقیانوس‌ها و سایر احجام آبی نشت‌یافته باعث می‌شود که رشد گیاهان آبزی، جلبک‌ها و فیتوپلانکتون‌ها افزایش یابد. باکتری‌های تجزیه کننده لاشه و لاشبرگ این گیاهان و موجودات به اکسیژن نیاز دارند، پس اکسیژن را از آب اقیانوس‌ها می‌گیرند که باعث کاهش سطح اکسیژن آب‌ها می‌گردد و حیات سایر موجودات آبزی را که برای حیات به اکسیژن نیاز دارند به مخاطره می‌افتد. در این حالت مناطقی در اجحام آبی ایجاد می‌شود که به آن‌ها

منطقه‌ی مرده[1] می‌گویند. یکی از مناطق مرده در جهان در خلیج مکزیک واقع شده است که رودخانه‌هایی که به آن ریخته می‌شوند حاوی مقادیر زیادی نیتروژن هستند و حیات جانداران آبزی زیادی را به مخاطره انداخته و از بین برده اند. توجه شود که حدود ۷۰ درصد از کره زمین را آب تشکیل داده است و اکوسیستم‌های آبی بسیار اهمیت دارند. سلامت و فعالیت‌های این اکوسیستم‌ها در پایداری کره زمین نقش کلیدی دارد.



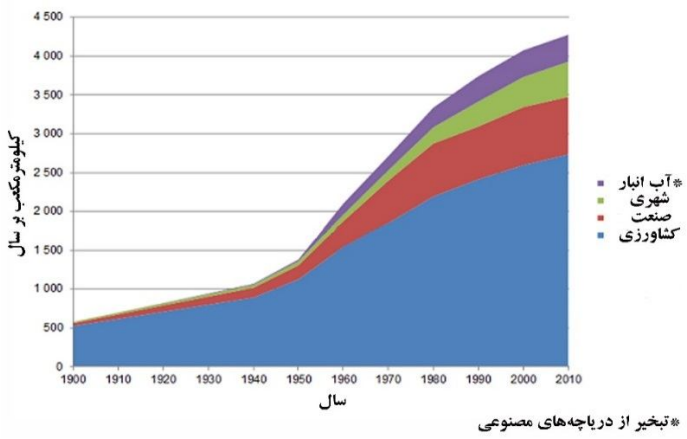
شکل ۱-۱۳- چرخه فسفر

۱-۳-۷-مصرف آب شیرین و چرخه هیدرولوژیک جهانی

آب شیرین در کره زمین بسیار محدود است و از طرفی مایع حیات بر روی این کره است. آب از اهمیت منحصر به‌فردی در تمامی اکوسیستم‌ها به ویژه در کشاورزی برخوردار است، چرا که در کشاورزی به میزان زیادی به آب نیاز است. در سالیان اخیر برداشت آب به شدت افزایش یافته است و بر اساس برآوردها یکی از بزرگترین بخش‌های مصرف کننده آب در جهان کشاورزی

[1] Dead zone

بوده و پس از آن کاربرد در صنعت و مصرف شهری قرار دارند. به‌طور مثال، میزان مصرف آب در بخش کشاورزی در سال ۱۹۰۰ به میزان ۵۰۰ کیلومتر مکعب در سال بوده که در سال ۲۰۱۰ به بیش از ۲۵۰۰ کیلومتر مکعب رسیده، یعنی بیش از ۵ برابر افزایش یافته است. این روند افزایشی در سایر بخش‌ها نیز مشاهده می‌گردد (شکل ۱-۱۴).



شکل ۱-۱۴- میزان مصرف آب در بخش‌های مختلف در طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰

این افزایش برداشت آب در بخش‌های مختلف همراه با کاهش سهم طبیعت از آب رخ می‌دهد و در نتیجه باعث خشک‌شدن چشمه‌ها، رودها و تالاب‌ها گردیده است (شکل ۱-۱۵). باید اشاره کرد که بزرگترین چالش کشور ما برداشت بیش از حد آب می‌باشد که ضروری است در کانون توجهات قرار گیرد.

شکل ۱-۱۵- خشک‌شدن رودخانه اورویل در ایالت کالیفرنیا آمریکا در طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱٤

(Justin Sullivan/Getty Images: Washington Post: 2014)

۱-۳-۸-تغییر سیستم زمین

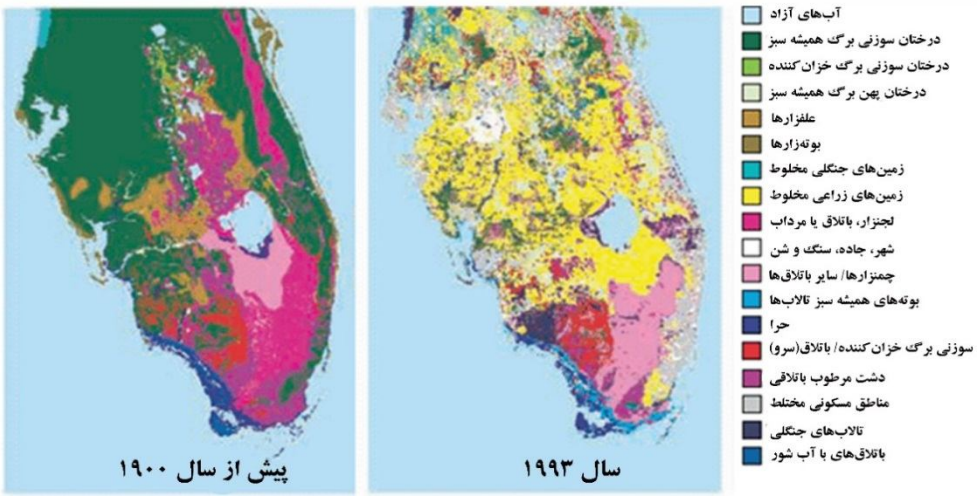
تغییر سیستم زمین یا تغییر کاربری اراضی به این معناست که کاربری زمین با اهداف مختلف تغییر می‌یابد که معمولاً با ناپایداری همراه است به این صورت که زمین‌های جنگلی یا مرتعی به کشاورزی و یا شهری تغییر می‌یابد که این امر مشکلات زیادی را به همراه خواهد داشت. شکل ۱-۱۶ بخشی از یک کشور را نشان می‌دهد که پیش از سال ۱۹۰۰ بخش وسیعی شامل جنگل‌های همیشه سبز بوده است درحالیکه در سال ۱۹۹۳ به کاربری‌های دیگری مانند کشاورزی، شهر و جاده تبدیل شده است. از بین بردن جنگل‌ها که به عنوان جوامع اوج[1] شناخته می‌شوند علاوه بر اینکه تنوع زیستی، روابط شکار و شکارچی، لاش و لاشبرگ و زنجیره‌های غذایی را نابود می‌کند، باعث رها شدن کربن ذخیره شده در آن‌ها به اتمسفر شده و در نتیجه باعث تغییر اقلیم و اسیدی‌شدن اقیانوس‌ها می‌گردد. جنگل‌ها در تولید اکسیژن نقش بسیار مهمی دارند. به عنوان مثال، جنگل‌های بسیار بزرگ واقع در آمریکای جنوبی که بخاطر اقلیم گرم و مرطوب بسیار پر رشد هستند و در ناحیه آمازون قرار دارند را ریه‌های زمین می‌نامند چراکه مقدار بسیار زیادی دی‌اکسید کربن را جذب نموده و در مقابل اکسیژن به اتمسفر آزاد می‌کنند. جنگل‌ها و منابع طبیعی در حفظ پایداری بر روی کره زمین نقش کلیدی دارند که توسط تغییر سیستم زمین بصورت جدی مورد تهدید قرار گرفته‌اند (به فصل پنجم رجوع شود).

۱-۳-۹-از دست رفتن انسجام بیوسفر (از دست رفتن و خاموشی تنوع زیستی)

در اثر فعالیت‌های مختلف بشر مانند تخریب زیستگاه، برداشت بی‌رویه منابع و کاهش موادغذایی، شکار گونه‌های جانوری و نظیر این‌ها تنوع زیستی کاهش یافته یا در مواردی از بین رفته است. در شکل ۱-۱۷ مشاهده می‌گردد که در بخش‌های مختلف کره زمین به ویژه در آسیا، استرالیا، جنوب آفریقا و بخش‌های از آمریکای شمالی و جنوبی، تنوع زیستی به شدت کاهش یافته و یا برای همیشه از بین رفته (خاموشی یا انقراض)[2] است. بر اساس برآوردها در برخی از مناطق کره زمین تنوع زیستی تا بیش از ۴۰ درصد کاهش یافته است (شکل ۱-۱۷).

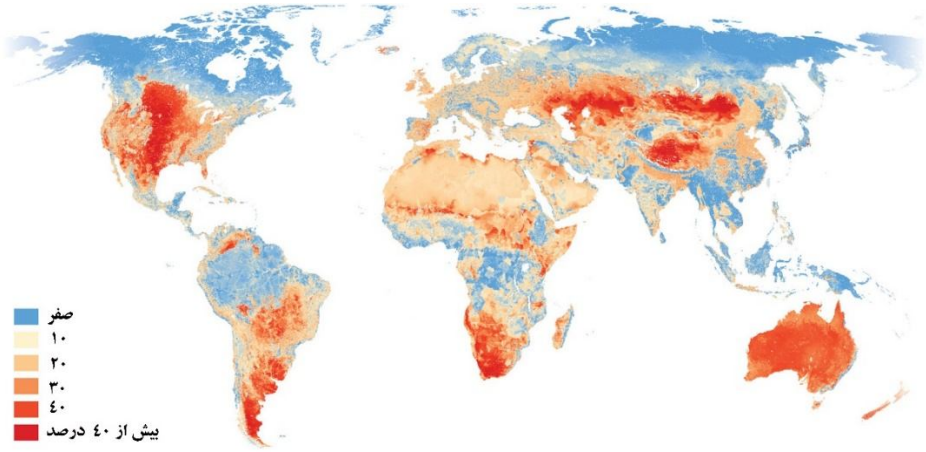
---

[1] Climax
[2] Extinction



شکل ۱-۱۶- تغییر کاربری اراضی و تبدیل مناطق جنگلی به سایر کاربری‌ها

تنوع زیستی شامل تعداد گونه‌های جانداران، گیاهان، ریزجانداران و نظیر این‌ها می‌باشد که در یک ناحیه خاص مثل مزرعه، ناحیه بزرگ و یا کره زمین وجود دارند. تنوع زیستی توسط مجموعه فعالیت‌های بشر مثل ایجاد آلودگی، شکار و از بین بردن زیستگاه کاهش یافته و یا از بین رفته است. این کاهش تنوع زیستی چه مشکلی ایجاد می‌کند؟ از آنجا که هیچ موجود زنده‌ای بر روی کره زمین بدون تأثیر نیست و یک نقشی را در طبیعت ایفا می‌کند، کاهش یا حذف هر یک از گونه‌ها سبب کاهش یا حذف یک نقش در طبیعت می‌شود که ممکن است خیلی بزرگ و قابل لمس باشد و یا اینکه کوچک بوده در گذر زمان و با تجمیع اثرات خود سبب اختلال گردد و پایداری کره‌ی زمین را تحت تأثیر قرار دهد. به‌طورخلاصه، تنوع زیستی در پایداری بر کره‌ی زمین نقش بسیار کلیدی دارد و باید در حفظ و تقویت آن چاره اندیشیده شود. این بخش چون از اهمیت زیادی برخوردار است و از آنجایی‌که بر کشاورزی تأثیر زیادی دارد و از آن نیز تأثیر می‌پذیرد در فصل دوم توضیح داده خواهد شد.



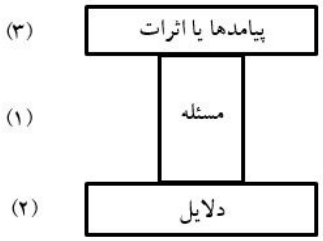
شکل ۱-۱۷- کاهش تنوع زیستی به‌صورت درصد در مقایسه با یک اکوسیستم دست نخورده (پورتال اطلاعات موزه تاریخ طبیعی، اطلاعات ۲۰۱۶: AFP.com)

۱-۴-جمع‌بندی

در این بخش سعی شد که یک تصویر کلی از تأثیر مجموعه‌ی فعالیت‌های بشر بر روی محیط زیست کره‌ی زمین ارائه گرددکه شامل موارد ۹ گانه‌ای است که مرزهای سیاره ای نامیده می‌شوند. دانشمندان برای هر یک از این موارد یک مرز ایمن تعریف کرده‌اند. از موارد ۹ گانه، چهار مورد از محدوده‌ی ایمن عبور کرده است که شامل تغییر اقلیم، جریان نیتروژن و فسفر به بیوسفر و تغییر سیستم زمین و از دست رفتن انسجام بیوسفر و تنوع زیستی می‌باشد و پنج مورد دیگر نیز در محدوده‌ی ایمن قرار دارند.

فصل دوم
زوال و نابودی تنوع زیستی

در این فصل به کاهش تنوع زیستی به‌عنوان یکی از مشکلات زیست محیطی ناشی از کشاورزی پرداخته می‌شود. راجع به هر مسئله و مشکلی که توضیح داده می‌شود از الگوی شکل ۲-۱ استفاده می‌گردد. یعنی ابتدا آن مسئله یا موضوع توضیح داده می‌شود (شماره ۱ در شکل ۲-۱)، سپس دلایل آن ارائه می‌گردد، یعنی مسئله (مشکل) چگونه ایجاد شده است (شماره ۲ در شکل ۲-۱) و در نهایت در مورد پیامدها و اثرات آن مسئله توضیح داده می‌شود (شماره ۳ در شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱- الگوی مورد استفاده برای توضیح هر یک از مسائل یا مشکلات زیست محیطی مرتبط با کشاورزی

۲-۱-زوال تنوع زیستی

تنوع زیستی[1] عبارت است از مجموع جاندارانی که در یک محدوده (محیط) معین وجود دارند. در این تعریف «مجموع» شامل گونه‌ها، توده‌ها، ارقام (ژن‌ها) و افراد است. «جانداران» شامل

[1] Biodiversity

همه گیاهان، جانوران، ریزارگانیسم‌ها و میکروارگانیسم‌ها (مثل کرم خاکی، حشرات، قارچ‌ها و باکتری‌ها و نظیر این‌ها) می‌باشند و «محدوده معین» نیز می‌تواند قطعه زمین، کل مزرعه، چشم‌انداز[1] و یا کل کره زمین باشد. محدوده معین را خود ما تعیین می‌کنیم؛ یعنی بسته به هدفی که از تعریف تنوع زیستی یا بررسی تنوع زیستی داریم، یک محدوده‌ای را مشخص و ارزیابی می‌کنیم. «چشم‌انداز» شامل مجموع اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی، شهری، روستایی، صنعتی و نظیر این‌ها در یک منطقه یا ناحیه معین است، به این صورت که اگر در یک منطقه به سمت افق نگاه کنیم ترکیبی از کوه، دریاچه، مزارع، مناطق شهری یا روستایی، صنعتی و غیره را می‌بینیم که همراه با جانداران داخل آن‌ها یک چشم‌انداز را تشکیل می‌دهند.

تنوع زیستی در سه سطح ژن، گونه و اکوسیستم مطرح و مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این‌که بدانیم تنوع زیستی کم و یا زیاد است (کمّی‌سازی تنوع زیستی)، شاخص‌هایی را تعریف کرده‌اند که این شاخص‌ها تنوع زیستی را به صورت عدد و رقم بیان می‌کنند و ما می‌توانیم مثلاً با مقایسه دو جامعه، منطقه و یا چشم‌انداز، تنوع زیستی را بین آن‌ها بررسی کنیم. این شاخص‌ها شامل شانون، یکنواختی، سیمپسون، عکس سیمپسون و مشابه این‌ها هستند. البته این شاخص‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند و با توجه به اهداف مطالعه بایستی مورد بررسی قرار گیرند که در این‌جا بیشتر به این‌ها پرداخته نمی‌شود. اگر بخواهیم یک اشاره کلی در مورد وضعیت تنوع زیستی داشته باشیم باید بدانیم که در روی کره زمین در حدود دو میلیون گونه زنده شناسایی و نامگذاری شده‌اند. همچنین حدس زده می‌شود که حدود ده میلیون گونه شناسایی نشده وجود داشته باشد که بخش عظیم این گونه‌های شناسایی نشده به بی‌مهرگان و به‌خصوص بندپایان تعلق دارند. در تنوع زیستی تعداد گونه و پراکندگی افراد گونه‌ها در جامعه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به‌طور مثال اگر دو جامعه A و B وجود داشته باشد، هر چه تعداد گونه‌ها افزایش یابد آن جامعه متنوع‌تر می‌گردد. اما غیر از این باید توجه داشت که تنوع زیستی تنها به تعداد گونه‌ها بستگی ندارد بلکه علاوه بر تعداد گونه، پراکندگی تعداد افراد در هر گونه نیز اهمیت دارد. مثلاً در جدول ۲-۱ جامعه‌ی A از ۱۰۰ عضو و پنج گونه تشکیل شده است که ۹۰ عضو این جامعه به

[1] Landscape

گونه‌ی شماره ۱ تعلق دارد و جامعه‌ی B نیز ۱۰۰ عضو و پنج گونه دارد درحالیکه توزیع اعضا بین گونه‌ها در این جامعه یکنواخت‌تر است. اگر تنوع این دو جامعه توسط شاخص شانون مورد بررسی قرار گیرد مشاهده می‌گردد که شاخص تنوع شانون جامعه‌ی A و B به ترتیب ۰/۴۴ و ۱/۵۴ به دست می‌آید که این یعنی تنوع جامعه B بیشتر از A است و دلیل این تفاوت آن است که تعداد افراد هر گونه در جامعه B از A بیشتر است چراکه در جامعه‌ی A بخش اعظم افراد به یک گونه تعلق دارد. بنابراین، در تنوع زیستی پراکندگی افراد هر گونه در جامعه نیز مهم است.

جدول ۲-۱- مقایسه تنوع دو جامعه A و B: علاوه بر تعداد گونه، پراکندگی تعداد افراد در هر گونه اهمیت دارد.

گونه	A	B
۱	۳۰	۹۰
۲	۲۵	۵
۳	۲۰	۳
۴	۱۵	۱
۵	۱۰	۱
مجموع	۱۰۰	۱۰۰
شاخص تنوع شانون	۰/۴۴	۱/۵۴

۲-۲-مهم‌ترین دلایل زوال تنوع زیستی

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که این کاهش یا از بین رفتن تنوع زیستی که در روی کره زمین اتفاق افتاده است (این تعداد گونه‌های گیاهی، جانوری، میکروارگانیسم‌ها و غیره که از دست رفته‌اند و یا برخی از آن‌ها برای همیشه منقرض شده‌اند) به چه دلیل است؟ در پاسخ باید گفت که یک سری دلایل عمومی اعم از فعالیت‌های کشاورزی و غیرکشاورزی وجود دارد که عبارتند از:

۱- تخریب زیستگاه[1]: مکان زندگی گونه‌ها در اثر فعالیت‌های انسانی مانند تغییرکاربری اراضی

[1] Habitat

شامل شهرسازی، سدسازی، راه‌سازی و نظیر این‌ها از بین رفته است که باعث کاهش یا از بین رفتن بسیاری از گونه‌ها گردیده است. یک نوع مهم تغییر کاربری اراضی که در زوال و نابودی تنوع زیستی بسیار مهم بوده است، تبدیل جنگل و مرتع به زمین‌های کشاورزی می‌باشد.

۲- بیماری‌ها: آفات و بیماری‌های برخی از جانداران یا گیاهان افزایش پیدا کرده که باعث کاهش شدید جمعیت گونه‌ها و یا از بین رفتن آن‌ها شده‌است. معمولاً وقوع آفات و بیماری‌ها به فعالیت‌های انسانی ارتباط دارد، به‌طور مثال انسان باعث شده است که یک نوع بیماری که قبلاً مهم نبوده است و تأثیری نداشته است، به یک منطقه وارد شود و باعث مرگ ومیر جانداران و از بین رفتن گونه‌ها گردد. برای مثال می‌شود سوسک کلرادو را مثال زد که قبلاً در ایران نبود و آفت سیب‌زمینی است.

۳- تغییر اقلیم: تغییر اقلیم، محیط زندگی گونه‌ها را دگرگون ساخته و ادامه حیات را برای بسیاری از گونه‌ها ناممکن نموده است و باعث کاهش تدریجی و یا از بین رفتن بسیاری از گونه‌ها شده است.

۴- بهره‌برداری بیش از حد: در بسیاری از اکوسیستم‌های دریایی، جنگلی، مرتعی و یا کشاورزی به دلیل بهره‌برداری زیاد جمعیت برخی از گونه‌ها به تدریج کاهش یافته و یا از بین رفته‌اند.

۵- ورود (ظهور) گونه‌های مهاجم: در اثر فعالیت‌های انسانی، بیماری‌ها و یا تغییر اقلیم برخی از گونه‌ها به شکل مهاجم در آمده و جمعیت سایر گونه‌ها را کاهش داده و یا از بین می‌برند. برای مثال می‌توان جلبک آزولا در تالاب انزلی را نام برد.

۶- آلودگی: آلودگی از مهم‌ترین عوامل کاهش تنوع زیستی عنوان شده است. انواع و اقسام مواد شیمیایی که در اثر فعالیت‌های کشاورزی و غیر کشاورزی به محیط وارد می‌شوند سبب کاهش و یا از بین رفتن تنوع زیستی شده‌اند.

در ادامه دلایل مربوط به کشاورزی توضیح داده می‌شوند.

۲-۳-کشاورزی و کاهش تنوع زیستی

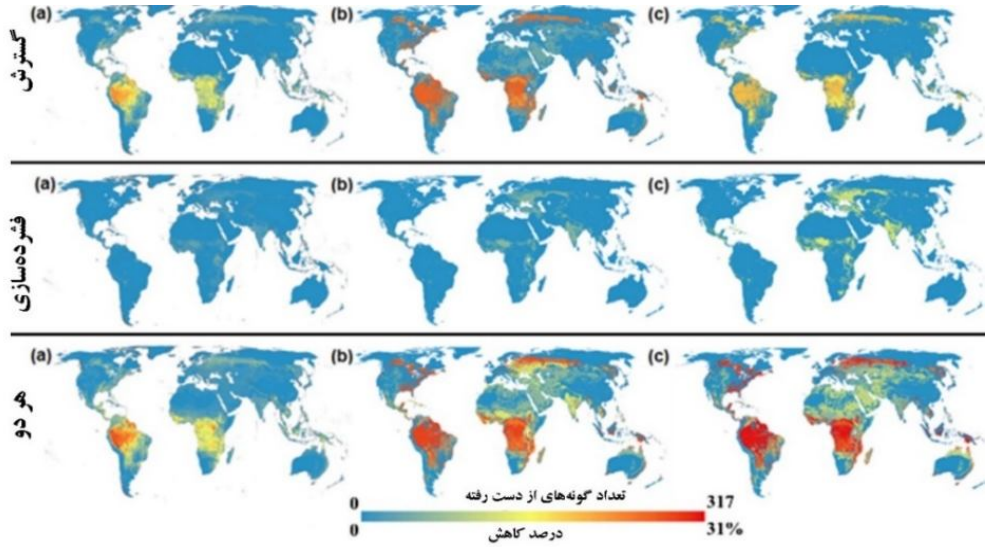
همانطور که بیان شد کشاورزی یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در کاهش و یا از بین رفتن تنوع زیستی است. چگونه کشاورزی باعث کاهش تنوع زیستی شده است؟ افزایش جمعیت بشر به همراه افزایش رفاه باعث شده است که نیاز به تولیدات کشاورزی فزونی یابد. این افزایش تولیدات کشاورزی بر محیط زیست فشار بیشتری را وارد نموده و باعث محدودیت و مزاحمت در محیط زیست شده و در نتیجه تنوع زیستی را کاهش داده و یا از بین برده است.

افزایش تولیدات کشاورزی ناشی از (۱) گسترش کشاورزی[1] (یعنی زمین‌های بیشتری کشت شدند) یا (۲) فشرده‌سازی[2] (یعنی سعی شد از هر هکتار زمین محصول بیشتری برداشت گردد) است که مجموعه این فعالیت‌ها باعث زوال و نابودی تنوع زیستی در خود اکوسیستم‌های کشاورزی و یا در اکوسیستم‌های طبیعی شده است. در شکل ۲-۲ تأثیر گسترش و فشرده‌سازی کشاورزی و ترکیب هر دو بر تنوع زیستی نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۲-۲ مشخص است کمترین تاثیر منفی بر روی تنوع زیستی را فشرده‌سازی کشاورزی دارد؛ یعنی تلاش برای افزایش عملکرد در واحد سطح، تنوع زیستی را زیاد کاهش نمی‌دهد ولی تأثیر گسترش کشاورزی بر کاهش تنوع زیستی نسبت به فشرده‌سازی بیشتر است و نیز ترکیب هر دو بیشترین تأثیر منفی را بر روی تنوع زیستی دارد. بنابراین، گسترش زمین‌های کشاورزی و یا بالابردن سطح زیرکشت نسبت به افزایش عملکرد در واحد سطح تأثیر بیشتری بر روی کاهش و یا از بین رفتن تنوع زیستی دارد.

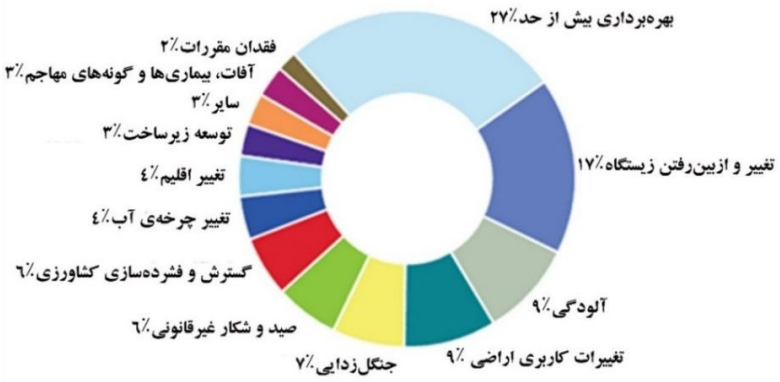
دلایل کاهش و یا از بین رفتن تنوع زیستی در اثر فعالیت‌های کشاورزی متنوع هستند و دانشمندان طبقه‌بندی‌های مختلفی را برای این دلایل ارائه داده‌اند. اکثر دلایل کاهنده تنوع زیستی به یکدیگر مرتبط هستند و گاهی همپوشانی دارند. بنابراین، دلایلی که در ادامه ذکر می‌گردد ممکن است شبیه به هم بوده و یا با یکدیگر ارتباط داشته باشند و یا در برخی منابع دیگر به شکل دیگری بیان شده باشند که این طبیعی است و اهمیت چندانی ندارد، بلکه مهم این است که بدانیم این عوامل

[1] Agricultural expansion
[2] Intensification

چه هستند. فائو در مقیاس جهانی عوامل تهدید کننده تنوع زیستی برای ۶۴۸ گونه وحشی دارای قابلیت استفاده به عنوان غذا را مورد بررسی قرار داده است (شکل ۲-۳). بزرگترین عامل با ۲۷ درصد، بهره‌برداری بیش از حد از منابع می‌باشد و پس از آن تغییر و از دست رفتن زیستگاه با ۱۷ درصد، آلودگی ۹ درصد، تغییر کاربری اراضی با ۹ درصد، جنگل‌زدایی با ۷ درصد، صید و شکار غیرقانونی ۶ درصد، گسترش و فشرده‌سازی کشاورزی با ۶ درصد، تغییر چرخه آب با ۴ درصد، تغییر اقلیم با ۴ درصد، توسعه زیرساخت‌ها با ۳ درصد، آفات، بیماری‌ها و گونه‌های مهاجم ۳ درصد، فقدان مقررات با ۲ درصد و سایر عوامل ۳ درصد قرار دارند.



شکل ۲-۲- تأثیر گسترش و فشرده‌سازی کشاورزی و ترکیب هر دو بر تنوع زیستی. a: کاهش تنوع زیستی از طریق برآورد گونه‌های مهره‌دار خشکی زی (پستانداران، پرندگان، دوزیستان و خزندگان) از دست رفته در شبکه‌های ۱۱۰ کیلومتری، b: درصد غنای گونه‌ای نسبی از دست رفته و c: درصد فراوانی نسبی گونه‌ای از دست رفته.



شکل ۲-۳- عوامل تهدید کننده ٦٤٨ گونه وحشی با مصرف غذایی

همان‌گونه که گفته شد در برخی موارد هم‌پوشانی و ارتباط وجود دارد، به عنوان مثال بین اثرات تغییر کاربری اراضی و جنگل‌زدایی بر کاهش تنوع زیستی هم‌پوشانی وجود دارد و یا بین اثرات توسعه زیرساخت‌ها با جنگل‌زدایی بر کاهش تنوع زیستی نیز ارتباط وجود دارد. به‌طورکلی مهم‌ترین دلایل اثرات منفی زیست‌محیطی و کاهش تنوع زیستی در اثر کشاورزی به شرح زیر است که در ادامه درباره هر یک از آن‌ها توضیح بیشتر ارایه خواهد شد:

۱- تغییر کاربری اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی

۲- بهره‌برداری بیش از حد از جنگل‌ها و مراتع

۳- کاهش کیفیت اکوسیستم‌ها در اثر کشاورزی

۴- ورود یا ظهور گونه‌های مهاجم

۵- تغییر اقلیم (منظور آن بخش یا سهم مربوط به کشاورزی است)

۶- ساده‌شدن تناوب زراعی و تبدیل چند کشتی به تک‌کشتی

۷- اتکا به تعداد کمتر گونه، نژاد و رقم

۲-۳-۱-تغییر کاربری اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی

از ۲۰۰ سال گذشته تاکنون به منظور گسترش کشاورزی بخش زیادی از جنگل‌ها و مراتع از بین برده شده است تا زمین جدید برای کشاورزی ایجاد گردد؛ بخشی از این اضافه نمودن

زمین‌های کشاورزی به منظور جبران تولید برای افزایش جمعیت و بخشی نیز برای جبران از دست رفتن حاصلخیزی و کیفیت زمین‌های کشاورزی قبلی بوده‌است. این امر باعث شده است که بسیاری از گونه‌های جانوری و گیاهی از بین بروند. به‌طور کلی، یکی از مهم‌ترین عوامل زوال و نابودی تنوع زیستی در دنیا در اثر کشاورزی، تغییر کاربری اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی نام برده می‌شود. به عنوان مثال، در کشور مالزی و هنگ‌کنگ به‌ترتیب ۴۰ و ۹۷ درصد از زیستگاه‌های طبیعی که عمدتاً جنگل بوده‌اند، از بین رفته‌اند. دلیل اصلی تغییر کاربری در کشور مالزی توسعه کشت پالم روغنی و در هنگ‌کنگ توسعه شهر و راه‌سازی بوده است. البته در ایران آمار دقیقی در این ارتباط گزارش نشده است. در اثر این تغییر کاربری اراضی، همچنین محیط زیست و زیستگاه جانوران و گیاهان قطعه قطعه می‌گردد و بین آن‌ها فاصله ایجاد می‌شود. بنابراین، کاهش مهاجرت جانداران، کاهش گرده‌افشانی گیاهان توسط حشرات، به‌هم خوردن روابط شکار و شکارچی و نظیر این‌ها از مهم‌ترین عوارض و مشکلات این قطعه قطعه شدن در اثر تغییر کاربری اراضی به‌شمار می‌آیند.

۲-۳-۲-بهره‌برداری بیش از حد از جنگل‌ها و مراتع

برداشت بیش از حد از چوب درختان جنگلی و چرای بیش از ظرفیت مراتع باعث می‌گردد که زیستگاه‌های بسیاری از جانداران از بین برود و در نتیجه جمعیت گونه‌های خاص و یا تعداد گونه‌های گیاهی، جانوری، میکروارگانیسم‌ها و غیره کاهش پیدا کند و نهایتاً تنوع زیستی کاهش یابد.

۲-۳-۳-کاهش کیفیت اکوسیستم‌ها در اثر کشاورزی

کاهش کیفیت اکوسیستم‌ها در اثر کشاورزی خود مجموعه‌ای از دلایل کاهش تنوع زیستی را پوشش می‌دهد. این کاهش کیفیت اکوسیستم‌ها هم در خود اکوسیستم‌های کشاورزی اتفاق می‌افتد و هم در سایر اکوسیستم‌های دور و یا نزدیک صورت می‌گیرد. چه مواردی را در بر می‌گیرد؟ در خود اکوسیستم کشاورزی یکی از مواردی که اهمیت زیادی دارد کاهش ماده آلی و عناصر غذایی خاک است. وقتی ماده‌ی آلی خاک زیاد باشد، میکروارگانیسم‌ها و

ریزارگانیسم‌های زیادی (مثل حشرات) در آن خاک وجود دارند و فعالیت می‌کنند ولی وقتی اراضی کشاورزی را طی سالیان مختلف خاک‌ورزی و کشت می‌کنیم (مثلاً ۱۰۰ یا ۲۰۰ سال)، ماده‌ی آلی و عناصر غذایی خاک کاهش پیدا می‌کند و در پی آن تنوع زیستی کاهش می‌یابد. همچنین در اثر کشاورزی عناصر غذایی را از خاک خارج می‌کنیم که ممکن است به اندازه‌ی کافی جایگزین نشود که این نیز روی حیات جانداران خاک تأثیر منفی می‌گذارد و تعداد آن‌ها را کاهش می‌دهد و در نتیجه تنوع زیستی را پایین می‌آورد. فرسایش خاک عامل مهم دیگری است که در اراضی کشاورزی نسبت به اراضی طبیعی بیشتر صورت می‌پذیرد و نقش پر رنگی در کاهش تنوع زیستی در اکوسیستم‌های کشاورزی دارد. در کشاورزی سم، کود (عناصر غذایی) و سایر نهاده‌ها مصرف می‌شود و این مواد علاوه بر تأثیر منفی که در خود اکوسیستم‌های کشاورزی بر روی تنوع زیستی دارند بر اکوسیستم‌های دور و نزدیک نیز تأثیر می‌گذارند. این مواد با ورود به اکوسیستم‌های دور و نزدیک سبب کاهش تنوع زیستی در آن‌ها می‌گردند. زه‌آب کشاورزی که معمولاً شور می‌باشد ممکن است به سایر اکوسیستم‌های مجاور مانند رودخانه‌ها، تالاب‌ها و نظیر این‌ها وارد شود و تنوع زیستی این اکوسیستم‌ها را کاهش دهد. یکی از مهم‌ترین دلایل که باعث شده در کشور ما تنوع زیستی به شدت کاهش پیدا کند و از سایر عوامل تأثیر بیشتری دارد، قطع شدن یا کاهش ورود آب به اکوسیستم‌های طبیعی است. آب‌های سطحی و زیر زمینی به سمت فعالیت‌های کشاورزی هدایت شده و سهم اکوسیستم‌های طبیعی از منابع آب به شدت کاهش یافته و در نتیجه جانداران و گیاهان این اکوسیستم‌ها از بین می‌روند و تنوع زیستی و حیات این اکوسیستم‌ها نابود می‌گردد. در کشور ما در طی ۵۰ سال اخیر این مورد به‌صورت گسترده روی داده است و نشانه‌های آن در همه جا قابل مشاهده است. به عنوان مثال، زاینده‌رود طی همین فرآیند خشک گردید؛ چراکه آب آن برای مصارف کشاورزی استفاده شد. کاهش آب رودخانه کارون، کاهش آب تالاب‌های کشور مانند جازموریان و یا خشک شدن آن‌ها و نیز خشک و کم‌آب شدن دریاچه ارومیه و نمونه‌های فراوان دیگر را می‌توان حاصل قطع شدن و یا کاهش ورود آب به این اکوسیستم‌ها دانست که تغییر اقلیم آن را تشدید کرده است.

۲-۳-٤-ورود یا ظهور گونه‌های مهاجم

گونه‌های مهاجم ممکن است گونه‌هایی باشند که قبلاً در یک اکوسیستم حضور داشته‌اند. برای مثال، یک علف‌هرز را در نظر بگیرید که قبلاً به دلیل تنوع زیاد در کشت گیاهان مختلف، توسط دشمنان طبیعی و یا سایر آفات کنترل می‌شده است، اما پس از مدتی در اثر از بین رفتن دشمن طبیعی و آفات و نیز تک‌کشتی شدن اکوسیستم، این علف هرز به‌صورت مهاجم و غالب در آمده است و جمعیت سایر گونه‌ها را کاهش داده‌است. گاهی نیز ممکن است این گونه‌های مهاجم توسط نقل و انتقالاتی که برای بذر، کود و سموم به وسیله ماشین‌آلات انجام می‌گیرد از مزرعه‌ای به مزرعه‌ی دیگر و یا حتی از استانی به استان دیگر و در مقیاسی بزرگتر بین کشورها و قاره‌ها جابه‌جا شوند. این گونه‌های مهاجم هنگامی‌که وارد سایر اکوسیستم‌های کشاورزی و یا طبیعی می‌شوند، سبب کاهش جمعیت سایر گونه‌ها شده و یا حتی آن‌ها را از بین می‌برند، بنابراین تنوع زیستی اکوسیستم‌ها کاهش پیدا می‌کند.

۲-۳-۵-تغییر اقلیم

تغییر آب و هوای کره زمین که در ۲۰۰ سال گذشته تاکنون روی داده است (ناشی از فعالیت‌های بشر از جمله کشاورزی) شرایط محیطی را برای گونه‌ها دگرگون ساخته و سبب کاهش تنوع زیستی شده است. چگونه کشاورزی بر تغییر اقلیم مؤثر است؟ در فصل سوم توضیح داده می‌شود. اما در این‌جا باید به این نکته اشاره کرد که تغییر اقلیم یعنی تغییر آب و هوا و عوض شدن آب و هوا باعث می‌شود که شرایط زندگی گونه‌های مختلف عوض شود که برای بعضی از آن‌ها مناسب نیست و جمعیتشان کاهش می‌یابد و یا ممکن است از بین بروند. در تغییر اقلیم، کشاورزی نیز نقش دارد چون تغییر اقلیم هم خودش موضوع مهمی است و هم برای کشاورزی اهمیت دارد و هم کشاورزی در آن نقش دارد به همین خاطر در فصول ۳ و ۴ جداگانه به آن پرداخته خواهد شد.

۲-۳-۶-ساده‌شدن تناوب زراعی و تبدیل چندکشتی به تک‌کشتی

مورد دیگری که باعث کاهش تنوع زیستی در اثر کشاورزی شده است، ساده‌شدن تناوب زراعی و تبدیل چندکشتی به تک کشتی می‌باشد. تناوب زراعی یعنی در یک قطعه از زمین در سال‌های مختلف گیاهان متفاوتی را کشت کنیم و یا زمین زراعی را به چند قطعه تقسیم کنیم و در هر سال در هر قطعه یک گیاه متفاوت را کشت کنیم. در اثر گسترش و فشرده‌سازی کشاورزی، تک‌کشتی رونق پیدا کرده یعنی تناوب کنار گذاشته شده است و تعداد گیاهان کشت شده در زمین کم شده و یا تعداد گیاهانی که در سال‌های مختلف کشت می‌شوند، کاهش پیدا کرده است و در کشاورزی به سمتی رفته‌ایم که گیاهان کمتری داشته باشیم یعنی به جای چند گیاه، یک گیاه داشته باشیم. این اتفاق در کل کشورهای دنیا افتاده است، به‌طوری‌که امروزه بخش اعظم محصولات کشاورزی تولید شده در دنیا از ۱۲ گونه‌ی زراعی دانه‌ای، ۲۳ گونه‌ی سبزیجات و ۳۵ گونه‌ی درختی حاصل می‌گردد. به‌صورتی که در ۱/۶ میلیارد هکتار از اراضی کشاورزی جهان تنها ۷۰ گونه گیاهی کشت می‌گردد. این تنوع با یک جنگل یک هکتاری گرمسیری که در آن بیش از ۱۰۰ گونه‌ی گیاهی یافت می‌شود، قابل قیاس نیست. بنابراین، کشاورزی مخصوصاً در ۱۰۰ سال گذشته به منظور تولید محصولات بیشتر، تناوب و پیچیدگی اکوسیستم را ساده کرده است و اکوسیستم‌های چندکشتی و کشت‌های مخلوط به اکوسیستم تک‌کشتی تبدیل شده‌اند. در نتیجه این امر علاوه کاهش تنوع زیستی در گیاهان غیر زراعی و غیر باغی، بسیاری از گونه‌هایی که در خود کشاورزی استفاده می‌شده است نیز کاهش یافته و یا به فراموشی سپرده شده‌اند.

۲-۳-۷- اتکا به تعداد کمتر گونه، نژاد و رقم

مورد دیگر مرتبط با کشاورزی که در اثر آن تنوع زیستی کاهش یافته است این است که اتکا به تعداد کمتری از گونه‌ها، نژادها و ارقام صورت گرفته است. یعنی با گذشت زمان از گونه‌ها، نژادها و ارقام گیاهی یا جانوری کمتری برای تولید غذا و محصولات مورد نیاز بشر استفاده شده است، به‌طوری‌که امروز ۸۰ درصد غذای مورد نیاز بشر از ۸۰ گونه گیاهی به‌دست می‌آید، این درحالیست که در طول تاریخ ۴۰۰۰ گونه جهت تولید غذا کشت و کار می‌شده است. این کاهش

اتکا به ۸۰ گونه‌ی گیاهی به وضوح نشان دهنده‌ی کاهش تنوع زیستی در اکوسیستم‌های کشاورزی است. به عنوان مثال، در کشور آمریکا ۶۵ درصد از سطح زیر کشت لوبیا به ۲ تا ۳ رقم، ۷۲ درصد از سطح زیرکشت سیب‌زمینی به ۴ رقم و ۵۳ درصد از سطح زیرکشت پنبه به ۳ رقم تعلق دارد. بنابراین، عدم استفاده از سایر ارقام (در اینجا دیگر مسئله گونه هم نیست، بلکه رقم یا ژنوتیپ می‌باشد) می‌تواند باعث کم شدن آن ژن‌ها گردد که این خودش به معنی کاهش تنوع زیستی است. در گذشته (مثلاً ۱۰۰ سال پیش) تعداد گیاهانی که به منظور تولید غذا کشت و کار می‌شده بسیار زیاد بوده است. به‌طوری‌که هر شهر و روستا نه تنها گیاهان متفاوتی کشت می‌کرده‌اند حتی در مورد گیاهان یکسان توده‌های محلی و بومی خاص خود را داشته‌اند، مثلاً در روستاهای همجوار از توده‌های بومی متفاوتی از گندم و یا جو کشت می‌گردیده است. ولی اکنون به جای آن‌ها فقط از دو یا سه رقم جهت کشت استفاده می‌گردد. بدین صورت بسیاری از توده‌های محلی که دارای ژن‌های با ارزشی بوده‌اند کنار گذاشته شده و بخش ارزشمندی از تنوع زیستی کاهش یافته است.

۲-٤-پیامدهای کاهش تنوع زیستی

اکنون این سوال مطرح می‌شود که تنوع زیستی کاهش پیدا کند، چه ایرادی دارد؟ چه مشکلی ایجاد می‌کند؟ در پاسخ به این پرسش بایستی به این نکته اشاره کنیم که هر موجود زنده‌ای به‌صورت انفرادی یا به‌صورت جزئی از یک اکوسیستم، خدمت یا خدماتی را ارائه می‌کند که به آن خدمات اکوسیستم[1] گفته می‌شود. کاهش تنوع زیستی باعث اختلال در خدماتی می‌شود که یک گونه یا اکوسیستم ارایه می‌دهد.

این خدمات اکوسیستم را به سه الی چهار دسته تقسیم می‌کنند که شامل موارد زیر است:

۱- خدمات تأمینی[2]

[1] Ecosystem services
[2] Provisioning services

۲- خدمات تنظیمی[1] و پشتیبانی[2] (در برخی منابع این دو خدمت را از یکدیگر مجزا می‌کنند)
۳- خدمات فرهنگی[3]

۲-۴-۱-خدمات تأمینی

خدمات تأمینی شامل کالا و خدماتی است که اکوسیستم ارائه می‌کند:

- غذا، علوفه، الیاف، سوخت، چوب و نظیر این‌ها
- مواد خام (مانند چوب، پوست، سوخت، مواد آلی، کود و نظیر این‌ها)
- منابع ژنتیکی
- مواد دارویی
- سوخت زیستی: در سال‌های اخیر از گیاهان به عنوان سوخت زیستی استفاده می‌کنند به این صورت که از گیاه الکل تولید و از آن برای سوخت استفاده می‌کنند که به آن سوخت زیستی می‌گویند.
- گل و گیاهان زینتی، حیوانات خانگی (سگ و گربه، ماهی‌ها و غیره)، جواهر آلات (عاج فیل)
- تولید اکسیژن: گیاهان در فرآیند فتوسنتز اکسیژن تولید می‌کنند.
- تولید (تثبیت) نیتروژن: تثبیت نیتروژن به صورت آزادزی و یا در همزیستی با گیاهان صورت می‌گیرد که نیتروژن از هوا گرفته می‌شود و به فرمی در می‌آید که گیاهان می‌توانند استفاده کنند و بعد در اکوسیستم از گیاهان استفاده می‌شود.

کاهش تنوع زیستی در ارائه خدمات تأمینی اختلال ایجاد می‌کند. به‌عنوان مثال، در ایرلند یک قحطی اتفاق افتاد به این دلیل که محصول اصلی آن‌ها سیب‌زمینی بود و به یک باره یک بیماری سیب‌زمینی اتفاق افتاد و از آن‌جایی که رقمی که استفاده می‌کردند به بیماری حساس بود، تمامی محصولشان از بین رفت. گزارش شده است که بیش از یک میلیون نفر ایرلندی در اثر این قحطی از بین رفتند و بیش از یک میلیون نفر دیگر نیز مجبور به مهاجرت شدند و جمعیت این کشور را با

[1] Regulating services
[2] Supporting services
[3] Cultural services

کاهش بزرگی روبرو شد. حال اگر محصولات متنوع و یا ارقام گوناگون سیب‌زمینی در این کشور استفاده می‌شداین اتفاق روی نمی‌داد.

یکی از مهم‌ترین خدمات تأمینی، منابع ژنتیکی برای اهداف به‌نژادی و اصلاح گیاهان جهت تولید ارقام مطلوب با صفات بهینه است. به منظور ایجاد صفات مختلف در گیاهان باید ژن آن صفت را در ارقام یا ژنوتیپ‌های دیگر پیدا کرده و به رقم موجود انتقال داد. به عنوان مثال، برای افزایش پروتئین گندم باید ارقام، ژنوتیپ‌ها و توده‌های بومی و محلی متعدد گندم را بررسی کنیم و یکی را که درصد پروتئین بالاتری دارد پیدا کنیم و ژن مربوطه را از طریق تلاقی برگشتی[1] یا سایر روش‌های مناسب به ارقام موجود (پروتئین کمتری دارند) منتقل کنیم. هنگامی‌که تنوع زیستی کاهش پیدا می‌کند یعنی ارقام وحشی و توده‌های بومی و محلی که حاوی منابع ژنی گرانبهایی هستند کم می‌شوند، با کاهش تنوع زیستی این منابع ژنتیکی بسیار ارزشمند نیز کاهش یافته و یا از بین می‌روند و ممکن است در آینده اگر بشر بخواهد رقمی با ویژگی خاصی را ایجاد کند چه بسا که منابع ژنی آن صفت و یا ویژگی از بین رفته و در دسترس نباشد. در دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی یک بیماری ویروسی گیاه برنج را در محدوده وسیع جغرافیایی از اندونزی تا هندوستان تحت تأثیر قرار داد. دانشمندان این کشورها برای کنترل این بیماری ۶۲۳۷ ژنوتیپ برنج را مورد بررسی قرار دادند که تنها فقط یک ژنوتیپ به این بیماری ویروسی مقاوم بود و توانستند ژن مقاومت را از آن ژنوتیپ به سایر ارقام منتقل کرده و آن‌ها را نیز نسبت به آن ویروس مقاوم نمایند.

با کاهش تنوع زیستی خدمات تأمینی با ارزشی مانند منابع ژنتیکی از دست می‌رود و در نتیجه آسیب‌پذیری به عوامل بیرونی مانند آفات، بیماری‌ها و نظیر این‌ها افزایش پیدا می‌کند.

۲-٤-۲-خدمات تنظیمی و پشتیبانی

این خدمات عبارتند از:

- ترسیب کربن و تنظیم اقلیم: اکوسیستم‌ها و جانداران موجود در آن‌ها به ترسیب کربن و تنظیم اقلیم کمک می‌کنند. ترسیب کربن به دریافت کربن از اتمسفر و تبدیل آن به مواد آلی بادوام

[1] Backcross

در خاک گفته می‌شود، یعنی دی‌اکسیدکربن از اتمسفر توسط جانداران (گیاهان و فیتوپلانکتون‌ها) گرفته می‌شود و کربن آن را به ماده‌ی آلی پایدار تبدیل می‌گردد (توسط میکروب‌ها) و به این صورت کربن در این ماده‌ی آلی حبس می‌شود و باعث تغییر اقلیم نمی‌شود (به فصل نهم رجوع شود). منظور از تنظیم اقلیم این است که این خدمات بر روی آب‌وهوا تأثیرگذار هستند.

- تنظیم جمعیت جانداران بر اساس روابط شکار-شکارچی، میزبان-انگل و نظیر این‌ها (از ریزجانداران تا جانداران عظیم‌الجثه را شامل می‌شود): برخی جانداران مثل قارچ‌ها و ویروس‌ها برخی از گونه‌های مهاجم را از بین می‌برند و یا برخی جانداران دشمن طبیعی گونه‌های دیگری هستند که در تنظیم جمعیت آن‌ها و حفظ تعادل و پایداری در اکوسیستم‌ها تأثیر فراوانی دارند. بنابراین، با کاهش تنوع زیستی این تنظیم خود به خودی که در اکوسیستم‌ها اتفاق می‌افتد ضعیف شده و یا از بین می‌روند.
- تجزیه ضایعات و بقایا: تجزیه بقایا و ضایعات توسط ریزارگانیسم‌ها و میکرواگانیسم‌ها یکی از خدمات بسیار مهم تنظیمی اکوسیستم است.
- سمیت زدایی: توسط خدمات تنظیمی مواد سمّی به مواد بی خطر تجزیه و تبدیل می‌گردند.
- پالایش آلودگی‌ها: پالایش مواد آلی و معدنی توسط خدمات تنظیمی اکوسیستم صورت می‌پذیرد.
- تصفیه‌ی آب و هوا: بسیاری از ریزجاندارن درون خاک و بر روی ریشه گیاهان و یا درون آب وجود دارند که کار تصفیه خاک و آب را انجام می‌دهند. مثلاً آلودگی‌هایی که در اکوسیستم‌های مجاور وارد آب و خاک می‌شود، توسط ریشه‌ی گیاهان و میکروارگانیسم‌هایی که در خاک هستند تصفیه می‌شوند. همچنین آلودگی‌های هوا نیز توسط خدمات تنظیمی اکوسیستم تصفیه می‌شود.
- کنترل آفات و بیماری‌ها: بسیاری از بیماری‌ها و آفات از طریق روابط شکار و شکارچی و یا دشمنان طبیعی توسط این خدمت اکوسیستم کنترل می‌گردند. مثلاً موش توسط مار کنترل می‌گردد و یا جاندارانی که سایر جانداران و گیاهان را پارازیت می‌کنند و یا حشراتی که سایر

حشرات را شکار و جمعیت آن‌ها کنترل می‌کنند.

- ❖ کنترل فرسایش و سیلاب‌ها: بسیاری از گونه‌های گیاهی در کنترل فرسایش و سیلاب‌ها نقش تنظیمی دارند که البته این کار توسط مراتع و جنگل‌ها صورت می‌گیرد که ما برای کشاورزی و یا سایر فعالیت‌ها آن‌ها را تخریب و از بین می‌بریم.
- ❖ تغذیه منابع آب زیرزمینی: بسیاری از گونه‌های گیاهی در اکوسیستم‌ها در کنترل منابع آبی و نفوذ آن به سفره‌های آب زیرزمینی نقش کلیدی دارد.
- ❖ چرخه‌ی عناصر و حفظ حاصلخیزی خاک: در چرخه‌ی عناصر مثل نیتروژن و فسفر که اهمیت زیادی دارند، بسیاری از فرآیندها توسط میکروارگانیسم‌ها انجام می‌گیرد. مثلاً تثبیت همزیستی و غیر همزیستی نیتروژن، تجزیه نیتروژن و سایر عناصر از بقایا و فرآیندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون توسط میکروارگانیسم‌ها صورت می‌گیرد. بنابراین، کاهش تنوع زیستی می‌تواند در این فرآیندها اختلال ایجاد کند.
- ❖ سلامت خاک: به وجود انواع جمعیت‌های میکروارگانیسم‌ها، حشرات و غیره در درون و روی خاک بستگی دارد که هر چه جوامع میکروبی و میکروارگانیسم‌ها بیشتر باشند، کنترل بهتری صورت می‌گیرد و خدمات تنظیمی بیشتری را ارائه می‌نمایند.
- ❖ تشکیل خاک: یکی از مهم‌ترین خدمات حمایتی و تنظیمی است که علاوه بر عواملی فیزیکی مانند آب و باد توسط گونه‌های گیاهی، میکروبی و ریزجانداران صورت می‌گیرد.
- ❖ فرآهم کردن آشیان و پناهگاه: بسیاری از گونه‌های گیاهی زیستگاه و آشیانه بسیاری از گونه‌های جانوری دیگر هستند که یک خدمت مهم تنظیمی و پشتیبانی برای حفظ تنوع موجودات زنده است.
- ❖ گرده‌افشانی گیاهان: از مهم‌ترین خدمات تنظیمی در گونه‌های گیاهی است و برای تولید بسیاری از محصولات غذایی به این خدمت نیاز است.

کاهش تنوع زیستی در ارائه خدمات تأمینی و تنظیمی اختلال ایجاد می‌کند و از آن‌جا که این خدمات از کلیدی‌ترین خدمات در اکوسیستم‌های طبیعی و غیرطبیعی هستند و حتی بسیاری از خدمات دیگر مانند خدمات تأمینی را پشتیبانی، حمایت و تنظیم می‌کنند، اختلال و کاهش در

آن‌ها تأثیرات بسیار بزرگ و غیرقابل پیش‌بینی را به دنبال دارد.

۲-٤-۳-خدمات فرهنگی

خدمات فرهنگی اکوسیستم شامل موارد زیر است:

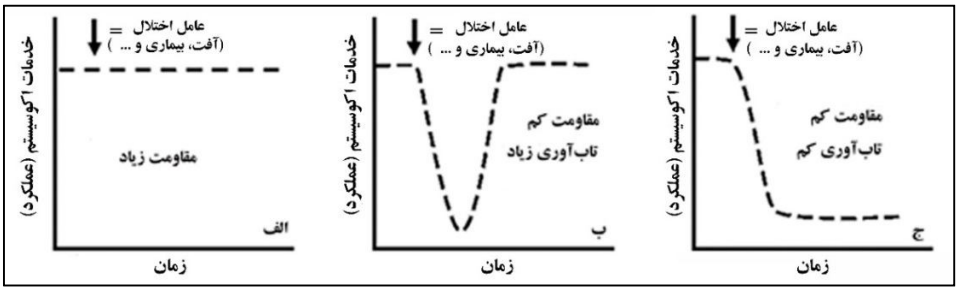
- الهام بخشی، سمبول بودن و نظیر این‌ها: بسیاری از مواردی که در طبیعت وجود دارد، الهام‌بخش هستند و به عنوان سمبول و نماد استفاده می‌شوند و همچنین در بسیاری از آثار فرهنگی، هنری و نقاشی‌ها کاربرد دارند.
- استراحت و تفریح (اکوتوریسم، ورزش‌های بیرونی): بشر به منظور استراحت، ورزش، اکوتوریسم و تفریح از اکوسیستم‌ها استفاده می‌کند. بنابراین، از بین رفتن این اکوسیستم‌ها برای کشاورزی و یا هر فعالیت دیگر می‌تواند این خدمات را دچار اختلال کند.
- علمی-آموزشی: برای کارهای علمی یا آموزشی از اکوسیستم‌ها استفاده می‌شود.
- درمانی: از اکوسیستم‌ها برای فعالیت‌های درمانی استفاده می‌گردد. استراحتگاه‌های درمانی مانند چشمه‌های آب گرم و نظیر این ها نمونه‌هایی از خدمات فرهنگی اکوسیستم می‌باشند.

خدمات فرهنگی نیز با کاهش تنوع زیستی، کاهش یافته و از بین می‌رود به‌عنوان مثال اکوتوریسم که بر پایه چشم‌اندازهای طبیعی شامل گیاهان و جانوران است با کاهش تنوع زیستی از بین خواهد رفت.

۲-۵-نتیجه‌گیری کلی: پیامدهای کاهش تنوع زیستی

به‌طورکلی با کاهش تنوع زیستی شبکه‌ها و خدمات تأمینی، تنظیمی و پشتیبانی و فرهنگی اکوسیستم‌ها تضعیف می‌شوند و در نتیجه از خود تنظیمی و پایداری کاسته می‌گردد که به دنبال آن اکوسیستم‌ها نسبت به عوامل بیرونی مانند آفات، بیماری‌ها، شرایط نامساعد آب‌وهوایی و غیره آسیب‌پذیرتر می‌شوند. بنابراین، هر چقدر که تنوع زیستی بیشتر باشد، این مکانیزم‌ها و خدمات اکوسیستم‌ها بیشتر و پیچیده‌تر است و به راحتی در برابر عوامل نامساعد شکسته نمی‌شوند و اگر شکسته شوند، دوبار به سرعت بهبود می‌یابند. به عبارت بهتر، تنوع زیستی در افزایش مقاومت و

تاب‌آوری اکوسیستم‌ها نقش حیاتی دارد. مفاهیم مقاومت[1] و تاب‌آوری[2] توضیح داده می‌شوند: در شکل ۲-۴ الف مشاهده می‌شود که با وجود این‌که عامل اختلال (مثل آفت، بیماری و یا عوامل محیطی مثل دما) بر روی اکوسیستم تأثیر گذاشته است اما در خدمات و یا عملکرد آن هیچ کاهشی ایجاد نمی‌گردد، یعنی اکوسیستم مقاومت بالایی دارد که تنوع زیستی می‌تواند در ایجاد این مقاومت حیاتی باشد. در شکل ۲-۴ ب مشاهده می‌شود که در نتیجه بروز عامل اختلال در اکوسیستم، خدمات و یا عملکرد آن کاهش یافته است، اما دوباره به سرعت به حالت قبل از بروز اختلال بازگشته است. این‌که اکوسیستم بتواند به حالت اولیه خود بازگردد را تاب‌آوری می‌گویند و تنوع زیستی در ایجاد آن اهمیت زیادی دارد. اگر تنوع از اکوسیستم حذف شود و یا کاهش پیدا کند، در اثر وقوع عامل بر هم زننده در اکوسیستم، خدمات و یا عملکرد آن کاهش می‌یابد (مقاومت کم) و ممکن است که دیگر اکوسیستم به حالت قبلی خود باز نگردد (تاب‌آوری کم) (شکل ۲-۴ ج).



شکل ۲-٤- الف: اکوسیستم دارای مقاومت زیاد، ب: اکوسیستم با مقاومت کم و تاب‌آوری زیاد و ج: اکوسیستم با مقاومت و تاب‌آوری کم

در اکوسیستم‌های فاقد مقاومت و یا تاب‌آوری بالا، در اثر بروز عوامل اختلال‌زا عملکرد و یا خدمات اکوسیستم با گذشت زمان رو به کاهش می‌گذارد و این شرایطی است که می‌گوییم اکوسیستم ناپایدار است (شکل ۲-۵). کاهش تنوع زیستی اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی را

[1] Resistance
[2] Resilience

آسیب‌پذیر و ناپایدار می‌کند.

شکل ۲-۵- اکوسیستم ناپایدار: عملکرد یا خدمات اکوسیستم با گذشت زمان کاهش پیدا می‌کند.

۲-۶-خلاصه

تنوع زیستی عبارت است از مجموع گیاهان، حیوانات و میکروارگانیسم‌ها در یک محدوده تعریف شده (مثل حشرات، خفاش‌ها، مرجان‌های دریایی، علف‌های دریایی، کرم خاکی، قارچ‌ها، باکتری‌ها و غیره). تنوع زیستی خدمات متنوعی را در قالب خدمات تأمینی، تنظیمی و پشتیبانی و فرهنگی را ارائه می‌کند که برخی از این خدمات مهم در کشاورزی عبارتند از:

- ❖ خاک را حاصلخیز نگه می‌دارند.
- ❖ گیاهان را گرده افشانی می‌کنند.
- ❖ آب و هوا را تصفیه می‌کنند.
- ❖ ماهیان و درختان را سالم نگه می‌دارند.
- ❖ با آفات گیاهان و حیوانات مبارزه می‌کنند.

کشاورزی به مهم‌ترین و بزرگترین عامل کاهش تنوع زیستی تبدیل شده است که عمده دلایل آن عبارتند از:

- ❖ در کشاورزی، زمین‌های طبیعی را به کشاورزی تبدیل کرده‌ایم.
- ❖ نامناسب کردن کیفیت اکوسیستم‌ها (مثل ایجاد آلودگی‌ها یا تغییر چرخه آب)
- ❖ ساده کردن تناوب و کم کردن تعداد جانداران که برای تولید استفاده می‌شوند

مهم‌ترین پیامدها و نتایج کاهش تنوع زیستی در اثر کشاورزی به شرح زیر است:

- ❖ محروم شدن از یک سری خدمات اکوسیستم (تأمینی، تنظیمی و پشتیبانی و فرهنگی)
- ❖ آسیب‌پذیری بیشتر اکوسیستم در برابر عوامل برهم زننده محیطی (تنش‌ها، آفات و بیماری‌ها و نظیر این‌ها)

تکلیف درسی

۱- درخت مشکل برای «تنوع زیستی» تهیه کنید.

۲- با جستجو در منابع در حد یک صفحه مطلب مربوط به درس امروز تهیه کنید.

فصل سوم
تغییر اقلیم: سرشت و دلایل

در این فصل به یکی دیگر از مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی تحت عنوان تغییر اقلیم پرداخته می‌شود. از آنجا که تغییر اقلیم مبحثی مهم و طولانی است، در دو فصل (۱) سرشت و دلایل تغییر اقلیم و (۲) اثرات و پیامدهای آن ارائه خواهد شد. یادآوری می‌شود که در این فصل نیز به مانند فصل گذشته در ابتدا مشکل زیست‌محیطی (اینجا تغییر اقلیم) شرح داده می‌شود سپس دلایل ایجاد آن و در نهایت پیامدها و یا اثرات آن بیان می‌گردد.

برای تغییر اقلیم از واژگان دیگری مثل تغییر آب‌وهوا[1]، گرم‌شدن کره زمین[2] و یا تغییر محیط جهانی[3] نیز استفاده می‌شود و ممکن است از واژگان مشابه دیگری هم استفاده گردد ولی این سه واژه بیشتر از همه در مورد تغییر اقلیم استفاده شده‌اند. تغییر اقلیم چالش شماره یک بشریت است چون بسیاری از مباحث جهان امروز به تغییر اقلیم ارتباط دارد و بسیاری از معاهده‌ها و نشست‌های بین‌المللی مانند توافق آب‌وهوایی پاریس در سال ۲۰۱۵ نشان از اهمیت این موضوع دارد.

چرا تغییر اقلیم این‌قدر مهم است؟ چون تأثیرات گسترده‌ای دارد، از جمله بر روی تنوع زیستی که در فصل دوم به آن اشاره شد. بنابراین، چون تأثیرات گسترده‌ای دارد و همه چیز را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد، نگرانی‌هایی را در ابعاد جهانی در پی داشته است به همین سبب به عنوان چالش شماره یک بشر مطرح شده است. تغییر اقلیم موضوعی است که باید بیش از سایر موضوعات در ابعاد جهانی نگرانش باشیم یعنی تغییر اقلیم یک موضوع عمومی و جهانی است.

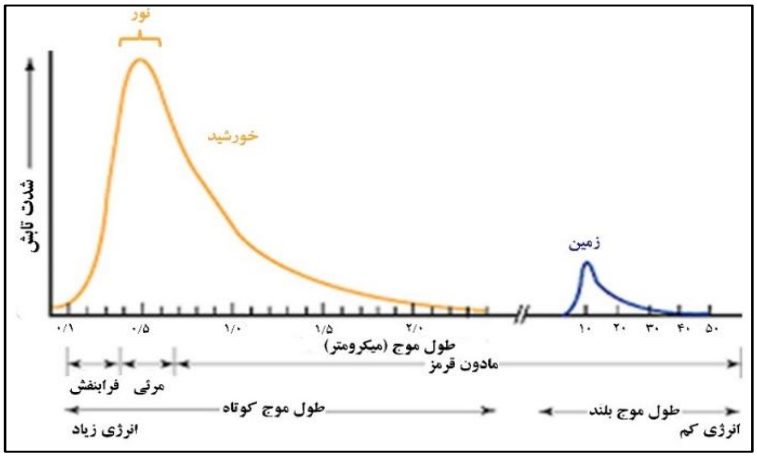
---

[1] Climate change
[2] Global warming
[3] Global environmental change

۳-۱-ماهیت تغییر اقلیم

۳-۱-۱-طیف‌های تشعشع

اکنون این سؤال مطرح می‌شود که ماهیت تغییر اقلیم چیست؟ تمامی اجسامی که در محیط اطراف ما قرار دارند مانند خورشید، سنگ، درخت، آب، ساختمان و حتی خود انسان‌ها از خود تشعشع گسیل[1] می‌کنند (تشعشع می‌فرستند یا ساطع می‌کنند). هر چه دمای این اجسام بالاتر باشد، می‌توانند انرژی بیشتری را به صورت تابش ارسال کنند و همین‌طور هر چه دمای جسم بیشتر باشد تابشی که آن جسم ارسال می‌کند، طول موج کوتاه‌تری خواهد داشت. بنابراین، اگر جسمی دمای بالاتری داشته باشد تابشی که ارسال می‌کند با طول موج کوتاه‌تر است و انرژی بیشتری هم دارد و برعکس اگر دمای جسمی پایین‌تر باشد تابشی از خود گسیل می‌کند طول موج بلندتر و انرژی کمتر (موج کوتاه یعنی انرژی بیشتر و موج بلند یعنی انرژی کمتر). به شکل ۳-۱ دقت کنید، توجه داشته باشید که دمای خورشید ۶۰۰۰ درجه کلوین است پس تابش‌هایی با طول موج‌های کوتاه و پر انرژی ساطع می‌کند که در محدوده‌ی ۰/۱ تا ۴ میکرومتر قرار دارند. بیشترین شدت تابش یا انرژی خورشید با طول موج حدود ۰/۵ میکرومتر گسیل می‌شود. خورشید در طول موج‌های کوتاه‌تر و بلندتر نیز انرژی ساطع می‌کند اما بیشترین میزان انرژی در حدود طول موج ۰/۵ میکرومتر ارسال می‌شود.



شکل ۳-۱- طول موج و شدت تابش گسیل‌شده برای خورشید و زمین

[1] Emission

از کل تشعشع خورشیدی که به زمین گسیل می‌گردد ما فقط بخشی از آن را که بین ۰/۴ تا ۰/۷ میکرومتر است با چشم می‌بینیم که به آن نور مرئی گفته می‌شود. تابش‌هایی که خورشید ارسال می‌کند دارای طول موج‌های کمتر و بیشتر از این محدوده هم هستند ولی با چشم قابل رؤیت نیستند. از طرف دیگر، اجسامی که بر روی زمین قرار دارند (اصطلاحاً اجسام زمینی) دمای پایین‌تری نسبت به خورشید دارند: دمای خورشید ۳۰۰۰ درجه کلوین برآورد شده و دمای اجسام زمینی اغلب ۳۰۰ درجه کلوین معادل ۲۷ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود. چون اجسام زمینی دمای کمتری نسبت به خورشید دارند به همین سبب طول موج‌های بلندتر و با انرژی کمتر گسیل می‌کنند. طول موج‌های خورشیدی بین ۰/۱ تا ۴ میکرومتر دامنه دارد اما طول موج‌های اجسام زمینی در محدوده‌ی ۴ تا ۵۰ میکرومتر می‌باشد یعنی تشعشع ساطع‌شده از زمین از نظر طول موج به‌طور کامل از تشعشع خورشیدی مجزاست (شکل ۳-۱). همچنین بیشترین تابش از اجسام زمینی در محدوده طول موج ۱۰ میکرومتر ارسال می‌شود.

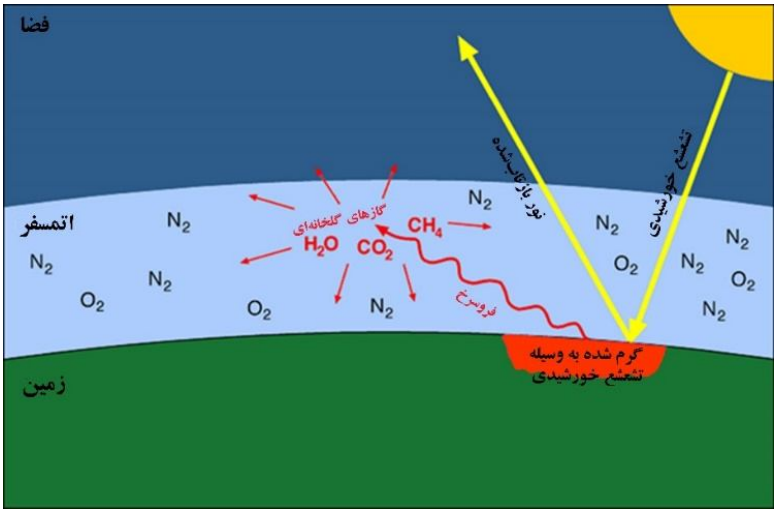
به‌این‌ترتیب با دو نوع تشعشع (تابش) با طول موج‌های کوتاه و بلند سروکار داریم. تابش‌هایی که از خورشید ارسال می‌شوند خود به سه بخش تقسیم می‌گردند: (۱) فرابنفش با طول موج‌های کمتر از ۰/۴ میکرومتر، (۲) مرئی با طول موج‌های ۰/۴ تا ۰/۷ میکرومتر که گیاهان می‌توانند استفاده و فتوسنتز کنند و (۳) فروسرخ نزدیک با طول موج‌های ۰/۷ تا ۴ میکرومتر. اما تابش‌های ارسالی از اجسام زمینی کلاً در محدوده‌ی فروسرخ دور قرار دارند (طول موج‌های بیشتر از ۴ میکرومتر).

۳-۱-۲-اثر گلخانه‌ای[1]

اتفاقی که در تغییر اقلیم می‌افتد و ماهیت تغییر اقلیم به آن بر می‌گردد این است که اتمسفر زمین دارای این خاصیت می‌باشد که تابش موج کوتاه خورشید را به خوبی از خودش عبور[2] می‌دهد ولی برعکس تابش موج بلند از اجسام زمینی را عمدتاً جذب می‌کند. بخشی از تابش

[1] Greenhouse effect
[2] Transmission

خورشیدی عبور کرده از اتمسفر که به اجسام زمینی برخورد می‌کند ممکن است منعکس شود که در این حالت به همان خوبی که وارد کره‌ی زمین شده از اتمسفر کره زمین خارج می‌شود. اما بخشی از تابش خورشیدی که منعکس نمی‌شود توسط اجسام مختلف جذب[1] می‌شود و می‌تواند دمای اجسام را بالا ببرد. اما اجسام زمینی از خود تابش موج بلند ارسال می‌کنند که بخش اعظم این تابش موج بلند توسط اتمسفر جذب می‌شود. این عبور تابش موج کوتاه و جذب تابش موج بلند توسط اتمسفر را اثر گلخانه‌ای می‌گویند (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- اثر گلخانه‌ای: اتمسفر زمین تابش موج کوتاه گسیل‌شده از خورشید را به‌خوبی از خود عبور می‌دهد ولی بخش اعظم تابش موج‌بلند گسیل‌شده از اجسام زمین را جذب می‌کند.

دلیل این نام‌گذاری چیست؟ به این دلیل است که در گلخانه‌ها نیز این اتفاق روی می‌دهد؛ یعنی تابش موج کوتاه خورشیدی به خوبی از شیشه یا پلاستیک گلخانه عبور کرده و به اجسام و گیاهان درون گلخانه می‌رسد و دمای آن‌ها را افزایش می‌دهد. اما تابشی که اجسام (خاک، گلدان و...) و گیاهان داخل گلخانه گسیل می‌کنند توسط شیشه یا پلاستیک گلخانه به خوبی جذب می‌گردد. نتیجه حاصله گرم‌شدن گلخانه است. مشابه این اتفاق در کره‌ی زمین روی می‌دهد یعنی

[1] Absorption

در کره‌ی زمین اتمسفر مثل شیشه‌ی گلخانه عمل کرده و باعث می‌شود تا کره زمین گرم گردد.

برآورد شده است که اگر اثر گلخانه‌ای نبود و اتمسفر زمین این فعالیت را انجام نمی‌داد، دمای کره‌ی زمین به منفی ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسید که در این صورت هیچ‌گونه حیاتی روی کره زمین امکان‌پذیر نبود. ولی امروزه متوسط دمای کره‌ی زمین به دلیل اثر گلخانه‌ای اتمسفر، حدوداً ۱۵ درجه سانتی‌گراد است، یعنی ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر از حالتی است که این اثر وجود نمی‌داشت. بنابراین، گازهای گلخانه‌ای برای حیات روی کره زمین مفید و ضروری هستند و اگر نبودند حیات روی کره زمین به شکل فعلی ممکن نبود.

اکنون این سؤال مطرح می‌شود که این اثر گلخانه‌ای که اتمسفر زمین انجام می‌دهد (یعنی موج کوتاه را عمدتاً عبور می‌دهد ولی موج بلند را عمدتاً جذب می‌کند) چگونه ایجاد می‌شود؟ در پاسخ بایستی گفت که تعدادی گاز که به آن‌ها گازهای گلخانه‌ای گفته می‌شود، این اثر را ایجاد می‌کنند. از مهم‌ترین و اصلی‌ترین گازهای گلخانه‌ای اتمسفر می‌توان دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4) و گاز اکسید نیتروژن (N_2O) را نام برد. سؤال بعدی که در اینجا مطرح می‌شود این است که حال مشکل چیست؟ گفته شد که اثر گلخانه‌ای مفید می‌باشد و باعث حیات شده است اکنون این چه مشکلی ایجاد می‌کند؟ مشکل این است که غلظت گازهای گلخانه‌ای در طی دو قرن اخیر رو به افزایش بوده است. بنابراین، اثر گلخانه‌ای در حال تشدید و بزرگ‌تر شدن است و وقتی اثر گلخانه‌ای تشدید گردد دمای کره‌ی زمین بالاتر می‌رود و افزایش پیدا می‌کند و این گرم شدن کره زمین می‌تواند اثرات منفی بسیار زیادی را به دنبال داشته باشد.

در اینجا ذکر یک نکته ضروری به نظر می‌رسد و آن این است که گسیل تشعشع متفاوت از انعکاس تشعشع است در انعکاس[1] تشعشع، تشعشع با همان طول موج و با همان کیفیتی که رسیده پس از برخورد به جسم (مثل زمین)، منعکس می‌شود. گاهی انعکاس یا بازتابش با گسیل اشتباه می‌شوند. در گسیل[2] (ارسال یا انتشار) خود جسم تابش را تولید و ارسال می‌کند. ولی در انعکاس، جسم تشعشع رسیده از منبع خارجی را منعکس می‌سازد و خود تولیدکننده و ارسال‌کننده نیست.

[1] Reflection
[2] Emission

در بحث اثر گلخانه‌ای گاهی گفته می‌شود که: "تابش خورشیدی از اتمسفر به‌خوبی وارد می‌شود ولی وقتی توسط اجسام زمینی بازتابش می‌شود (انعکاس) دیگر نمی‌تواند خارج شود" که این جمله درست نیست. هر تابش خورشیدی که منعکس گردد به همان خوبی که وارد اتمسفر شده از آن خارج می‌شود و این دلیل تغییر اقلیم نیست بلکه دلیل تغییر اقلیم این است که تابش خورشیدی به‌خوبی از اتمسفر عبور می‌کند، اجسامی که روی زمین هستند این تابش را جذب می‌کنند و گرم می‌شوند و سپس خودشان تابش ارسال می‌کنند و این تابشی که این‌ها ارسال می‌کنند و دارای طول موج بلند (کم انرژی) است از اتمسفر خارج نمی‌شود بلکه جذب می‌شود و سبب گرمایش جهانی و تغییر اقلیم می‌گردد (شکل ۳-۲).

۳-۱-۳-گازهای گلخانه‌ای

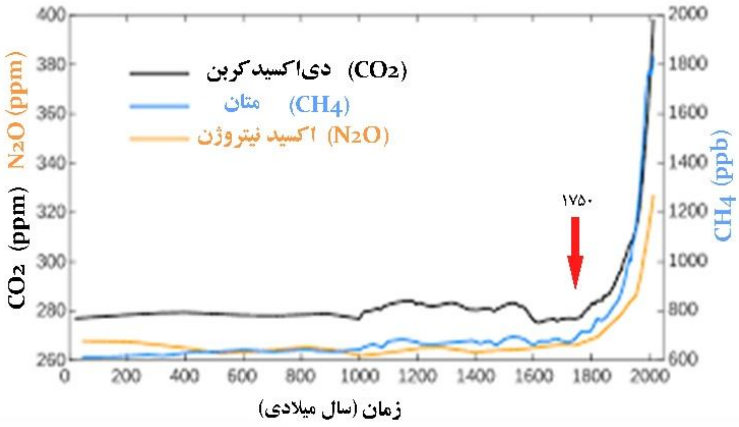
معروف‌ترین گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن هستند. گازهای دیگری نیز وجود دارند که یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای بخار آب موجود در اتمسفر زمین است. اما بخار آب دمای کره‌ی زمین را کنترل نمی‌کند و برعکس مقدار بخار آب به دمای کره‌ی زمین بستگی دارد؛ هرچه دمای اتمسفر بالاتر باشد می‌تواند بخار آب بیشتری را در خود نگه دارد. معمولاً میزان بخار آب در اتمسفر ناشی از فعالیت‌های بشر نیست و از طرفی طول عمر بخار آب نیز کوتاه است و به‌طور معمول پس از چند روز به‌صورت بارندگی به سطح زمین برمی‌گردد. این در حالی است که گازهای گلخانه‌ای اصلی مانند دی‌اکسید کربن، متان و گاز اکسید نیتروژن طول عمر زیادی دارند و ممکن است چندین سال و یا حتی قرن‌ها در اتمسفر باقی بمانند. در کنار موارد بیان‌شده، گازهای گلخانه‌ای دیگری بنام کلروفلوئوروکربن‌ها (CFCs) نیز هستند که در گذشته به‌ویژه در یخچال‌ها به‌عنوان سردکننده مورد استفاده قرار می‌گرفتند که البته سال‌هاست که استفاده از آن‌ها ممنوع شده که باعث کاهش غلظت آن‌ها در اتمسفر گردیده است.

همه‌ی گازهای گلخانه‌ای که بیان شد اثر گلخانه‌ای یکسان ندارند بلکه با یکدیگر فرق دارند یعنی تأثیر این گازها در اثر گلخانه‌ای متفاوت است. اگر میزان تأثیر دی‌اکسید کربن را برابر یک در نظر بگیریم، هر تن متان، اکسید نیتروژن و کلروفلوئوروکربن‌ها به ترتیب معادل ۲۱، ۳۱۰ و

۵۰۰۰ تن دی‌اکسید کربن دارای اثر گلخانه‌ای هستند. از این اعداد به عنوان پتانسیل گرمایش جهانی[1] گازهای گلخانه‌ای نیز یاد می‌شود. پتانسیل گرمایش جهانی دی‌اکسید کربن برابر یک است و برای بقیه هم به همین ترتیب ۲۱، ۳۱۰ و ۵۰۰۰ می‌باشد.

۳-۱-٤-افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای

غلظت گازهای گلخانه‌ای (دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن) تا سال ۱۷۵۰ میلادی تقریباً ثابت و با تغییرات اندکی همراه بوده است. غلظت گازهای گلخانه‌ای از حدود سال ۱۷۵۰ میلادی رو به افزایش گذاشته است (شکل ۳-۳). غلظت دی‌اکسید کربن در این سال حدود ۲۸۰ppm[2] بوده است. دلیل اصلی این افزایش وقوع انقلاب صنعتی و ساخت و کاربرد انواع ماشین‌ها و لوازمی بوده است که سوخت‌های فسیلی مثل زغال سنگ، نفت، گازوئیل و بنزین مصرف می‌کردند، اما دلایل دیگری هم این افزایش را تشدید کرده‌اند. غلظت گاز دی‌اکسید کربن در سال ۲۰۱۹ به ۴۱۵ ppm رسیده، یعنی غلظت دی‌اکسید کربن در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۱۷۵۰ به میزان ۴۸ درصد افزایش یافته است.



شکل ۳-۳- روند تغییرات غلظت گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن، اکسید نیتروژن و متان تا سال ۲۰۰۰ میلادی

[1] Global warming potential (GWP)
[2] Parts per million

مهم‌ترین دلایل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای عبارتند از:

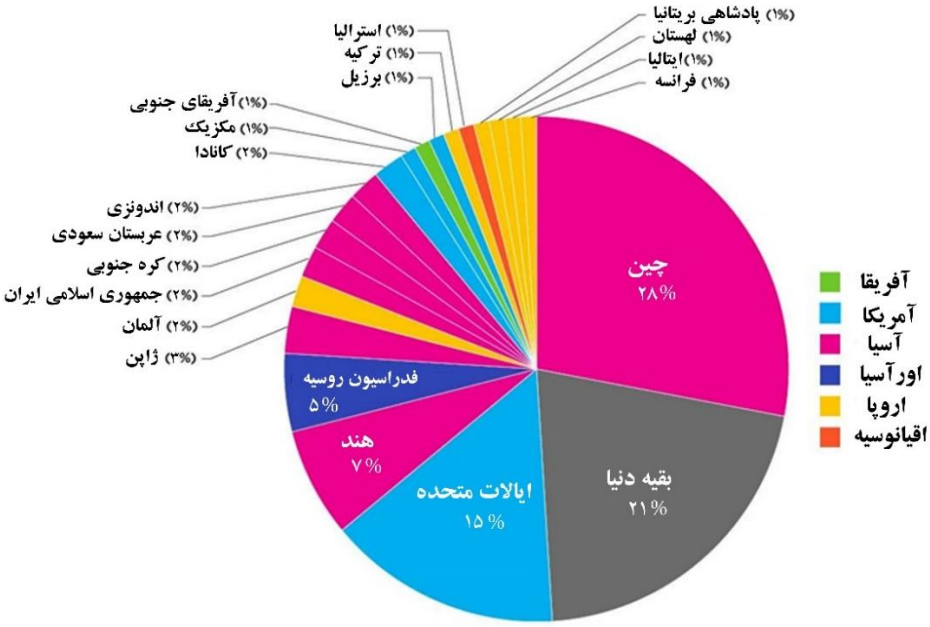
- ❖ مصرف سوخت‌های فسیلی
- ❖ تغییر کاربری اراضی جنگلی و مرتعی به اراضی کشاورزی و شهری
- ❖ گسترش دامداری‌ها
- ❖ گسترش تولید و استفاده از کودهای نیتروژنه
- ❖ ضایعات صنعتی و لندفیل‌ها[1] (محل دفن زباله‌ها)

در انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش‌های مختلف اقتصادی نقش و سهم متفاوتی داشته‌اند. در سطح جهانی این سهم‌بندی به این صورت است: تولید الکتریسیته و گرما ۲۵ درصد، کشاورزی، جنگل‌داری و استفاده از زمین ۲۴ درصد، ساخت‌وساز ۶ درصد، حمل‌ونقل ۱۴ درصد، صنعت ۲۱ درصد و سایر بخش‌ها نیز ۱۰ درصد (شکل ۳-۴). کشاورزی یکی از بخش‌های مهم در تولید گازهای گلخانه‌ای می‌باشد و در نتیجه نقش پررنگی در تغییر اقلیم دارد.

شکل ۳-٤- سهم بخش‌های مختلف در انتشار گازهای گلخانه‌ای

میزان نقش و سهم کشورهای مختلف در انتشار گازهای گلخانه‌ای در شکل ۳-۵ نشان داده شده است، بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی گازهای گلخانه‌ای دنیا چین با ۲۸ درصد است و بعد از آن آمریکا، هند و روسیه به ترتیب با ۱۵، ۷ و ۵ درصد قرار دارند.

[1] Landfills



شکل ۳-۵- سهم کشورهای مختلف در انتشار گازهای گلخانه‌ای

۳-۲-کشاورزی و انتشار گازهای گلخانه‌ای

اگر به‌صورت تخصصی انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی را مورد بررسی قرار دهیم و مشخص شود در کجا و چگونه و با چه اهمیتی انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت می‌گیرد، در این صورت می‌توانیم انتشار این گازها را بهتر مدیریت نموده و کاهش دهیم.

۳-۲-۱-دی‌اکسید کربن

راه‌های عمومی انتشار دی‌اکسید کربن به اتمسفر به شرح زیر است که در برخی از آن‌ها کشاورزی تأثیر پررنگ‌تری دارد که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود:

- سوزاندن سوخت‌های فسیلی: در اثر سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند بنزین، نفت، گازوئیل، زغال‌سنگ و نظیر این‌ها و نیز سایر مواد زیستی دارای کربن مانند درختان و ضایعات جامد، دی‌اکسید کربن آزاد و به اتمسفر انتشار می‌یابد.
- تجزیه مواد آلی: در تجزیه مواد آلی نیز دی‌اکسید کربن آزاد می‌شود مثلاً بقایای گیاهان و

جانوران موجود در آب‌وخاک وقتی‌که تجزیه می‌شوند، کربنی که در آن‌ها وجود دارد به‌صورت دی‌اکسید کربن آزاد می‌شود.

- ❖ تنفس: در طی تنفس جانوری و گیاهی و حتی ریزجانداران خاکزی و آبزی، دی‌اکسید کربن به اتمسفر منتشر می‌شود.
- ❖ تخمیر: در گیاهان، جانوران و نیز ریزجانداران فرآیند تخمیر باعث آزاد شدن دی‌اکسید کربن به اتمسفر می‌گردد.
- ❖ واکنش‌های شیمیایی خاص: تولید سیمان از فرآیندهای شیمیایی است که منجر به تولید دی‌اکسید کربن می‌شود.

مواردی که گفته شد راه‌های عمومی انتشار دی‌اکسید کربن است اما از سال ۱۷۵۰ تا به امروز از بین آن‌ها دو منبع اصلی افزایش غلظت CO_2 در اتمسفر (که به کشاورزی نیز مرتبط است) عبارت بوده‌اند از:

۱- تجزیه ماده آلی و بیوماس گیاهی در اثر سوزاندن یا تبدیل جنگل‌ها و مراتع به اراضی کشاورزی: مراتع و جنگل‌های زیادی وجود داشته که بشر در کشورهای مختلف پاکسازی کرده است یعنی گیاهان و درختان در مراتع و جنگل را تراشیده و یا در آورده‌اند و به سایر کاربری‌ها به ویژه به مزرعه تبدیل کرده‌اند. در نتیجه کربنی که در ریشه، تنه، ساقه و برگ درختان وجود داشته و آنجا محبوس بوده، در اثر سوزاندن این گیاهان و یا حتی اگر سوزانده نشده باشند از طریق تجزیه شدن آن‌ها، به صورت دی‌اکسید کربن وارد اتمسفر شده است.

۲- سوزاندن سوخت‌های فسیلی در همه بخش‌ها از جمله در بخش کشاورزی: در اثر سوزاندن سوخت‌های فسیلی مجموعه‌ای از گازها آزاد می‌گردد که شامل CO_2، CO، SO_2، N_2O، NO_X، سرب و برخی ذرات دیگر هستند که از بین آن‌ها CO_2 و N_2O گازهای مهم گلخانه‌ای مهم هستند.

در مورد دوم (سوزاندن سوخت‌های فسیلی) باید به این نکته توجه داشت که ما برای ساخت و تولید دستگاه‌ها (مثل تراکتور، گاوآهن و نظیر این‌ها) و نهاده‌هایی (مثل کود، سم و مثل این‌ها) که در کشاورزی استفاده می‌کنیم، سوخت مصرف می‌کنیم. برای مثال، برای تولید کود نیتروژن

مقدار زیادی گاز طبیعی در کارخانه کودسازی مصرف می‌گردد. علاوه بر این، در مزرعه وقتی‌که از دستگاه‌ها و نهاده‌هایی که ساخته‌شده استفاده می‌کنیم در آنجا نیز به‌صورت مستقیم از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنیم؛ برای مثال استفاده از سوخت یا الکتریسیته (تولیدشده از سوخت‌های فسیلی) در تراکتور برای تهیه بستر، کاشت، کودپاشی و سم‌پاشی و یا از کمباین برای برداشت محصولات و همچنین در دستگاه‌های فرآوری و خشک‌کننده محصولات و یا در دستگاه‌های مورداستفاده در دامداری‌ها. پس هر چه کمتر از ادوات و نهاده‌ها استفاده کنیم به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کرده‌ایم که البته این کار بایستی با اصول خودش صورت پذیرد. در کشاورزی ایران بیشترین مصرف سوخت برای تهیه بستر و آبیاری (به‌طور مستقیم) و برای تولید کودهای شیمیایی (به‌طور غیرمستقیم) استفاده می‌شود.

تبدیل زمین‌های طبیعی (جنگل و مرتع) به کشاورزی نیز سهم زیادی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. وقتی جنگل‌ها را قطع می‌کنیم و یا پوشش مراتع را از بین می‌بریم و به مزرعه تبدیل می‌کنیم، کربنی که در بافت‌های گیاهی محبوس بوده به‌صورت دی‌اکسید کربن آزاد شده می‌شود. همچنین دیگر جنگل و مرتعی نیز وجود ندارد تا دی‌اکسید کربن را جذب و اکسیژن تولید کند. ممکن است گفته شود که جای این‌ها گیاه می‌کاریم. بله این درست است ولی اولاً این گیاهان بیومس کمتری دارند و دارای اندازه کوچک هستند و دوماً در مدت زمان کوتاهی برداشت می‌شوند و از خودشان و یا بقایای آن‌ها استفاده می‌شود و کربن موجود در آن‌ها طی فرآیند تنفس به‌صورت دی‌اکسید کربن به اتمسفر انتشار می‌یابند.

۳-۲-۲-متان

پتانسیل گرمایش جهانی متان معادل ۲۵ برابر دی‌اکسید کربن است یعنی تأثیر یک تن متان در ایجاد اثر گلخانه‌ای با تأثیر ۲۵ تن دی‌اکسید کربن برابری می‌کند. راه‌های عمومی انتشار دی‌اکسید کربن به اتمسفر که کشاورزی در برخی از آن‌ها تأثیر پر رنگ دارد، عبارتند از:

- تجزیه غیرهوازی مواد آلی: تجزیه ماده‌ی آلی که در آب یا خاک مرطوب قرار دارد به علت رطوبت بالا به‌صورت غیرهوازی روی می‌دهد که طی آن متان آزاد می‌گردد. این اتفاق در

تالاب‌ها (ماده‌ی آلی در آب می‌افتد و تجزیه می‌شود)، مزارع برنج، کودهای دامی دپو شده در شرایط مرطوب و در محل‌های دفن زباله (اگر رطوبت زیاد باشد و خاک اشباع یا نزدیک به اشباع باشد) نیز صورت می‌پذیرد.

- ❖ سوختن بیوماس: وقتی‌که بیوماس (یعنی چیزهایی که از گیاهان و جانوران به دست می‌آید) می‌سوزند، متان آزاد می‌گردد؛ مثل سوزاندن هیزم، درختان و هر ماده‌ی آلی دیگری.
- ❖ تخمیر در دستگاه گوارش دام‌ها: در اثر تخمیر در دستگاه گوارش دام‌ها متان تولید و منتشر می‌شود.
- ❖ متان فسیلی: وقتی‌که سوخت‌های فسیلی را استخراج و حمل‌ونقل می‌کنند، بخشی از آن که به‌صورت متان است ممکن است به اتمسفر منتشر شود که به آن متان فسیلی می‌گویند. ذکر این نکته در اینجا ضروری به نظر می‌رسد که بخش بزرگی از گاز طبیعی نیز از متان تشکیل شده است که در گذشته که امکانات کمتر بود به‌منظور استخراج نفت آن را می‌سوزاندند و یا رها می‌کردند که به اتمسفر انتشار می‌یافت.

اما مهم‌ترین راه‌های انتشار گاز متان به اتمسفر در اثر فعالیت‌های کشاورزی به شرح زیر است:

۱- دستگاه گوارش حیوانات اهلی: منبع شماره یک تولیدکننده متان در جهان، دستگاه گوارش حیوانات اهلی مثل گاو، گوسفند، بز و اسب (به‌ویژه گاو) است که در تغییر اقلیم نقش زیادی دارد.

۲- مزارع برنج: در اثر افزایش جمعیت و رفاه، سطح زیر کشت برنج افزایش یافته است. در مزارع برنج به دلیل شرایط غرقابی خاک، مواد آلی به‌صورت غیرهوازی توسط باکتری‌ها تجزیه شده و متان آزاد می‌گردد.

۳- تجزیه کود دامی که در شرایط نامناسب نگهداری می‌شود: نگهداری کود دامی در جایی که رطوبت زیاد باشد، باعث تجزیه غیرهوازی آن شده و متان آزاد می‌گردد.

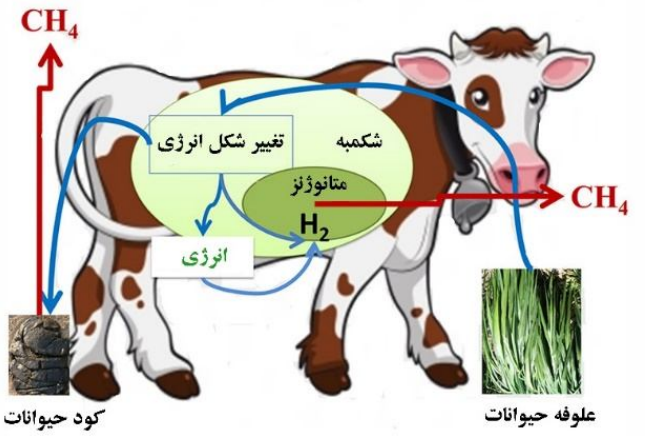
۴- تجزیه ریشه و بقایای گیاهی در خاک در مزرعه در شرایطی که رطوبت خاک بالا باشد یا مزرعه دچار آب‌گرفتگی و غرقابی باشد.

این چهار مورد در کشاورزی در انتشار متان مهم هستند به‌ویژه دو مورد اول که در ادامه بیشتر

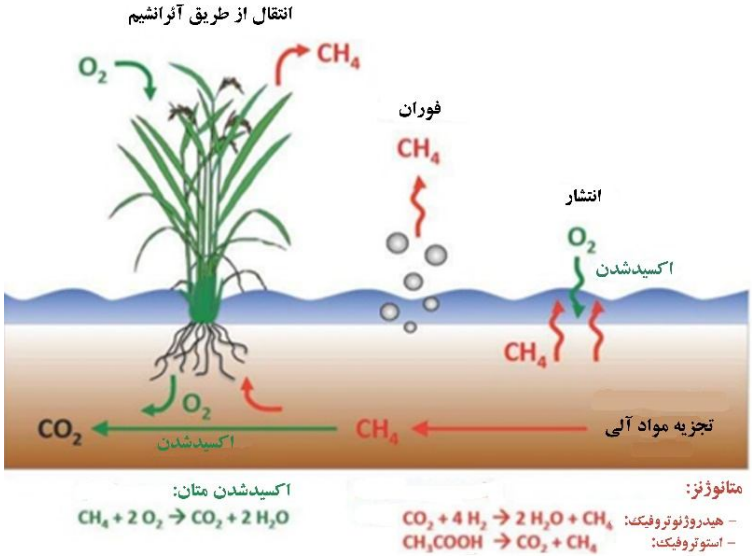
توضیح داده می‌شوند.

حیوانات اهلی به‌ویژه گاو از علوفه تغذیه می‌کنند، علوفه نیز سرشار از سلولز و یا لیگنین است که در دستگاه گوارش (شکمبه) دام‌ها آنزیم تجزیه‌کننده این مواد وجود ندارد بلکه باکتری‌هایی در سیستم گوارش این دام‌ها وجود دارد مواد سلولزی و لیگنینی را تجزیه و هضم می‌کنند و در این فرآیند هضم، متان آزاد می‌شود که در هنگام نشخوار دام از طریق دهان و یا به همراه فضولات دامی و یا به شکل آروغ زدن از دهان یا خروج باد از مقعد، از بدن دام خارج می‌گردد و به جو انتشار می‌یابد (شکل ۳-۶). دام‌ها از عوامل اصلی انتشار گاز متان در کشاورزی هستند طوری که گفته شده است دام‌ها بیش از کل بخش حمل‌ونقل (مانند اتومبیل‌ها، قطارها، کشتی‌ها و هواپیماها) گاز گلخانه‌ای منتشر می‌کنند. در بسیاری از منابع علمی، گاوها را منبع نخست انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه متان در کشاورزی جهان معرفی می‌کنند. مقایسه یک گاو با یک دستگاه اتومبیل از این نظر جالب خواهد بود. به‌طور میانگین یک گاو در یک سال بیش از یک اتومبیل گاز گلخانه‌ای (برحسب معادل دی‌اکسید کربن) تولید می‌کند. لازم به ذکر است که گاو گاز متان و اتومبیل دی‌اکسید کربن و اکسید نیتروژن تولید می‌کند. از طرف دیگر در مقابل ۱/۳ تا ۱/۵ میلیارد گاو در دنیا، یک میلیارد اتومبیل وجود دارد، بنابراین، با یک حساب سرانگشتی مشاهده می‌کنیم که گاوها از کل اتومبیل‌های دنیا گاز گلخانه‌ای بیشتری تولید می‌کنند. در رشته‌های علوم دامی یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی این است که روش‌هایی را پیدا کنند که انتشار متان از دام‌ها را کاهش دهند.

چنانچه ذکر شد در شرایط غرقاب بودن زمین و کمبود اکسیژن، مواد آلی خاک به‌صورت غیرهوازی توسط باکتری‌ها تجزیه می‌شوند و در پی آن متان آزاد می‌گردد و به هوا منتشر می‌شود. از آنجایی که کشت برنج در دنیا عمدتاً در شرایط غرقاب صورت می‌گیرد، نقش زیادی در انتشار متان دارد. متان تولیدشده از تجزیه مواد آلی در خاک غرقاب شده مزرعه برنج به‌صورت حباب فوران می‌کند یا از طریق ریشه به‌وسیله‌ی بافت آئرانشیم وارد گیاه شده و از طریق ساقه و برگ به اتمسفر آزاد می‌گردد یا از طریق انتشار از خاک به اتمسفر راه می‌یابد (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۶- انتشار گاز متان از سیستم گوارشی دام‌ها



شکل ۳-۷- انتشار متان از مزارع برنج

۳-۲-۳-اکسید نیتروژن

پتانسیل گرمایش جهانی اکسید نیتروژن ۳۰۰ برابر دی‌اکسید کربن است یا میزان اثر گلخانه‌ای یک تن اکسید نیتروژن معادل ۳۰۰ تن دی‌اکسید کربن می‌باشد. راه‌های عمومی انتشار اکسید

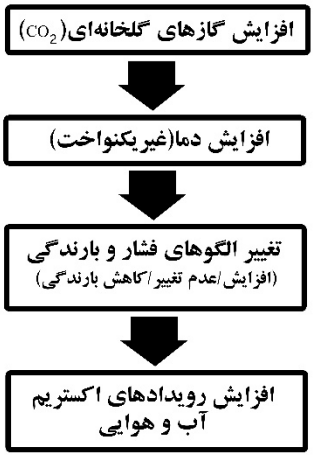
نیتروژن به اتمسفر به شرح زیر است:

- توسط باکتری‌ها در خاک و آب (دریاها و اقیانوس‌ها): اکسید نیتروژن به‌طور طبیعی توسط باکتری‌هایی که در فرآیندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون فعالیت دارند، به اتمسفر منتشر می‌شوند.
- احتراق سوخت‌های فسیلی: وقتی‌که سوخت‌های فسیلی را می‌سوزانیم اکسید نیتروژن تولید و منتشر می‌شود.
- فرآیندهای صنعتی: در برخی از فرآیندهای صنعتی مثل تولید کودهای نیتروژنه، اکسید نیتروژن تولید و منتشر می‌شود.
- از کودهای شیمیایی و آلی و فضولات دامی و انسانی نیز اکسید نیتروژن تولید و در هوا منتشر می‌شود.
- از کودهای نیتروژنه رواناب شده یا آبشویی شده نیز اکسید نیتروژن به وجود می‌آید و به اتمسفر انتشار می‌یابد.
- سوزاندن بیوماس: موقعی که بیوماس (گیاه: مرده یا زنده) سوزانده می‌شود نیز اکسید نیتروژن ایجاد و منتشر می‌شود.

به‌طورکلی بخش اعظم انتشار اکسید نیتروژن در کشاورزی به استفاده از موادی که از نیتروژن غنی هستند، مربوط می‌شود. در کشاورزی این کودهای شیمیایی و آلی نیتروژنه هستند که دارای مقدار زیادی نیتروژن می‌باشند. بخشی از نیتروژن موجود در این مواد سرانجام به فرم اکسید نیتروژن سر از اتمسفر در می‌آورد. به‌عنوان یک قاعده‌ی کلی، یک درصد از نیتروژن موجود در کودهای آلی و کودهای شیمیایی و همچنین دو درصد نیتروژن موجود در کودهای دامی (مانند کود گاوی، گوسفندی، پرندگان، کمپوست و نظیر این‌ها) به صورت اکسید نیتروژن به اتمسفر انتشار می‌یابد. میزان انتشار اکسید نیتروژن با نوع، مقدار و روش مصرف کود و همچنین نوع خاک و شرایط آب و هوایی رابطه مستقیم دارد.

۳-۳-مؤلفه‌های تغییر اقلیم

تغییر اقلیم دارای اجزا یا مؤلفه‌هایی است (شکل ۳-۸).

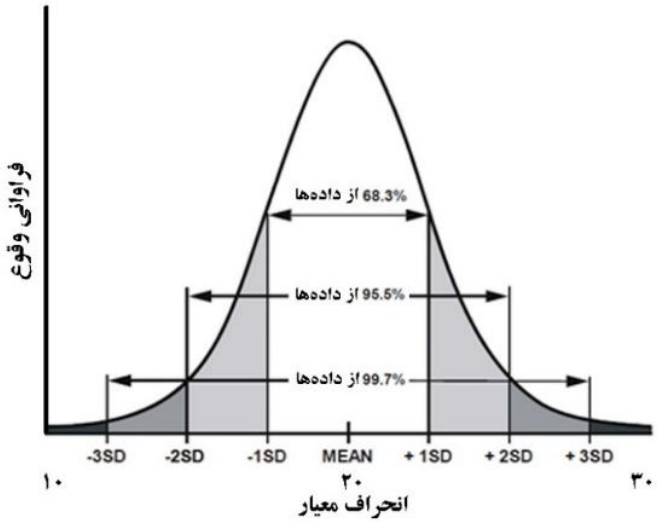


شکل ۳-۸- مؤلفه‌های تغییر اقلیم

اولین مؤلفه افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای است. دی‌اکسید کربن یکی از این گازها است که افزایش غلظت آن برای گیاهان مفید است و موجب افزایش فتوسنتز می‌شود. به دنبال افزایش اثر گلخانه‌ای ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، دما افزایش می‌یابد. اما این افزایش دما یکنواخت نیست و در مکان‌های متفاوت و حتی طی شبانه‌روز یکنواخت نمی‌باشد که خود باعث می‌شود الگوهای فشار در اتمسفر تغییر کنند و سبب تغییر در الگوهای بارندگی می‌شود که به معنی افزایش یا عدم تغییر یا کاهش بارندگی خواهد بود. علاوه بر این، فراوانی و شدت رویدادهای اکستریم آب و هوایی (مثل وقوع دماهای خیلی کم یا زیاد یا بارندگی‌های شدید یا عدم بارندگی در دوره طولانی و نظیر این‌ها) نیز افزایش می‌یابند. این رویدادهای اکستریم برای کشاورزی و منابع طبیعی بسیار خطرناک هستند، برای مثال، وقوع آتش‌سوزی‌ها در مراتع و جنگل‌ها بیشتر می‌شود. به مجموعه رویدادهایی که بیان شد تغییر اقلیم می‌گویند.

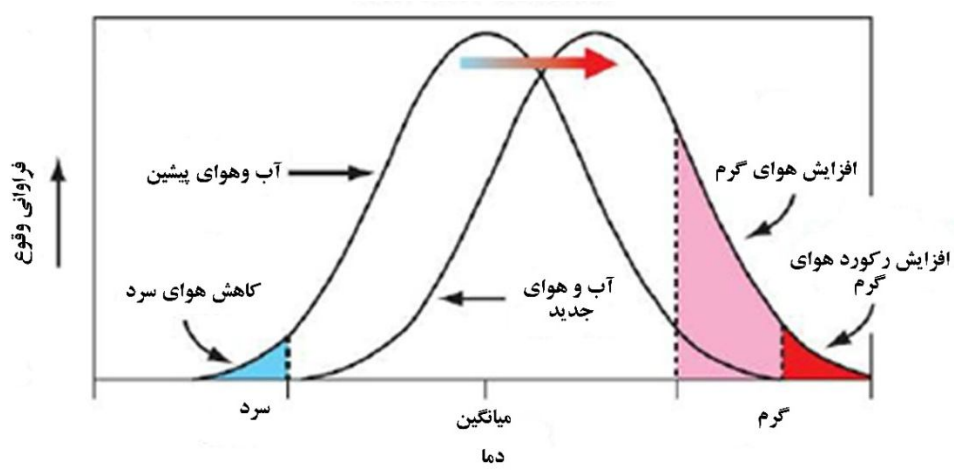
همان‌طور که گفته شد یکی از مؤلفه‌های مهم تغییر اقلیم افزایش اکستریم‌های آب و هوایی

است. برای روشن‌تر شدن این موضوع به مثال زیر توجه کنید. اگر طی ۱۰۰ سال گذشته دمای ۱۴ فروردین شهر گرگان مورد بررسی قرار گیرد، ۱۰۰ عدد متفاوت به دست می‌آید. حال اگر نمودار فراوانی این دماها رسم گردد، یک شکل زنگوله‌ای به دست می‌آید که بدین معنی است که وقوع دما دارای توزیع نرمال است. توزیع نرمال امکان وقوع یک حادثه (اینجا دما در ۱۴ فروردین) را توصیف می‌کند و در کتاب‌های آمار و احتمالات توضیح داده شده است. بیشترین فراوانی داده‌ها به آن دمایی تعلق دارد که نزدیک به میانگین دمای آن ۱۰۰ عدد به دست آمده، می‌باشد. اگر فرض کنیم میانگین دما ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد، بیشترین فراوانی دمایی در محدوده‌ی ۲۰ درجه سانتی‌گراد خواهد بود و فراوانی دماهای پایین‌تر یا بالاتر با دور شدن از میانگین کاهش می‌یابد. مثلاً ممکن است در ۱۰۰ سال یک یا دو بار ۱۰ درجه سانتی‌گراد وجود داشته باشد و یا در ۱۰۰ سال یک یا دو بار ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردد. اما ممکن است بیش از ۵۰ بار دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد وجود داشته باشد. در توزیع نرمال ۶۸ درصد از داده‌ها در فاصله یک انحراف معیار (±1SD) از میانگین قرار دارند. به همین ترتیب، ۹۵/۵ درصد از داده‌ها در فاصله دو انحراف معیار (±2SD) و ۹۹/۷ درصد از داده‌ها در فاصله سه انحراف معیار (±3SD) قرار دارند (شکل ۳-۹).



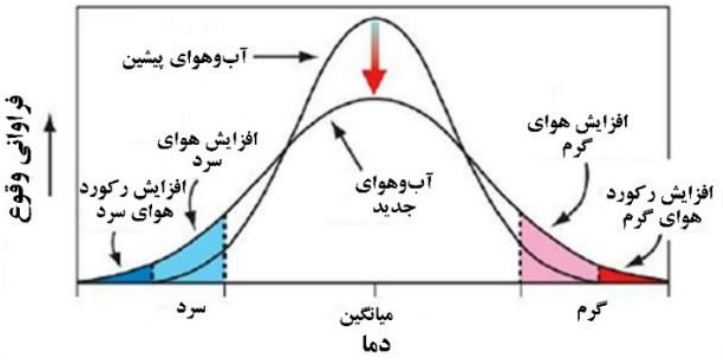
شکل ۳-۹- توزیع نرمال فرضی

با در نظر داشتن توزیع نرمال، نحوه افزایش اکستریم‌ها در اثر تغییر اقلیم توضیح داده می‌شود. تغییر توزیع وقوع یک رویداد هواشناسی، مثل دما در ۱۴ فروردین در گرگان، به سه حالت ممکن است رخ دهد. حالت اول: در این حالت فقط میانگین افزایش پیدا می‌کند. در این صورت منحنی توزیع نرمال به سمت راست یا به عبارتی به سمت دماهای بالاتر حرکت می‌کند (شکل ۳-۱۰). در این حالت شاهد وقوع دماهای بالایی خواهیم بود که قبلاً تجربه نشده است و همچنین وقوع دماهای بالا (مثل ۳۰ درجه سانتی‌گراد برای مثال فرضی گرگان) افزایش خواهد یافت.



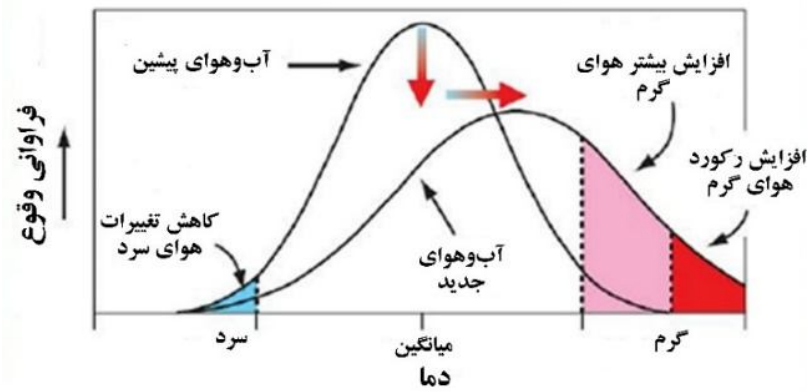
شکل ۳-۱۰- حالت اول تغییر اقلیم: افزایش میانگین توزیع نرمال

حالت دوم: این حالتی است که در آن در میانگین دما تغییری ایجاد نمی‌گردد ولی دامنه وقوع دماها افزایش پیدا می‌کند، یعنی منحنی توزیع نرمال از دو طرف کشیده می‌شود یا بازتر می‌شود. در این حالت شاهد وقوع دماهای پایین و بالایی خواهیم بود که قبلاً وجود نداشته‌اند و نیز فراوانی دماهای پایین و بالای قبلی (مثل ۱۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد در مثال فرضی گرگان) افزایش می‌یابد (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۱- حالت دوم تغییر اقلیم: افزایش در دامنه توزیع نرمال

حالت سوم: در این حالت ترکیبی از حالت‌های اول و دوم رخ می‌دهد یعنی میانگین دما افزایش یافته و منحنی به سمت راست حرکت می‌کند و نیز دامنه منحنی پهن‌تر می‌شود (شکل ۳-۱۲). در اثر تغییر اقلیم تغییراتی از جنس حالت سوم مورد انتظار است.



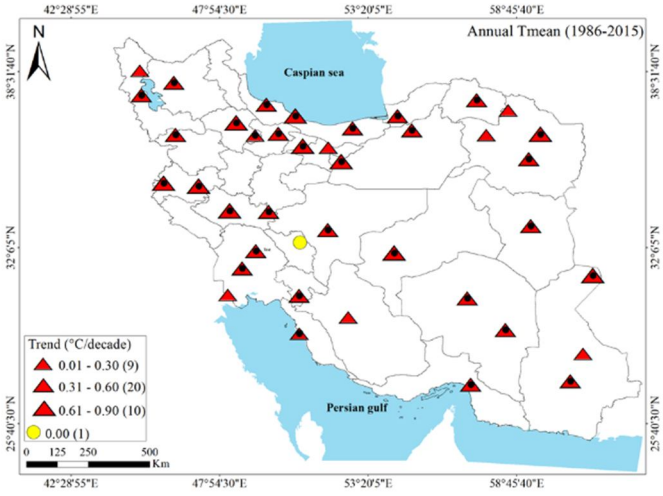
شکل ۳-۱۲- حالت سوم تغییر اقلیم: افزایش میانگین همراه با افزایش دامنه توزیع نرمال

افزایش اکستریم‌ها ناشی از تغییر اقلیم نسبت به خود افزایش دما برای کشاورزی خطرناک‌تر است چراکه ممکن است گیاهان یا دام‌ها را از بین ببرد. در اثر تغییر اقلیم دماهای بالا و یا پایین در زمان‌ها یا مراحل نموی گیاهان روی می‌دهند که قبلاً تجربه نشده‌اند و این ممکن است گیاه را از بین ببرد. در پی افزایش اکستریم‌ها ممکن است بارندگی برای مدت طولانی‌تر که قبلاً تجربه نشده است اصلاً اتفاق نیفتد و یا این‌که بارندگی‌های شدیدی روی دهد که به سیلاب منجر شود که همه این

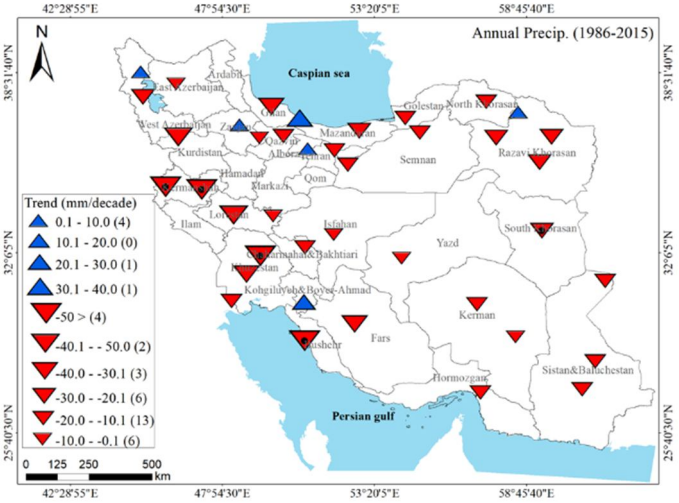
موارد برای کشاورزی خطرناک است. در گذشته اکثر نگرانی دانشمندان متوجه افزایش دما بود ولی امروزه متوجه شده‌اند که در تغییر اقلیم باید بیشتر نگران افزایش اکستریم‌های آب‌وهوایی بود.

۳-٤-تغییر اقلیم کشور در سال‌های گذشته

در کشور ما در طول سال‌های گذشته اقلیم تغییر کرده است. ترابی و همکاران (۱۳۹۸) روند تغییرات متوسط دمای سالانه و متوسط بارندگی در ایستگاه‌های هواشناسی کشور را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بررسی تغییرات متوسط دمای سالیانه کشور نشان داد که در تمامی ایستگاه‌ها به جز شهرکرد (با دایره رنگ زرد در شکل ۳-۱۳ مشخص شده است) افزایش دما وجود داشته است (شکل ۳-۱۳). این افزایش دما بین ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد در هر دهه بوده است که از لحاظ آماری معنی‌دار است. همچنین در اکثر ایستگاه‌های کشور از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۴ کاهش بارندگی مشاهده شد. همان‌طور که در شکل ۳-۱۴ مشخص است در اکثر ایستگاه‌های کشور که با مثلث رو به پایین مشخص شده است بارندگی با کاهش همراه بوده است. مشاهدات نشان داد که بارندگی در اکثر ایستگاه‌ها ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش یافته ولی فقط در تعدادی از ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار است. البته در چند ایستگاه که با مثلث روبه بالا نشان داده شده است، افزایش بارندگی وجود داشته است.



شکل ۳-۱۳- تغییرات متوسط دمای سالانه در تعدادی از ایستگاه‌های هواشناسی کشور (از ۱۳٦٥ تا ۱۳۹٤)



شکل ۳-۱۴- تغییرات بارندگی سالانه در تعدادی از ایستگاه‌های هواشناسی کشور (از ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۴)

۳-۵-پیش‌بینی اقلیم یا آب‌وهوای آینده

وقتی به آینده نگاه می‌کنیم، از کجا بدانیم که تغییر اقلیم به چه صورت اتفاق می‌افتد؟ دما چقدر زیاد می‌شود؟ بارندگی چه تغییری پیدا می‌کند؟ این اتفاقاتی که مربوط به آینده است را می‌توان پیش‌بینی کرد و سپس اثر آن‌ها بر کشاورزی را مورد بررسی قرار داد که موضوع فصل چهارم کتاب می‌باشد.

۳-۶-خلاصه

اثر گلخانه‌ای خودبه‌خود مضر نیست بلکه باعث حیات روی کره زمین شده است، اما تشدید اثر گلخانه‌ای از طریق افزایش دما و تغییرات الگوهای بارش باعث تغییر اقلیم و افزایش اکستریم‌های آب و هوایی می‌شود و در نتیجه حیات روی کره زمین را در معرض خطر قرار می‌دهد. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای (CO_2، CH_4، N_2O و ...) ناشی از فعالیت‌های بشر موجب تشدید اثر گلخانه‌ای شده است. دلایل اصلی افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای عبارتند از:

- مصرف سوخت‌های فسیلی

- تغییر کاربری اراضی جنگلی و مرتعی (تأثیر بر جذب هم دارد)
- گسترش دامداری‌ها
- گسترش تولید و استفاده از کودهای نیتروژنه
- ضایعات صنعتی و لندفیل‌ها

تغییر اقلیم ناشی از گازهای گلخانه‌ای مؤلفه‌هایی دارد که عبارتند از:

- افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای (از جمله CO_2 که برای کشاورزی بد نیست)
- افزایش دما
- تغییر بارندگی (افزایش، کاهش و یا عدم‌تغییر)
- افزایش اکستریم‌ها (خطر اصلی که کشاورزی را تهدید می‌کند)

تکلیف درسی

۱- درخت مشکل برای «تغییر اقلیم: سرشت و دلایل» تهیه کنید.

۲- با جستجو در منابع در حد یک صفحه مطلب مربوط به درس امروز تهیه کنید.

فصل چهارم
تغییر اقلیم: اثرات و پیامدها

در فصل قبل درباره تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مشکلاتی که کشاورزی هم در آن نقش دارد توضیح داده شد و چگونگی ایجاد آن بیان گردید. در این فصل درباره اثرات و پیامدهای تغییر اقلیم توضیح داده می‌شود. همان‌طور که در فصل سوم گفته شد برای تغییر اقلیم از واژگان دیگری مثل گرم شدن کره‌ی زمین[1]، تغییر محیط جهانی[2] و تغییر آب‌وهوا[3] استفاده می‌شود و امروزه چالش شماره یک بشریت به حساب می‌آید؛ چراکه تأثیر گسترده‌ای بر سایر فعالیت‌ها و مشکلات زیست‌محیطی (مثل تنوع زیستی) دارد.

تغییر اقلیم دارای مؤلفه‌هایی است که افزایش گازهای گلخانه‌ای یکی از آن‌ها می‌باشد (یعنی تغییر اقلیم با افزایش گازهای گلخانه‌ای آغاز می‌شود). دی‌اکسید کربن که یکی از گازهای گلخانه‌ای است، در اثر تغییر اقلیم افزایش پیدا می‌کند و برای گیاهان مفید می‌باشد و می‌تواند اثر مثبتی برای کشاورزی به دنبال داشته باشد. به دنبال افزایش گازهای گلخانه‌ای، افزایش دما نیز اتفاق می‌افتد که چون یکنواخت نیست، الگوهای فشار و در نتیجه بارندگی نیز تغییر پیدا می‌کنند (منظور از تغییر بارندگی افزایش، کاهش و یا عدم‌تغییر در آن است).

---

[1] Global warming
[2] Global environmental change
[3] Climate change

نکته مهم‌تر که در گذشته غفلت شده و یا کمتر به آن توجه شده بود این است که به دنبال تغییر اقلیم افزایش رویدادهای اکستریم نیز اتفاق می‌افتد که از افزایش دما برای کشاورزی خطرناک‌تر می‌باشد. به‌طور خلاصه تغییر اقلیم شامل مؤلفه‌های زیر است:

(۱) افزایش گازهای گلخانه‌ای (CO_2)

(۲) افزایش دما

(۳) تغییر بارندگی (افزایش، کاهش و یا عدم‌تغییر)

(۴) افزایش رویدادهای اکستریم (شکل ۳-۱۲).

اکنون این سؤال مطرح می‌شود که تغییر اقلیم چه اثراتی خواهد داشت؟ به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم و یا اقلیم آینده، بایستی ابتدا آن را پیش‌بینی کرد. مثلاً باید پیش‌بینی کرد که در سال مورد نظر، فرضاً ۲۰۵۰، چه اقلیم و آب و هوایی وجود خواهد داشت و سپس اثرات آن اقلیم را مورد بررسی قرار داد.

٤-١-مدل عمومی گردش[1] یا مدل عمومی اقلیم

برای پیش‌بینی آب‌وهوای آینده از مدل‌هایی با نام مدل‌های عمومی گردش یا مدل‌های عمومی اقلیم[2] استفاده می‌کنند. این مدل‌ها، نرم‌افزارها و یا برنامه‌های کامپیوتری هستند که تمام خشکی‌ها، آب‌ها، پستی‌وبلندی‌های کره‌ی زمین را در نظر می‌گیرند و کل آب‌وهوای کره زمین را شبیه‌سازی می‌کنند. در این مدل‌ها می‌توان غلظت گازهای گلخانه‌ای را بالا برده و سپس تغییرات حاصله در دما در نقاط مختلف کره زمین را مورد بررسی قرار داد. این مدل‌ها جریانات مهم که در اقیانوس‌ها، خشکی‌ها و اتمسفر وجود دارد را در نظر می‌گیرند (یعنی تمامی عناصری که بر اقلیم کره زمین در اقیانوس‌ها، خشکی‌ها و اتمسفر تأثیرگذار هستند را در نظر می‌گیرند) و برای کل سطح کره‌ی زمین پیش‌بینی‌هایی از دما در آینده ارائه می‌دهند. در این مدل‌ها این امکان وجود دارد که میزان و غلظت گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن را تغییر داده و سپس تغییرات

[1] General Circulation Model (GCM)
[2] General Climate Models

اقلیمی ناشی از آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. به این ترتیب می‌توانند به سؤالاتی مانند "چه می‌شد اگر" جواب دهند.

این مدل‌ها را می‌توان به بی‌نهایت حالت مختلف اجرا نمود؛ یعنی می‌توان غلظت هریک از گازهای گلخانه‌ای و حتی موارد دیگر مؤثر در اقلیم را تغییر داده و سپس تغییرات اقلیمی ناشی از آن‌ها را مطالعه کرد. در مطالعات تغییر اقلیم برای این‌که بی‌نهایت حالت متفاوت وجود نیاید و پیچیدگی ایجاد نگردد، از سناریوی انتشار[1] استفاده می‌گردد؛ یعنی در مطالعات تغییر اقلیم در ابتدا این‌که غلظت گازهای گلخانه‌ای در آینده به چه صورتی افزایش پیدا می‌کند را مشخص می‌کنند و سپس بر اساس سناریوی انتشار، مدل‌های عمومی گردش را اجرا می‌کنند. در اینجا به توضیح این مدل‌ها پرداخته نمی‌شود اما در جدول ۴-۱ به‌صورت خلاصه برخی از این مدل‌ها فهرست شده‌اند. دو مورد از این مدها برای کل کشور توسط سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) مورد استفاده قرار گرفته است شامل مدل IPSL که به موسسه تحقیقاتی پیر-سیمون لاپلاس در فرانسه مربوط است و دیگری مدل HADGEM که به مرکز پیش‌بینی و تحقیق اقلیمی هدلی انگلستان ارتباط دارد. این دو مدل در مطالعات در ایران خوب عمل کرده و نتایج با دقت خوبی را ارائه می‌دهند.

٤-۲-سناریوهای تغییر اقلیم

در شکل ۴-۱ محور y غلظت گازهای گلخانه‌ای بر حسب معادل CO_2 است (یعنی سایر گازهای گلخانه‌ای به CO_2 تبدیل شده است) و محور x آن زمان می‌باشد که از ۲۰۰۰ آغاز شده و تا ۲۱۰۰ ادامه یافته است. اکنون که در سال ۲۰۲۱ هستیم ممکن است پرسیده شود که در آینده (مثلاً ۲۰۵۰ یا ۲۰۱۰۰) چه غلظتی از گازهای گلخانه‌ای (منظور معادل CO_2) وجود خواهد داشت؟ در صورتی که این غلظت را بدانیم می‌توانیم با قرار دادن آن در مدل‌های عمومی گردش، اقلیم آینده را شبیه‌سازی کنیم. تغییرات آینده گازهای گلخانه‌ای توسط IPCC[2] (مهمترین مرکز مرتبط

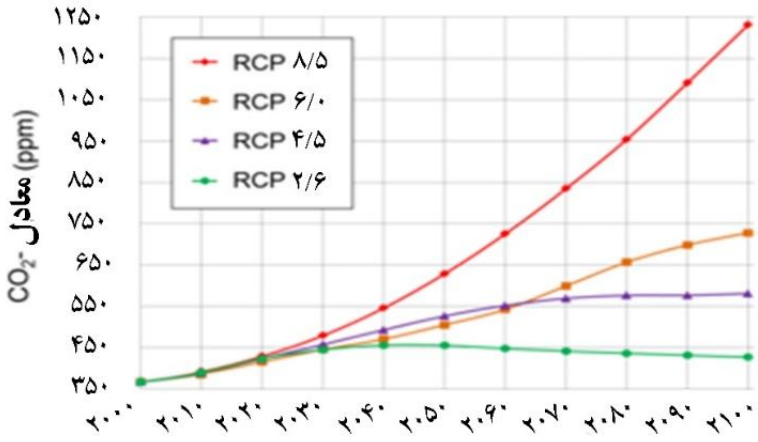
[1] Emission Scenario
[2] Intergovernmental Panel for Climate Change

با مطالعات تغییر اقلیم در دنیا) در قالب چهار سناریو پیش‌بینی شده است که به سناریوهای خط سیر RCP[1] معروف هستند (شکل ۴-۱).

جدول ٤-١- برخی از مدل‌های مهم عمومی گردش و مشخصات آن (برگرفته از ترابی و همکاران، ۱۳۹۸)

نام خلاصه	نام کامل	مرکز تولیدکننده مدل	رزولوشن Lat×long
HADCM3	Hadley Centre Coupled Model, version 3	مرکز پیش‌بینی و تحقیق اقلیمی هدلی انگلستان (HCCPR)	~۲/۵°× ۳/۷۵°
NCARCCSM	National Center for Atmospheric Research Community Climate System Model	مرکز بین المللی تحقیقات جوی آمریکا، ارائه‌شده در دومین گزارش هیأت IPCC	~۱/۴°× ۱/۴°
NCARPCM	National Center for Atmospheric Research Community Parallel Climate Model	مرکز ملی تحقیقات جوی آمریکا، ارائه‌شده در چهارمین گزارش هیأت IPCC	~۱/۴°× ۱/۴°
GFDLCM	Geophysical Fluid Dynamics LaboratoryCoupled Model	مدل تلفیقی آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیکی	~۲/۲۵ × ۳/۷۵°
IPSLCM4	Institute Pierre-Simon Laplace Climate Model	مؤسسه تحقیقاتی پیر- سیمون، فرانسه	~۲/۵°× ۳/۷۵°
HADGEM1	Hadley Centre Global Environmental Model, version 1	مرکز پیش‌بینی و تحقیق اقلیمی هدلی انگلستان (HCCPR)	~۱/۳°× ۱/۹°
ECHO-G	European Centre HAMburg/Hamburg Ocean Primitive Equation Model-Global version	مؤسسه تحقیقات آب و هوایی دانشگاه بن، مؤسسه تحقیقات آب و هوایی MPI هامبورگ	~۳/۷۵°× ۳/۷۵°

[1] Representative Concentration Pathway (RCP)



شکل ٤-١- سناریوهای انتشار برای مطالعه تغییر اقلیم

هر یک از این چهار سناریو دارای ویژگی‌ها و خصوصیاتی هستند که در شکل ۴-۲ خلاصه شده است و عبارتند از:

(الف) قسمت الف شکل ۴-۲: ویژگی‌های خط سیر RCP8.5 را نمایش می‌دهد که همان ادامه وضع فعلی است. در این خط سیر فرض بر این است که:

۱- فعالیت‌های بشر برای جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای کم می‌باشد.

۲- تولید انرژی مبتنی بر استفاده از سوخت‌های فسیلی صورت می‌پذیرد.

۳- از فناوری‌های جدید برای به دام انداختن گازهای گلخانه‌ای استفاده نمی‌گردد.

۴- حمل‌ونقل مبتنی بر استفاده از خودروهای سواری و کامیون با سوخت فسیلی است.

در این صورت این سناریو پیش‌بینی می‌کند که:

۱- دمای کره‌ی زمین در ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ به میزان ۳/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

۲- سطح آب‌های آزاد به میزان ۶۳ سانتی‌متر بالا می‌آید.

۳- رویدادهای اکستریم به شدت افزایش خواهند یافت.

✓ در نتیجه در این سناریو برای این‌که بتوان پیامدهای ناشی از تغییرات اقلیم مانند آتش‌سوزی‌ها، سیل‌ها و سایر خسارت‌ها را جبران کرد، هزینه‌های زیادی نیاز خواهد بود.

(ب) قسمت ب شکل ۴-۲: ویژگی‌های خط سیر RCP6.0 را نمایش می‌دهد. در این خط سیر فرض بر این است که:

۱- فعالیت‌های بشر برای جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای در حد متوسط صورت می‌گیرد.

۲- تولید انرژی به‌صورت ترکیبی (فسیلی، باد، خورشیدی و سایر انرژی‌های تجدیدپذیر) صورت می‌پذیرد.

۳- از فناوری‌های جدید برای به دام انداختن گازهای گلخانه‌ای استفاده نمی‌گردد.

۴- حمل‌ونقل مبتنی بر ترکیب انرژی‌ها (سوخت فسیلی بیشتر و الکتریسیته کمتر) می‌باشد.

در این صورت این سناریو پیش‌بینی می‌کند که:

۱- دمای کره‌ی زمین در ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ به میزان ۲/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

۲- سطح آب‌های آزاد به میزان ۴۸ سانتی‌متر افزایش پیدا خواهد یافت.

۳- رویدادهای اکستریم در حد متوسط افزایش خواهند یافت.

✓ در این سناریو هزینه‌های سازگاری با اثرات تغییر اقلیم در حد متوسط خواهد بود.

(ج) قسمت ج شکل ۴-۲: ویژگی‌های خط سیر RCP4.5 را نمایش می‌دهد. در این خط سیر فرض بر این است که:

۱- فعالیت‌های بشر برای جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای در حد متوسط می‌باشد.

۲- تولید انرژی عمدتاً بر اساس استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی صورت می‌پذیرد.

۳- از فناوری‌های نو برای به دام انداختن گازهای گلخانه‌ای استفاده نمی‌گردد.

۴- حمل‌ونقل مبتنی بر استفاده از ترکیبی از انرژی‌ها (با سوخت فسیلی کمتر و الکتریسیته بیشتر) می‌باشد.

در این صورت این سناریو پیش‌بینی می‌کند که:

۱- دمای کره زمین در ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ به میزان ۱/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

۲- سطح آب‌های آزاد به میزان ۴۷ سانتی‌متر افزایش پیدا خواهد یافت.

۳- رویدادهای اکستریم در حد متوسط افزایش خواهند یافت.

✓ برای سازگاری با اثرات تغییر اقلیم هزینه‌هایی در حد متوسط تا کم مورد نیاز خواهد بود.

(د) قسمت د شکل ۴-۲: ویژگی‌های خط سیر RCP2.6 را نمایش می‌دهد که بهترین خط سیر انتشار گازهای گلخانه‌ای برای کره زمین ناشی از فعالیت‌های بشر است. در این خط سیر فرض بر این است که:

۱- فعالیت‌های بشر برای جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای زیاد می‌باشد.

۲- تولید انرژی مبتنی بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی صورت می‌پذیرد.

۳- از فناوری‌های جدید به‌منظور به دام انداختن گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در اتمسفر استفاده می‌گردد.

۴- حمل‌ونقل متکی بر استفاده از وسایل نقلیه عمومی، خودروهای برقی (برق تولیدشده از انرژی‌های تجدیدپذیر) و دوچرخه می‌باشد.

در این سناریو پیش‌بینی می‌شود که:

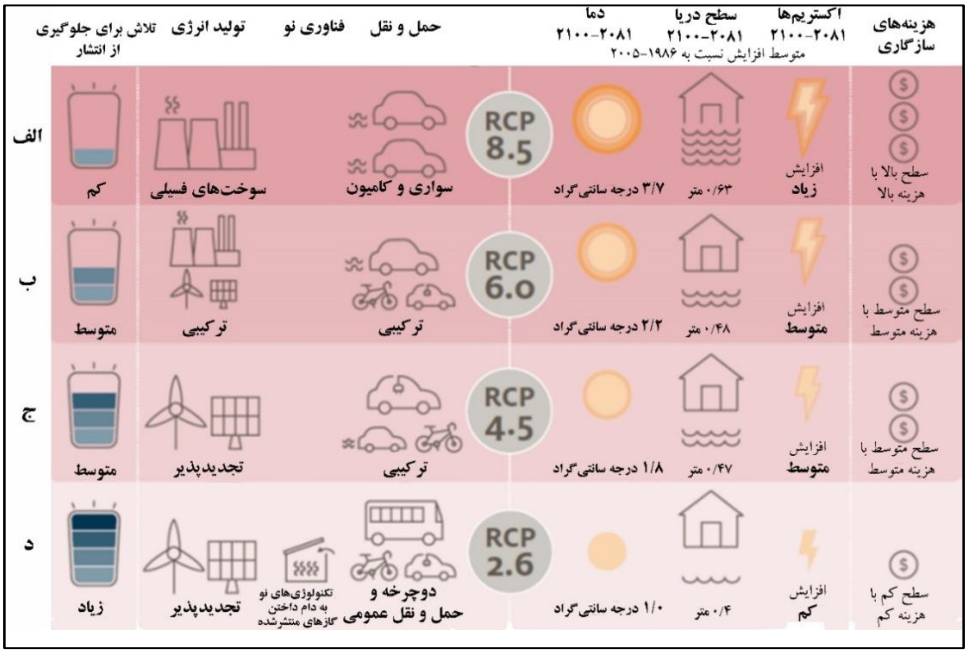
۱- دمای کره‌ی زمین در ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ به میزان یک درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

۲- سطح آب‌های آزاد به میزان ۴۰ سانتی‌متر بالا می‌آید.

۳- رویدادهای اکستریم در حد کم افزایش خواهند یافت.

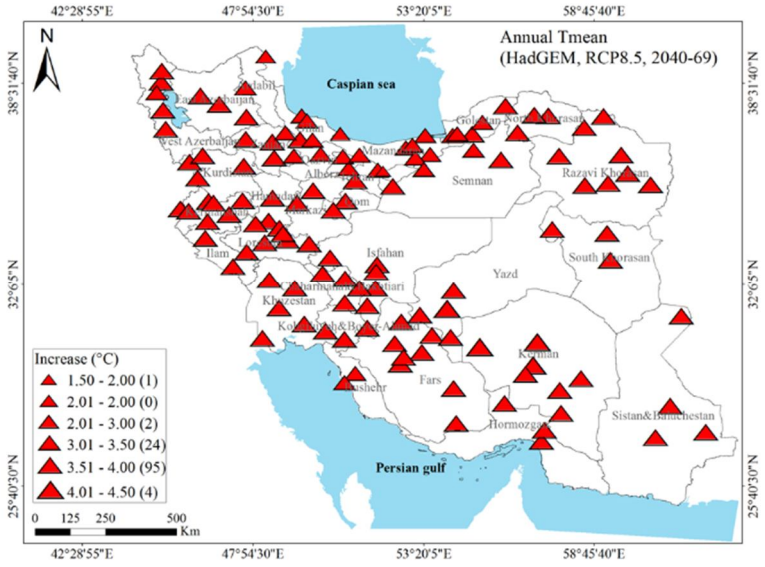
✓ در نتیجه برای این‌که پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم جبران گردد، هزینه‌های کمی مورد نیاز خواهد بود.

به‌طور خلاصه در پاسخ به این پرسش که اقلیم آینده چگونه تغییر می‌کند؟ جواب این سؤال به این بستگی دارد که بشر چگونه رفتار کند که حالت‌های ممکن در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.

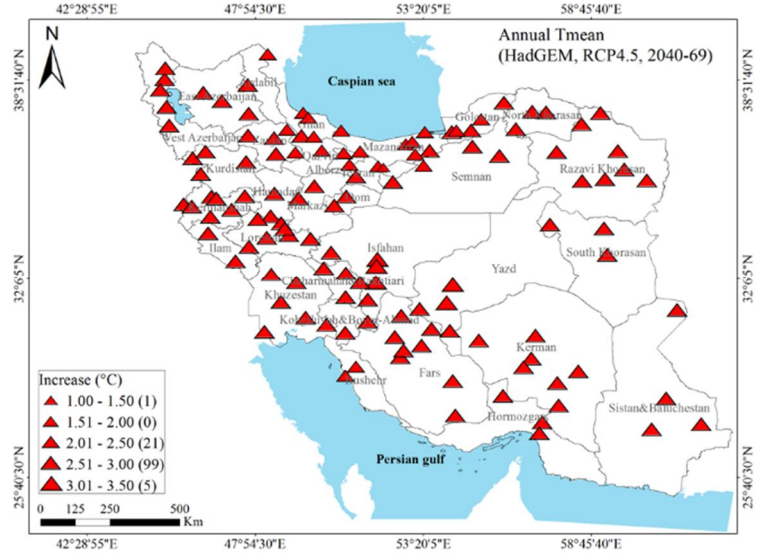


شکل ٤-۲- سناریوهای انتشار RCP و مشخصات آن‌ها

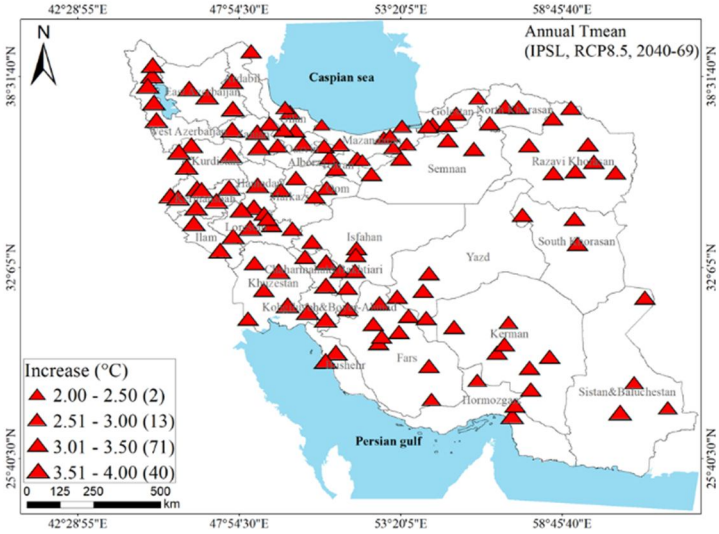
ترابی و همکاران (۱۳۹۸) افزایش دما و تغییر بارندگی سالانه کشور در دوره زمانی ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ را بررسی کردند. از آنجا که در مطالعات تغییر اقلیم باید از چند مدل و سناریو استفاده کرد تا حالت‌های مختلف پوشش داده شوند، مطالعه ایشان با دو مدل HadGEM و IPSL و بر اساس دو سناریو انتشار RCP8.5 و RCP4.5 صورت گرفت (شکل‌های ۴-۳ تا ۴-۱۰). نتایج نشان داد که تا ۲۰۵۰ در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی کشور افزایش دما اتفاق می‌افتد و اکثر نقاط افزایش دمایی بین ۲/۵ تا ۴ درجه سانتی‌گراد را تجربه خواهند کرد (شکل‌های ۴-۳ تا ۴-۶).



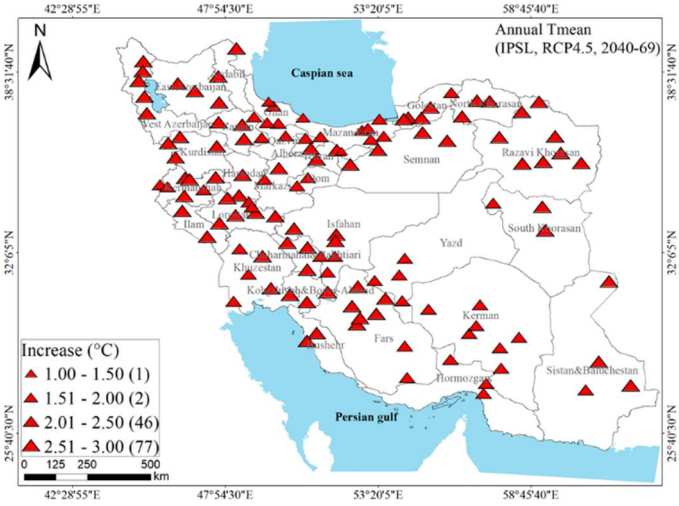
شکل ٤-۳- پیش‌بینی دمای کشور با مدل گردش عمومی HadGEM بر اساس سناریو انتشار RCP8.5



شکل ٤-٤- پیش‌بینی دمای کشور با مدل گردش عمومی HadGEM بر اساس سناریو انتشار RCP4.5

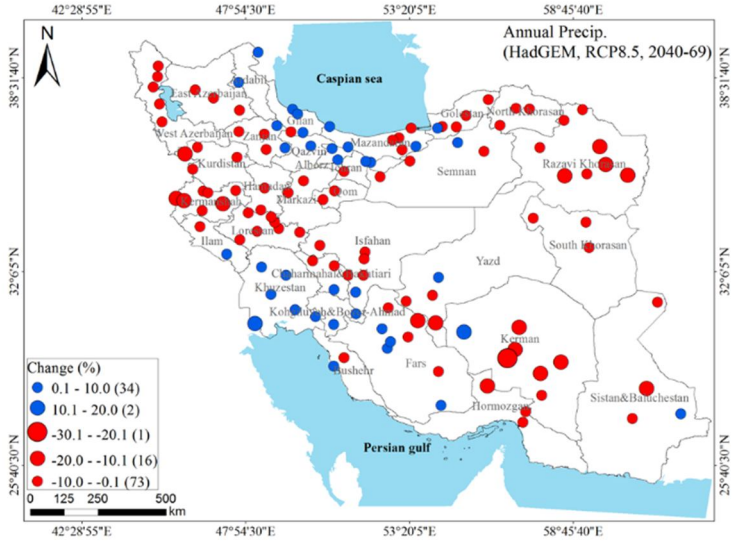


شکل ٤-٥- پیش‌بینی دمای کشور با مدل گردش عمومی IPSL بر اساس سناریو انتشار RCP8.5

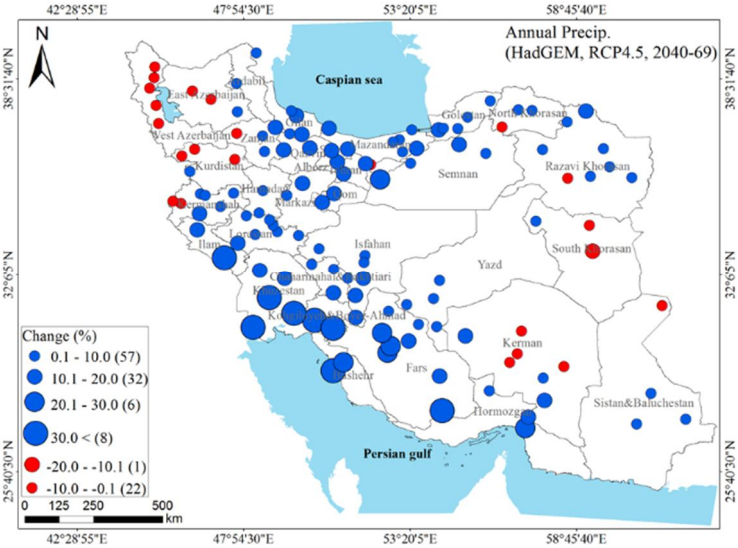


شکل ٤-٦- پیش‌بینی دمای کشور با مدل گردش عمومی IPSL بر اساس سناریو انتشار RCP4.5

پیش‌بینی بارندگی نسبت به افزایش دما متفاوت بود. بارندگی کشور در بازه زمانی ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ با مدل HadGEM و بر اساس سناریوی RCP8.5 (شکل ۴-۷) در بیشتر نقاط کشور کاهشی و بر اساس سناریوی RCP4.5 (شکل ۴-۸) در بیشتر نقاط افزایشی پیش‌بینی شد.

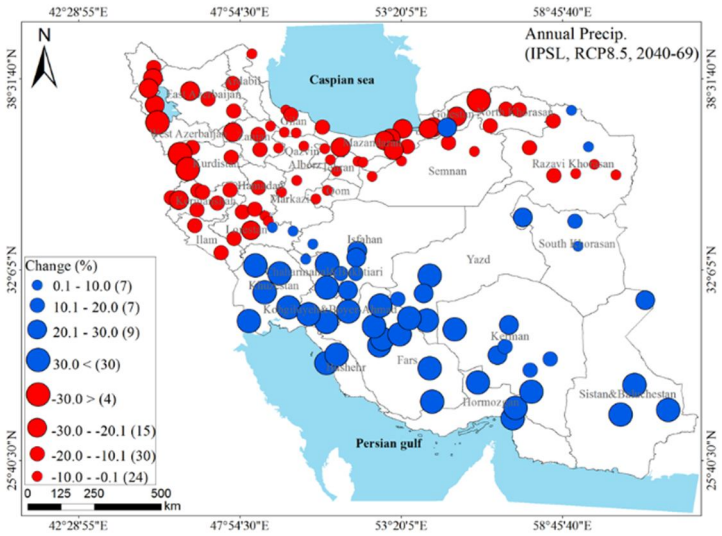


شکل ٤-٧- پیش‌بینی تغییر بارندگی کشور با مدل گردش عمومی HadGEM بر اساس سناریو انتشار RCP8.5

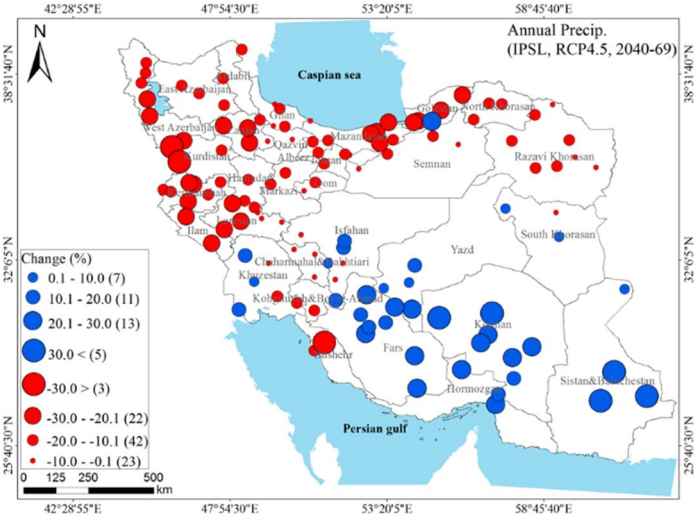


شکل ٤-٨- پیش‌بینی تغییر بارندگی کشور با مدل گردش عمومی HadGEM بر اساس سناریو انتشار RCP4.5

برای توصیف پیش‌بینی تغییر بارندگی کشور با مدل IPSL بر اساس سناریوهای RCP8.5 (شکل ۴-۹) و RCP4.5 (شکل ۴-۱۰) می‌توان کشور را به دو نیمه تقسیم کرد. در نیمه شمالی کشور کاهش و نیمه جنوبی آن افزایش بارندگی پیش‌بینی شد. در مجموع سناریوها، در کل کشور حدود هشت درصد افزایش بارندگی پیش‌بینی می‌شود، ولی تغییرات یکنواخت نیست، یعنی ممکن است در یک ایستگاه تا ۴۵ درصد افزایش و در ایستگاهی دیگر عکس این روی دهد و بارندگی کاهش چشمگیری پیدا کند که در نتیجه آن میزان هشت درصد افزایش بارندگی کشوری در بین تغییرات و افزایش غیریکنواختی ناچیز خواهد بود.



شکل ٤-۹- پیش‌بینی تغییر بارندگی کشور با مدل گردش عمومی IPSL براساس سناریو انتشار RCP8.5

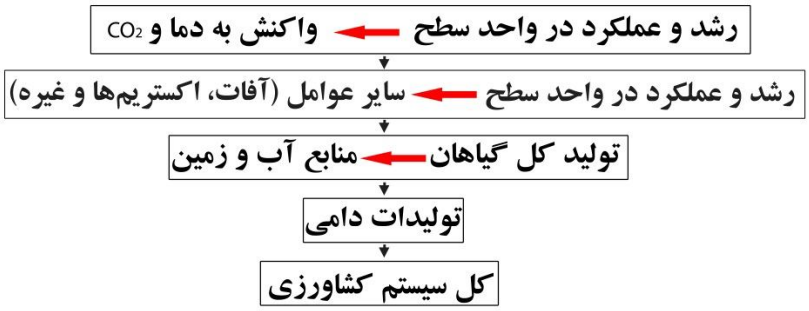


شکل ٤-١٠- پیش‌بینی تغییر بارندگی کشور با مدل گردش عمومی IPSL بر اساس سناریو انتشار RCP4.5

٤-٣-پیامدهای تغییر اقلیم در کشاورزی

علی‌رغم تمام پیشرفت‌های تکنولوژیک صورت گرفته (مثل ارقام جدید، مکانیزاسیون و نظیر این‌ها)، هنوز اقلیم عامل کلیدی در تولیدات کشاورزی است. به منظور تعیین اثر تغییر اقلیم بر کشاورزی در ابتدا تغییرات در رشد و عملکرد گیاهان در واحد سطح را نسبت به تغییرات دما و دی‌اکسید کربن مورد بررسی قرار می‌دهیم. سپس واکنش رشد و عملکرد گیاهان در واحد سطح به تغییر اقلیم از طریق سایر عوامل تأثیرگذار مانند آفات و بیماری‌ها، اکستریم‌ها و نظایر این‌ها بررسی خواهد شد. در مرحله‌ی بعد، اثر تغییر اقلیم بر روی تولید کل مورد بررسی قرار می‌گیرد، در این مرحله موجودی منابع آب و زمین و تأثیر تغییر اقلیم از طریق آن‌ها بررسی می‌شود (شکل ۴-۱۱). به عنوان مثال، در آینده چه میزان آب وجود خواهد داشت و با این آب چه سطحی را می‌توان کشت نمود. بدین ترتیب، در دو مرحله اول، این‌که در واحد سطح در اثر تغییر اقلیم چه تغییری ایجاد می‌گردد را بررسی می‌کنیم ولی در مرحله سوم تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب و زمین و در نتیجه تولیدات کشاورزی بررسی می‌شود. بر اساس تغییرات در تولیدات گیاهی، تغییرات در

میزان تولیدات دامی ارزیابی می‌شود و در نهایت تغییرات کل سیستم کشاورزی در اثر تغییر اقلیم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

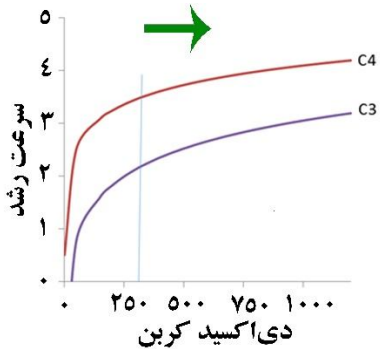


شکل ٤-١١- پیامدهای تغییر اقلیم در کشاورزی

٤-٣-١-اثر دی‌اکسید کربن بر رشد و عملکرد گیاهان

در شکل ۴-۱۲ محور عمودی سرعت رشد گیاه (میران ماده خشک تولیدی در هر روز) و محور افقی شکل غلظت دی‌اکسید کربن می‌باشد. در این شکل منحنی واکنش سرعت رشد نسبت به دی‌اکسید کربن برای گیاهان C_3 (رنگ بنفش) و C_4 (رنگ قرمز) نشان داده شده است. با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن سرعت رشد گیاه نیز افزایش می‌یابد ولی افزایش در سرعت رشد گیاه در ابتدا بیشتر است و سپس به کندی افزایش صورت می‌گیرد. به‌طورکلی، افزایش دی‌اکسید کربن در غلظت‌های پیش‌بینی‌شده در اتمسفر به تنهایی تأثیر منفی بر روی رشد گیاه ندارد: رشد گیاه افزایش می‌یابد یا تغییر پیدا نمی‌کند ولی کاهش نخواهد یافت.

غلظت کنونی دی‌اکسید کربن که در حدود ۳۹۰ پی‌پی‌ام می‌باشد با خط عمودی نشان داده شده است. در آینده با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (مثلاً تا حدود ۷۵۰ پی‌پی‌ام)، سرعت رشد گیاهان C_3 و C_4 نیز افزایش می‌یابد، اما افزایش نسبی سرعت رشد در اثر افزایش یکسان غلظت دی‌اکسید کربن در گیاهان C_3 بیشتر از گیاهان C_4 است یعنی فتوسنتز و رشد در گیاهان C_3 و C_4 افزایش پیدا می‌کند؛ اما درصد افزایش سرعت رشد در گیاهان C_3 بیشتر از C_4 است.



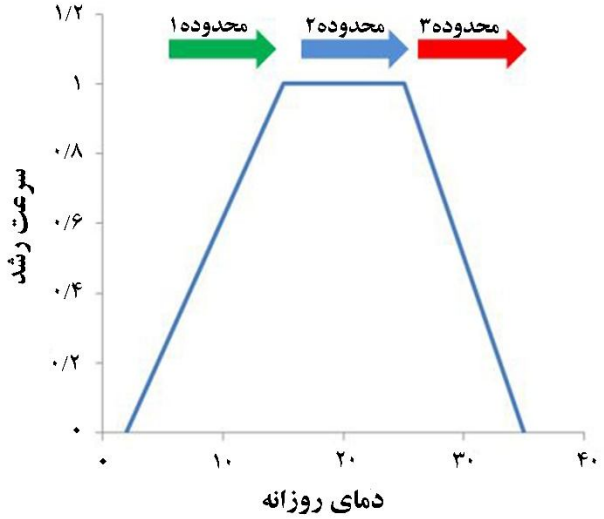
شکل ٤-۱۲- نمودار واکنش سرعت رشد در گیاهان C_3 و C_4 به تغییرات دی‌اکسید کربن اتمسفر

٤-۳-۲-اثر دما بر رشد و عملکرد گیاهان

شکل ۴-۱۳ منحنی ساده شده واکنش سرعت رشد گیاهان به دما را نشان داده است. در این شکل محور عمودی سرعت رشد گیاهان و محور افقی دما است. همان‌طور که مشخص است در یک دمایی سرعت رشد صفر است، با افزایش دما سرعت رشد افزایش می‌یابد و در یک محدوده‌ی دمایی به حداکثر خود می‌رسد و با افزایش بیشتر دما، سرعت رشد کاهش پیدا می‌کند و دوباره به صفر می‌رسد. در این منحنی سه محدوده نشان داده شده است: (۱) محدوده‌ی اول که با افزایش دما، سرعت رشد افزایش می‌یابد را محدوده‌ی زیر مطلوب می‌نامند، (۲) محدوده‌ی دوم که با افزایش دما، سرعت رشد گیاه در حداکثر هست و باقی خواهد ماند، محدوده‌ی مطلوب می‌گویند (یعنی دماهایی که در آن سرعت رشد گیاه در حداکثر میزان خود قرار دارد) و (۳) محدوده‌ی سوم که با افزایش دما، سرعت رشد گیاه کاهش پیدا می‌کند که آن را محدوده‌ی فوق مطلوب می‌نامند.

این‌که در آینده با افزایش دما چه اتفاقی برای رشد گیاه روی خواهد داد به وضعیت حال حاضر رژیم دمایی و این که در کدام یک از سه محدوده ذکر شده قرار دارد، بستگی پیدا می‌کند، یعنی باید مشخص گردد که در حال حاضر در کدام محدوده قرار داریم. به‌طور مثال، اگر در محدوده اول قرار داشته باشیم با افزایش دما، رشد گیاه نیز افزایش می‌یابد. اگر در محدوده‌ی

مطلوب قرار داشته باشیم و با افزایش دما از این محدوده خارج نشویم (افزایش دما در داخل این محدوده رخ دهد) سرعت رشد گیاه تغییر نمی‌یابد. اما اگر در محدوده مطلوب باشیم و با افزایش دما در آینده از محدوده مطلوب به فوق مطلوب منتقل شویم، سرعت رشد گیاه کاهش خواهد یافت. افزایش دما در محدوده فوق مطلوب کاهش سرعت رشد را به دنبال خواهد داشت. اکثر گیاهان به مناطقی سازگاری یافته‌اند که دماهایی که در طول فصل رشد خود تجربه می‌کنند، در محدوده‌ی زیر مطلوب و مطلوب قرار دارد. بنابراین، افزایش دما ناشی از تغییر اقلیم ممکن است به افزایش، عدم‌تغییر یا کاهش سرعت رشد منجر شود که به رژیم دمایی فعلی محل بستگی دارد.

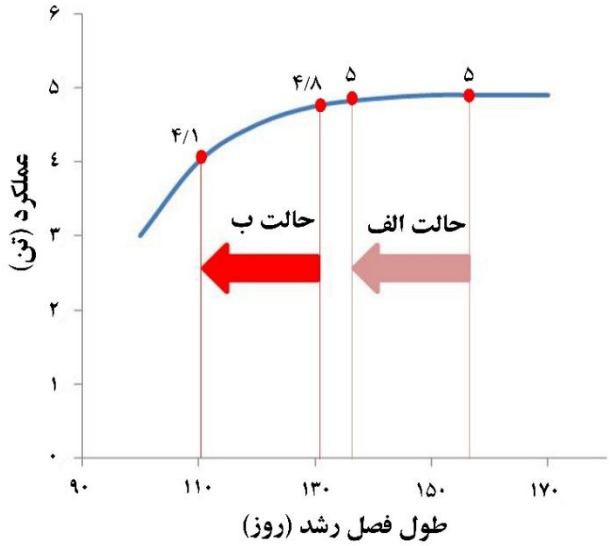


شکل ٤-۱۳- نمودار واکنش سرعت رشد در گیاهان C_3 و C_4 نسبت به تغییرات دی‌اکسید کربن

٤-۳-۳-پیامد کوتاه شدن فصل رشد در اثر افزایش دما ناشی از تغییر اقلیم

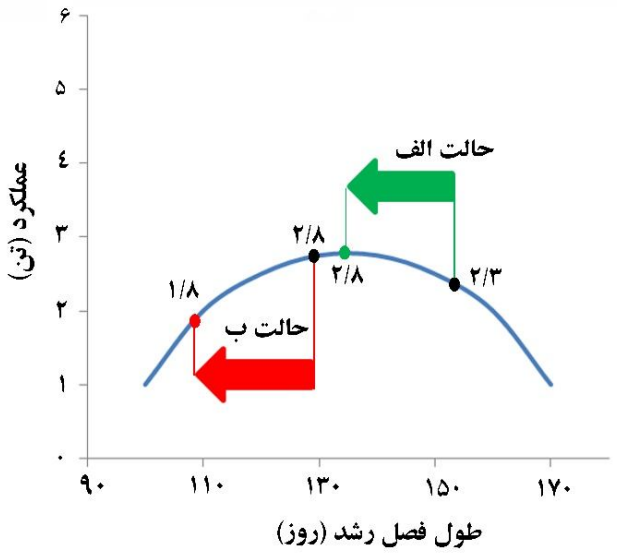
افزایش دما ناشی از تغییر اقلیم سرعت نمو گیاهان را افزایش می‌دهد و بنابراین طول دوره‌ی رشد گیاه کوتاه‌تر می‌شود یعنی گیاه زودتر گل داده و زودتر به مرحله برداشت می‌رسد. این که این کوتاه شدن دوره رشد چه تأثیری بر عملکرد دارد به شرایط تولید یعنی دیم یا آبی بودن نوع کشت بستگی دارد. در ابتدا پیامدهای کوتاه‌شدن فصل رشد در شرایط کشت آبی توضیح داده

می‌شود. شکل ۴-۱۴ واکنش عملکرد گیاهان در کشت آبی به طول دوره رشد را نشان می‌دهد: در کشت آبی با افزایش طول دوره رشد، عملکرد گیاهان افزایش می‌یابد تا جایی‌که میزان افزایش اندک و یا ثابت می‌گردد. در کشت آبی با افزایش طول دوره رشد، عملکرد کاهش نمی‌یابد مگر این‌که در انتهای فصل رشد گیاه به دمای کم و یا زیاد برخورد کند و فصل رشد نیمه تمام بماند. دلیل چیست؟ دلیل این است که با افزایش طول دوره رشد مدت زمان دریافت تشعشع و تولید افزایش می‌یابد و در نتیجه عملکرد افزایش پیدا می‌کند (این افزایش در انتهای منحنی جزئی یا ناچیز است). اکنون این سؤال مطرح می‌شود که تغییر اقلیم از طریق کاهش دوره رشد چه تأثیری بر عملکرد گیاهان در کشت آبی دارد؟ برای پاسخ به این پرسش به دو حالت الف و ب در شکل ۴-۱۴ دقت کنید. اگر تغییر اقلیم طول دوره رشد را در محدوده الف کاهش دهد تأثیری بر عملکرد نخواهد داشت. این محدوده‌ای است که افزایش طول دوره رشد نیز تأثیر افزایشی بر عملکرد نداشته است. اما اگر تغییر اقلیم در محدوده ب موجب کاهش طول فصل رشد شود، عملکرد را کاهش خواهد داد.



شکل ٤-١٤- واکنش عملکرد گیاهان در کشت آبی به طول دوره رشد

اما در شرایط کشت دیم تأثیر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و عملکرد متفاوت از شرایط کشت آبی است. شکل ۴-۱۵ واکنش عملکرد گیاهان در کشت دیم به طول دوره رشد را نشان می‌دهد. در شرایط دیم با افزایش طول دوره رشد عملکرد ابتدا افزایش می‌یابد، در یک محدوده طول دوره رشد به حداکثر خود می‌رسد و با افزایش بیشتر در طول دوره رشد، عملکرد کاهش می‌یابد. در بخش اول این منحنی طول دوره رشد برای استفاده کامل از بارندگی کافی نیست و در نتیجه با افزایش دوره رشد عملکرد افزایش می‌یابد ولی در بخش دوم به دلیل طولانی بودن طول دوره رشد رویشی رطوبت خاک و بارندگی مصرف می‌شود و وقتی گیاه به مرحله پر شدن دانه‌ها می‌رسد آب کافی وجود ندارد و عملکرد کاهش پیدا می‌کند. تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد از طریق کاهش طول دوره رشد بستگی دارد به این که وضعیت فعلی رابطه طول دوره رشد و عملکرد چه باشد و کاهش طول دوره رشد در چه محدوده‌ای رخ دهد. اگر تغییر اقلیم باعث شود کاهش طول دوره رشد در محدوده الف شکل ۴-۱۵ رخ دهد، باعث افزایش عملکرد خواهد شد، ولی کاهش طول فصل رشد در محدوده ب کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت.



شکل ٤-۱۵- واکنش عملکرد گیاهان در کشت آبی به طول تغییر فصل رشد

٤-۳-٤-رشد و عملکرد در واحد سطح در شرایط کشت آبی

تأثیر نهایی افزایش دما و CO_2 و تغییر بارندگی ناشی از تغییر اقلیم بر عملکرد به نوع کشت آبی (شکل ۴-۱۶) یا دیم (شکل ۴-۱۷) بستگی دارد. در شرایط آبی افزایش دی‌اکسید کربن باعث افزایش فتوسنتز شده و در نتیجه بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر مثبت دارد.

شکل ٤-١٦- تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد در شرایط کشت آبی

تأثیر افزایش دما بستگی به رژیم فعلی محل دارد و دو حالت زیر اتفاق می‌افتد:

۱- اگر منطقه یا فصل رشد گرم باشد (دماهای فعلی مطلوب و یا فوق مطلوب باشند)، بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر منفی دارد.

۲- اگر منطقه یا فصل رشد خنک یا سرد باشد (دماهای فعلی زیر مطلوب باشند)، بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر مثبت دارد.

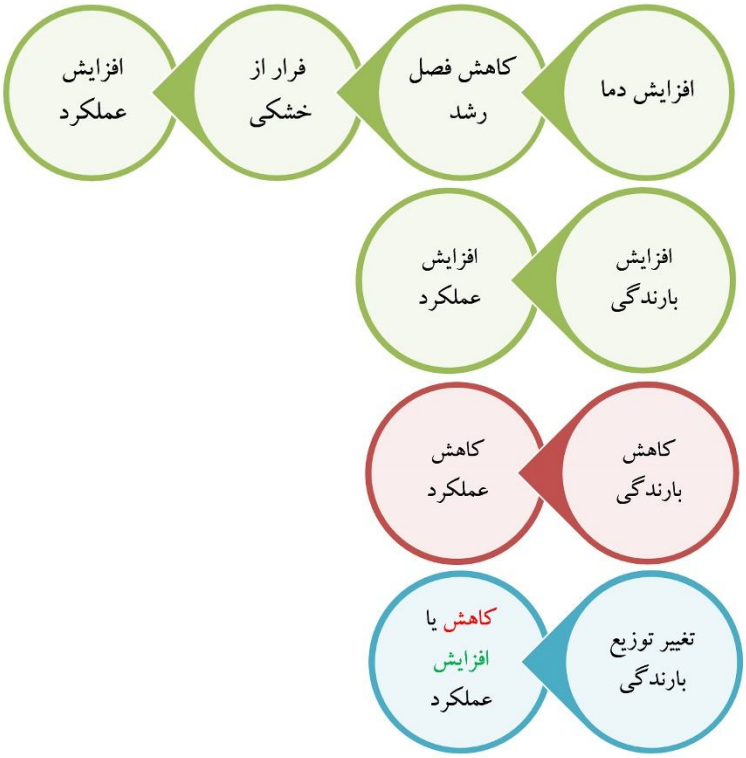
اما افزایش دما باعث کوتاه‌شدن فصل رشد می‌شود که در کشت آبی همیشه تأثیر منفی (منفی ناچیز یا کم یا زیاد – شکل ۴-۱۴) بر روی رشد و عملکرد گیاهان دارد. تغییرات بارندگی در کشت آبی با توجه به این که آبیاری صورت می‌گیرد تأثیری بر عملکرد نخواهد داشت ولی بر نیاز آبیاری گیاه تأثیر دارد که در قسمت ۴-۳-۱۰ بررسی می‌شود. بنابراین، تأثیر نهایی تغییر اقلیم بر عملکرد به برآیند این اثرات مثبت و منفی بستگی خواهد داشت و باید مورد به مورد با توجه به گیاه و محل تحلیل شود.

٤-۳-۵-رشد و عملکرد در واحد سطح در شرایط کشت دیم

شرایط دیم مشابه شرایطی است که در کشت آبی گفته شد و تنها چند مورد در کشت دیم اضافه می‌گردد که به صورت زیر است:

- کاهش طول دوره رشد ناشی از افزایش دما لزوماً دارای تأثیر منفی نیست. افزایش دما که باعث کاهش فصل رشد شده می‌تواند باعث فرار گیاه از خشکی شود و در نتیجه افزایش رشد و عملکرد را به دنبال داشته باشد.
- افزایش بارندگی در کشت دیم اثر مثبت دارد و در نتیجه افزایش عملکرد را به دنبال دارد. بالعکس، کاهش بارندگی تأثیر منفی بر عملکرد خواهد داشت.
- تغییر توزیع بارندگی در اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان در کشت دیم مؤثر است. اگر تغییر اقلیم توزیع بارندگی را مناسب‌تر کند باعث افزایش عملکرد خواهد شد و برعکس اگر توزیع بارندگی را نامناسب‌تر کند سبب کاهش عملکرد می‌شود. اما تغییر اقلیم عموماً تغییرات سالانه بارندگی و نوسان آن را افزایش می‌دهد که معمولاً دارای تأثیر منفی بر عملکرد است.

تأثیر نهایی تغییر اقلیم بر عملکرد به این بستگی دارد که گیاه و اقلیم فعلی چه ویژگی‌هایی داشته باشند. در برخی مناطق تأثیر مثبت و در برخی مناطق تأثیر منفی (بزرگ و یا کوچک) پیش‌بینی می‌گردد و نمی‌توان یک جمع‌بندی کلی ارائه داد.



شکل ٤-١٧- تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد در شرایط کشت دیم

٤-٣-٦-رشد و عملکرد گیاهان در شرایط کشور

سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان مختلف در سال ۲۰۵۰ نسبت به مقطع فعلی مشاهده کردند که در کشت آبی (جدول ۴-۲) عملکرد یک سری از گیاهان مانند برنج، دانه‌های روغنی گرمسیری مثل سویا، چغندرقند، میوه‌های گرمسیری مثل مرکبات، سبزی و صیفی مثل هندوانه، خربزه و خیار، ذرت دانه‌ای و سیلویی به میزان ۸ تا ۱۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. اکثر این گیاهان در مکان‌ها و فصول گرم کشت می‌گردند که پیش‌بینی می‌شود عملکردشان کاهش یابد. گیاهانی مثل گندم، جو و دانه‌های روغنی پاییزه مثل کلزا عملکردشان در حدود ۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. در برخی از گیاهان نیز مشاهده شد که تغییر اقلیم تأثیر

معنی‌داری بر روی عملکرد آن‌ها ندارد؛ یعنی عملکرد آن‌ها کاهش و افزایش معنی‌داری نمی‌یابد. پیش‌بینی عملکرد این گیاهان برای کل کشور صورت پذیرفته است به این صورت که اطلاعات آن‌ها در نقاط مختلف کشور بررسی و جمع‌بندی گردیده است.

جدول ٤-٢- تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان در کشت آبی کشور در سال ۲۰۵۰ نسبت به مقطع فعلی

میزان تغییر	گیاهان
کاهش ۸ تا ۱۰ درصد	برنج، دانه‌های روغنی گرمسیری مثل سویا، چغندرقند، میوه‌های گرمسیری مثل مرکبات، سبزی و صیفی مثل هندوانه، خربزه و خیار، ذرت دانه‌ای و سیلویی
کاهش حدود ۵ درصد	گندم، جو و دانه‌های روغنی سردسیر مثل کلزا
تأثیر غیر معنی‌دار	حبوبات، سیب‌زمینی، درختان میوه سردسیری، نیشکر و یونجه

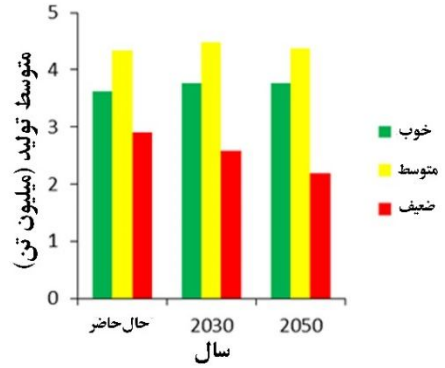
در کشت دیم (جدول ۴-۳) عملکرد گندم و دانه‌های روغنی سردسیری مثل کلزا ۲۰ تا ۳۰ درصد زیاد می‌شود. دلیل این افزایش عملکرد در این گیاهان نیز فرار از خشکی است (قبلاً توضیح داده شد). اما عملکرد حبوبات گرمسیری مثل لوبیا، دانه‌های روغنی گرمسیری مثل پنبه، سویا و ذرت سیلویی به میزان ۱۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. البته کشت این گیاهان گرمسیری در شرایط دیم بسیار کم است و به مناطق پرباران محدود می‌شود.

جدول ٤-٣- تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان در کشت دیم کشور در سال ۲۰۵۰ نسبت به مقطع فعلی

میزان تغییر	گیاهان
افزایش ۲۰ تا ۳۰ درصد	برنج، دانه‌های روغنی سردسیری (کلزا)
کاهش ۱۰ درصد	حبوبات گرمسیری، دانه‌های روغنی (پنبه و سویا) و ذرت سیلویی
تأثیر غیر معنی‌دار	جو و حبوبات سردسیری

سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) با پیش‌بینی تولیدات مرتعی را در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ مشاهده کردند که نسبت به مقطع فعلی تولیدات مرتعی کاهش می‌یابند (شکل ۴-۱۸). مراتع کشور به سه دسته مراتع خوب، متوسط و ضعیف دسته‌بندی می‌شوند. در مراتع خوب مقداری افزایش تولید و در مراتع ضعیف کاهش تولید مشاهده می‌گردد. این در حالی است که در مراتع متوسط تقریباً

تغییر زیادی مشاهده نمی‌گردد. اما به‌طورکلی در همه این مراتع نوسانات تولید افزایش پیدا می‌کند که بر تولیدات دامی اثر خواهد گذاشت.



شکل ٤-١٨- مقایسه تولیدات مراتع در حال حاضر، ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰

٤-٣-٧-تأثیر رویدادهای اکستریم ناشی از تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گیاهان

رویدادهای اکستریم همیشه تأثیر منفی بر رشد و عملکرد گیاهان دارند. برای مثال، دوره‌های خشکی طولانی‌تر و یا برعکس بارندگی‌های سنگین وجود خواهد داشت که باعث غرقابی شده و ممکن است خوابیدگی گیاه را در پی داشته باشد که عملکرد را کاهش می‌دهد. تابستان‌های داغ‌تر و زمستان‌های گرم‌تری ناشی از تغییر اقلیم باعث می‌گردد گل‌دهی گیاهان زودتر اتفاق بیافتد و در اثر دماهای حداقلی که فراوانی آن‌ها دچار تغییر نشده است (شکل ۳-۱۲)، گل‌ها و گرده‌افشانی آن‌ها آسیب ببینند و در مجموع گرده‌افشانی ضعیف‌تری انجام گرفته و عملکرد کاهش یابد. برای نمونه، به سرمازدگی درختان توت در زمستان ۱۳۹۹ و بهار ۱۴۰۰ در استان گلستان اشاره می‌شود: در بهمن و اسفند سال ۱۳۹۹ دماهای بالاتری وجود داشت و این باعث شد تا درختان توت گل دهند و سپس آن دماهای پایینی که در اواخر اسفند و اوایل فروردین همیشه اتفاق می‌افتاد، روی داد و گل و برگی که این درختان تولید کرده بودند را از بین برد.

علاوه بر این، افزایش وقوع سیلاب‌ها (به خاطر بارندگی‌های اکستریم) انتظار می‌رود که خسارت به مزارع، آلودگی آب‌ها و فرسایش خاک را نیز به دنبال دارد. افزایش تنش‌های خشکی

و خشک‌سالی‌ها برای بقای گیاهان به‌ویژه در شرایط کشت دیم خطرناک است؛ چون گیاهان خشک می‌شوند و مستعد آتش‌سوزی می‌گردند که متأسفانه در سال‌های اخیر مشاهده می‌شود که این رویدادها در مزارع، مراتع و جنگل‌ها رو به افزایش است. بادهای شدید، طوفان و گردبادهای سهمگینی که در آینده به خاطر اکستریم‌ها روی می‌دهد باعث شکستن درختان، خوابیدگی گیاهان و اختلال در گلدهی می‌شوند که در کاهش عملکرد گیاهان و درختان تأثیرگذار هستند (یعنی به خاطر اکستریم‌ها هم بادهای شدید افزایش می‌یابند و هم بادهای بسیار شدیدی که تابه‌حال تجربه نشده‌اند اتفاق می‌افتد که نه‌تنها بر کشاورزی اثر منفی می‌گذارد بلکه زندگی بشر را ممکن است تحت تأثیر قرار دهند).

٤-٣-٨-تأثیر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز ناشی از تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گیاهان

پیش‌بینی‌ها حاکی از این هست که آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز در اقلیم آینده افزایش می‌یابد. واکنش آفات به افزایش دما شبیه واکنش گیاهان به افزایش دما است: زمانی که دما افزایش می‌یابد، فعالیت آفات نیز افزایش می‌یابد. چرخه‌های حیاتی آفات در اثر افزایش دما کوتاه‌تر می‌شود و در نتیجه نسل‌های بیشتری را در هر سال ایجاد می‌کنند. مثلاً اگر قبلاً دو الی سه نسل در هر سال داشتند، در اثر افزایش دما ممکن است تعداد نسل‌ها به چهار الی پنج افزایش پیدا کند. از طرفی چون در اقلیم‌های آینده در اثر افزایش CO_2 فتوسنتز بیشتر می‌شود، نسبت کربن به نیتروژن در بافت‌های گیاهی زیاد می‌شود و یا برعکس نسبت نیتروژن به کربن در بافت‌های گیاهی کاهش پیدا می‌کند، در نتیجه حشرات مجبورند برای به دست آوردن نیتروژن مورد نیاز خود، بافت‌های گیاهی بیشتری را مصرف کنند. در مجموع پیش‌بینی شده است که در اثر افزایش CO_2، وقوع آفات مخصوصاً در عرض‌های جغرافیایی بالاتر افزایش پیدا می‌کند. به عنوان مثال گیاه سویا را در شرایط کنترل‌شده با افزایش غلظت CO_2 تیمار کردند و مشاهده نمودند که جذب حشره آفت به گیاه، میزان تخم‌ریزی آن و نیز دوره فعالیت آن افزایش می‌یابد. علاوه بر این سه ژن گیاه که دفاع شیمیایی گیاه در مقابل این حشره را فعال می‌کردند در اثر افزایش دما و CO_2 غیرفعال شده و در نتیجه گیاه در مقابل حشره آفت آسیب‌پذیرتر شد.

در اثر افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم، انتظار می‌رود که وقوع بیماری‌ها نیز افزایش یابد. دلیل این افزایش این است که تکثیر و میزبانان عوامل بیماری‌ها بیشتر شده و در نتیجه میزان خسارتشان نیز شدت می‌یابد. علف‌های هرز نیز به همین گونه افزایش می‌یابند چراکه از افزایش CO_2 و دما بهره برده و در زمان و مکان‌هایی که بشر انتظار ندارد، ظهور کرده و رشد کنند.

٤-٣-٩-تغییرات خاک ناشی از تغییر اقلیم و تأثیر آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاهان

تغییر اقلیم باعث تغییر در ویژگی‌های کمّی و کیفی خاک می‌شود که بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد. در اثر تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌شود که ماده آلی خاک‌ها کاهش پیدا کند چراکه افزایش دما سرعت تجزیه مواد آلی را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر، در اثر کاهش ماده آلی و افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم تنوع زیستی کاهش می‌یابد که باعث کاهش کیفیت خاک می‌شود و به دنبال آن فرسایش خاک افزایش یافته و در نتیجه قابلیت باردهی خاک کاهش پیدا می‌کند. بادهای شدیدتری که در اقلیم آینده روی می‌دهند قادرند که فرسایش خاک را شدت بخشیده و حاصلخیزی خاک را کاهش دهند. علاوه بر این گزارشات حاکی از آن است که در اثر تغییر اقلیم و افزایش دما غلظت عناصر میکرو که در تغذیه انسان از اهمیت ویژه و به سزایی برخوردار است نیز ممکن است با کاهش همراه باشد.

٤-٣-١٠-واکنش نیاز آبیاری گیاهان به تغییر اقلیم

مورد دیگری که در تغییر اقلیم، به‌ویژه در کشور ایران که در منطقه خشک واقع شده، از اهمیت زیادی برخوردار است، مسئله اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبیاری گیاهان می‌باشد، یعنی مقدار آبی که نیاز داریم تا مزارع را در کشت آبی آبیاری کنیم طوری که گیاهان دچار تنش خشکی نشوند. در اینجا نیز افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم، تبخیرتعرق را افزایش داده و می‌تواند نیاز آبیاری گیاهان را افزایش دهد. اما افزایش دما فصل رشد گیاه را کوتاه کرده و در نتیجه نیاز به آبیاری کاهش می‌یابد، مثلاً افزایش دما ممکن است فصل رشد گیاه را ۱۰ الی ۲۰ روز کاهش دهد. همین‌طور، افزایش CO_2 ناشی از تغییر اقلیم، هدایت روزنه‌ای را کم می‌کند که باعث کاهش تعرق

شده و در نتیجه نیاز آبیاری گیاه کاهش می‌یابد. این افزایش CO_2 فتوسنتز را افزایش داده که باعث افزایش تعرق می‌شود، چراکه هر دو فرایند فتوسنتز و تعرق از طریق روزنه‌ها انجام می‌گیرند. اکنون ممکن است این پرسش مطرح شود که اثر نهایی تغییر اقلیم بر نیاز آبیاری گیاهان به چه صورت است؟ نتیجه نهایی به ویژگی‌های گیاه و اقلیم فعلی بستگی دارد که با کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی برای هر گیاه و مکان قابل بررسی است.

در همین راستا سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) نیاز خالص آبیاری گیاهان در واحد سطح در ۲۰۶۰-۲۰۴۰ را نسبت به ۲۰۱۵-۲۰۰۰ بررسی کردند، با این فرض که در آینده نیز از ارقام فعلی استفاده می‌گردد (جدول ۴-۴). نتایج نشان داد در گندم، جو و دانه‌های روغنی سردسیری که در کشور به‌صورت پاییزه کشت می‌شوند، نیاز خالص آبی بین ۳۲ تا ۳۶ درصد کاسته می‌شود که یک پیامد مثبت تلقی می‌شود. باید توجه کرد که این میزان کاهش زمانی روی می‌دهد که از همین ارقام فعلی استفاده گردد اما اگر ارقام فعلی با ارقام دیررس‌تر جایگزین شوند، ممکن است این کاهش اتفاق روی ندهد. در سیب‌زمینی، دانه‌های روغنی گرمسیری (مثل سویا)، چغندرقند، نیشکر، درختان میوه گرمسیری مثل مرکبات، سبزی و صیفی ۷ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. در برنج و حبوبات گرمسیری مثل لوبیا ۵ تا ۱۰ درصد افزایش نیاز آبیاری پیش‌بینی می‌شود و برای برخی گیاهان دیگر تغییری در نیاز آبیاری ایجاد نمی‌گردد (جدول ۴-۴).

جدول ٤-٤- تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری در واحد سطح در ۲۰٦۰-۲۰٤۰ نسبت به ۲۰۱۵-۲۰۰۰

میزان تغییر	گیاهان
کاهش ۳۲ تا ۳۶ درصدی	گندم، جو و دانه‌های روغنی سردسیری (کلزا)
کاهش ۷ تا ۲۰ درصدی	سیب‌زمینی، دانه‌های روغنی گرمسیری، چغندرقند، نیشکر، درختان میوه گرمسیری و سبزی-صیفی
افزایش	برنج (۵ درصد) و حبوبات گرمسیری (۱۰ درصد)
تأثیر غیر معنی‌دار	حبوبات سردسیری، میوه‌های سردسیری، ذرت دانه‌ای و سیلویی و یونجه

به‌طورکلی مجموعه عوامل ناشی از تغییر اقلیم که بر روی تولیدات گیاهی تأثیر می‌گذارد در شکل ۴-۱۹ جمع‌بندی و نشان داده شده است. مجدداً یادآوری می‌شود که تأثیر نهایی تغییر اقلیم بر تولیدات گیاهی به ویژگی‌های گیاه و اقلیم فعلی بستگی دارد که به‌منظور برآورد و پیش‌بینی تغییرات تولیدات هر گیاه در اثر تغییر اقلیم باید از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی استفاده شود.

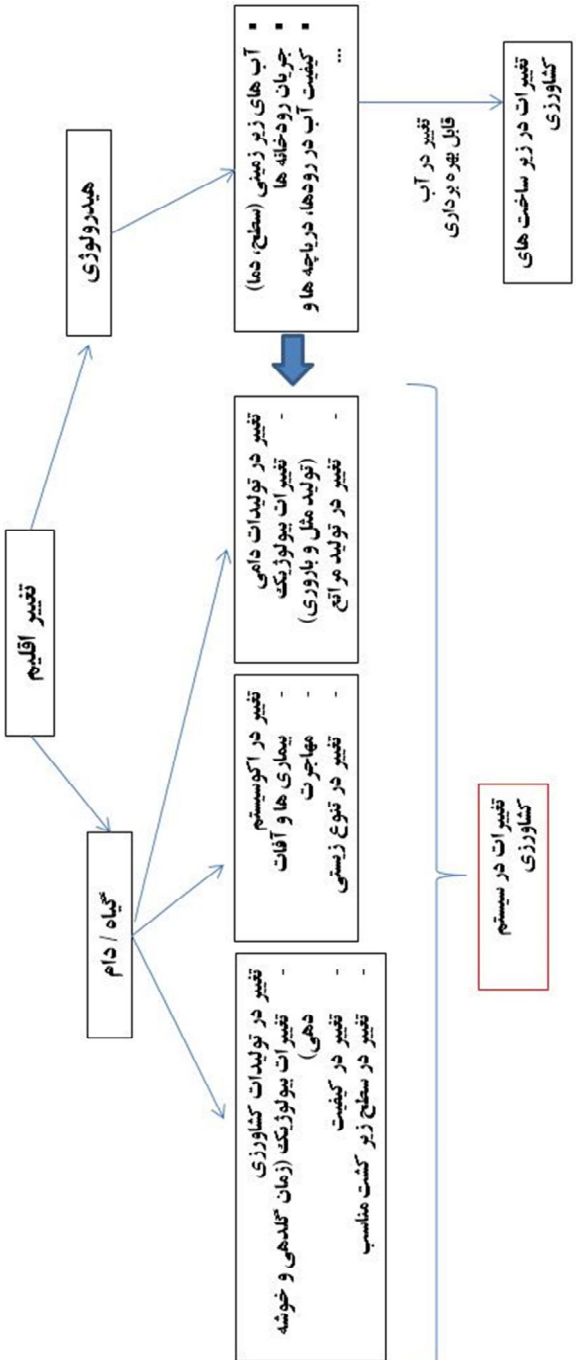
شکل ٤-۱۹- مجموعه عوامل ناشی از تغییر اقلیم مؤثر بر تولیدات گیاهی

اثرات تغییر اقلیم بر کل کشاورزی را می‌توان به دو دسته اثر بر تولیدات دامی و گیاهی و هیدرولوژی تقسیم‌بندی می‌گردد که در شکل ۴-۲۰ نشان داده شده است. در دسته نخست می‌توان به موارد زیادی اشاره کرد، به عنوان مثال تغییر اقلیم اثراتی بر کیفیت اراضی دارد و ممکن است سبب گردد که برخی اراضی قابلیت کشت خود را از دست داده و از چرخه تولید خارج شوند و در نتیجه اراضی دیگری جهت کشت انتخاب و یا اضافه گردد و یا مثلاً تغییر اقلیم چرخه‌ها و تعداد نسل‌های آفات و بیماری‌های گیاهی و یا اثر تلفیقی که گیاهان بر روی دام‌ها دارند را دگرگون می‌کند. اثر تغییر اقلیم بر روی دام‌ها تلفیقی است از تأثیری که بر روی خود دام‌ها (مثلاً تولید مثل و باروری دام‌ها) دارد و تأثیری که روی تولیدات علوفه در مراتع و مزارع دارد. دسته دوم اثرات تغییر اقلیم روی هیدرولوژی یا چرخه آب است. یعنی در اثر تغییر اقلیم میزان و دمای

آب‌های زیرزمینی و جریان رودخانه‌ها تغییر پیدا می‌کند و همچنین کمّیت و کیفیت آب رودها، دریاچه‌ها و نظیر این‌ها دگرگون می‌گردد. همان‌طور که گفته شد از نظر کمّیت و کیفیت آب دچار تغییر می‌شود چون آب موجود در محیط به نوعی به اقلیم وابسته است؛ بنابراین وقتی اقلیم عوض شود آن نیز تغییر پیدا می‌کند. علاوه بر این، تغییر اقلیم از طریق تغییر در هیدرولوژی بر روی حیوانات و گیاهان نیز اثرات دیگری خواهد داشت.

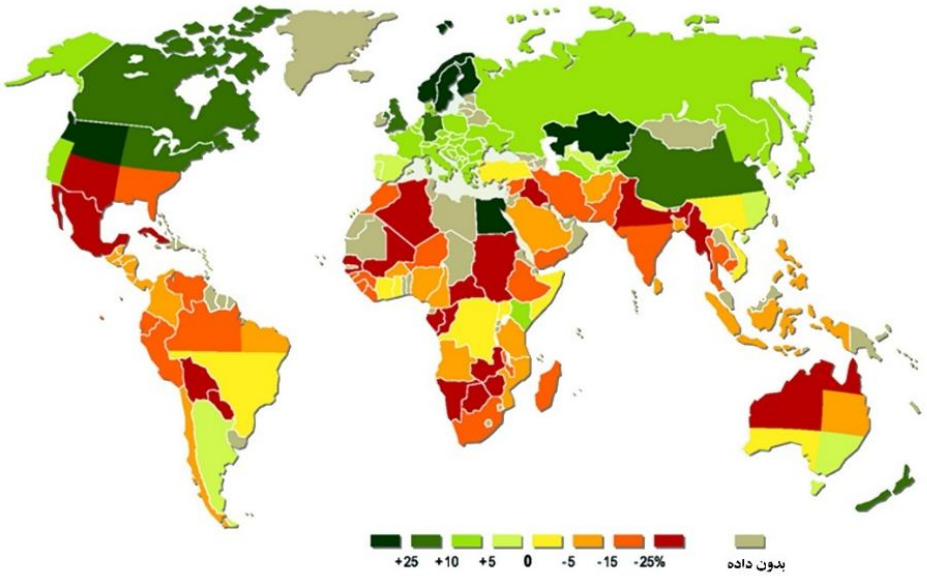
نتیجه نهایی این تغییرات ناشی از تغییر اقلیم این است که تغییرات مهمی در زیرساخت‌های کشاورزی رخ می‌دهد؛ یعنی ممکن است روش‌های آبیاری در تولیدات کشاورزی تغییر کند و یا مثلاً به منظور کشت گیاه دستگاه‌های جدیدی وارد گردد و دستگاه‌های قبلی دیگر کارایی مفیدی نداشته باشد و در نتیجه تغییرات زیرساختی صورت پذیرد. حتی ممکن است به عنوان مثال در برخی مکان‌ها که قبلاً تولید میوه زیاد بوده و در کنار آن سردخانه وجود داشته است، اکنون دیگر تولید میوه‌ای نداشته و یا با کاهش روبرو شده باشد و در نتیجه سردخانه نیز بلااستفاده بماند و یا برعکس در مکانی دیگر که تولید میوه کم بوده است اکنون زیاد تولید شده و نیاز به احداث سردخانه جدید باشد به این گونه موارد تغییر در زیرساخت‌ها گفته می‌شود که شامل تغییر در جاده، دستگاه‌ها و فنّاوری‌ها، سیستم‌های تولید و توزیع و نظیر این‌ها می‌شود. در کشاورزی تغییرات زیاد دیگری نیز مشاهده خواهد شد به عنوان مثال ارقام و حتی گیاهانی که استفاده می‌گردد ممکن است دچار دگرگونی شود.

به‌طورکلی اثراتی که تغییرات اقلیمی در کشاورزی ایجاد می‌کند به ویژگی‌های گیاه، دام، شرایط اقلیمی و اثری که روی منابع آب گذاشته می‌شود، بستگی دارد. برای اندازه‌گیری و پیش‌بینی دقیق این اثرات ناشی از تغییر اقلیم در هر مکان خاص لازم است که از مدل‌های شبیه‌سازی استفاده شود.



شکل ٤-٢٠- پیامدهای تغییر اقلیم در بخش کشاورزی

در شکل ۴-۲۱ اثر تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی در ۲۰۸۰ نسبت به ۲۰۰۳ برای کل دنیا پیش‌بینی شده است. در این شکل جاهای مختلف دنیا با رنگ‌های سبز، زرد یا سبز کمرنگ و قرمز نشان داده شده‌اند که به ترتیب به معنی اثرات مثبت، عدم تغییر و اثرات منفی می‌باشند. در نگاه کلی مشاهده می‌شود که در مناطق شمالی کره‌ی زمین مثل کانادا، شمال اروپا و روسیه رنگ سبز است و در نتیجه تغییر اقلیم اثرات مثبتی بر روی تولیدات کشاورزی در سال ۲۰۸۰ نسبت به ۲۰۰۳ در این مناطق دارد و بقیه نقاط کره‌ی زمین که بیشتر جمعیت دنیا هم در این نقاط هستند، رنگ قرمز فراوان‌تر است که به معنی اثرات منفی تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی این مناطق در سال ۲۰۸۰ است. بنابراین، به‌طورکلی به نظر می‌آید که اثرات منفی تغییر اقلیم بر روی تولیدات کشاورزی جهان بیش از اثرات مثبت آن باشد.



شکل ٤-۲۱- تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات کشاورزی جهان: پیش‌بینی عملکردها در سال ۲۰۸۰ در مقایسه با سال ۲۰۰۳

نکته مهمی که در اینجا بایستی به آن اشاره کرد این است که اکثر این مطالعات با مدل‌های شبیه‌ساز گیاهی انجام می‌گیرد و تأثیر وقایع اکستریم در اکثر این مدل‌ها به خوبی دیده نشده است و در نتیجه ممکن است تأثیرات منفی، شدیدتر از آن چیزی باشد که این مدل‌ها پیش‌بینی می‌کنند. حال موضوع پر اهمیت این است که اولاً در کشاورزی چگونه می‌توان گاز گلخانه‌ای کمتر تولید نمود و در نتیجه به تخفیف[1] اثرات گلخانه‌ای در آینده کمک کرد و دوماً از طریق چه راه‌های می‌توان با تغییر اقلیم سازگار شد تا تغییر اقلیم آسیب کمتری به تولیدات کشاورزی وارد کند که به آن سازگاری[2] می‌گویند.

٤-٤-خلاصه

به منظور پیش‌بینی اقلیم آینده از ابزارهایی به‌نام مدل‌های عمومی گردش استفاده می‌گردد. پیش‌بینی این مدل‌ها به سناریویی بستگی دارد که ممکن است روی دهد؛ یعنی افزایش گازهای گلخانه‌ای حاصل از فعالیت‌های بشر و فرآیندهای طبیعی در آینده چه روندی را داشته باشد که به آن سناریوی انتشار گفته می‌شود.

افزایش دی‌اکسید کربن ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رشد گیاهان اثر مثبت دارد. افزایش دمای ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌تواند اثر مثبت و یا منفی داشته باشد. کاهش بارندگی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور ما از اثرات همیشه منفی تغییر اقلیم است. افزایش اکستریم‌ها اثرات خطرناکی را به دنبال دارد و عمده اثرات آن‌ها بر کشاورزی منفی است.

به‌طورکلی تأثیر نهایی تغییرات اقلیمی بر روی تولیدات گیاهی و سیستم‌های کشاورزی به ویژگی‌های گیاه، دام، شرایط اقلیمی و اثری که روی منابع آب گذاشته می‌شود، بستگی دارد. به منظور اندازه‌گیری و پیش‌بینی دقیق اثرات نهایی تغییر اقلیم بر روی تولیدات گیاهی و سیستم‌های کشاورزی از مدل‌های شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

---

[1] Mitigation
[2] Adaptation

اثر نهایی تغییر اقلیم بر روی کشاورزی در مناطق سرد و خنک احتمالاً مثبت و در مناطق گرم، منفی خواهد بود. در مجموع اثرات منفی تغییر اقلیم بر روی تولیدات کشاورزی جهان بیشتر از اثرات مثبت آن است.

تکلیف درسی

۱-درخت مشکل برای «تغییر اقلیم: اثرات و پیامدها» تهیه کنید.

۲- با جستجو در منابع در حد یک صفحه مطلب مربوط به درس امروز تهیه کنید.

فصل پنجم
زوال و تخریب منابع زمین و خاک

در فصول گذشته در مورد کاهش تنوع زیستی و تغییر اقلیم به عنوان دو مورد از مشکلات زیست‌محیطی که کشاورزی هم در آن‌ها نقش دارد، توضیح داده شد. در این فصل به بررسی زوال و تخریب منابع خاک به‌عنوان یکی دیگر از مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی پرداخته می‌شود. به منظور توضیح این مورد نیز به مانند فصول گذشته در ابتدا مشکل (مسئله) زیست‌محیطی شرح داده خواهد شد، سپس دلایل ایجاد آن شرح داده می‌شود و در نهایت پیامدها و یا اثرات آن بیان خواهد شد. راه‌های کاهش زوال و تخریب منابع خاک و بهبود خاک در بخش دوم کتاب در فصل ۱۱ مورد بحث قرار می‌گیرد.

زمین[1] به بخش و یا قطعه‌ای از سطح کره زمین گفته می‌شود، اما خاک[2] لایه‌ی فوقانی سطح کره‌ی زمین است که معمولاً عمق یک متری از این لایه است و از آن برای کشت گیاهان و سایر فعالیت‌های کشاورزی استفاده می‌کنیم. بر طبق برآوردها در کشور ایران حدوداً ۱۸/۵ میلیون هکتار زمین قابل کشت وجود دارد؛ یعنی در این زمین‌ها می‌توان کشت دیم و آبی گیاهان را انجام داد. اما زمین زیرکشت آبی و دیم کشور به‌ترتیب ۸/۵ و ۷ میلیون هکتار است که مجموع این زمین‌ها ۱۵/۵ میلیون هکتار می‌باشد و مقداری که باقی می‌ماند احتمالاً یا آیش است و یا اینکه به صورت بدون کاشت (نکاشت) و رهاشده باقی مانده است.

---

[1] Land
[2] Soil

زوال[1] خاک به معنی مریض و ضعیف‌شدن زمین و خاک می‌باشد و تخریب[2] به معنی از بین رفتن و مردن آن‌ها است. زوال و تخریب زمین می‌تواند به سه صورت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی صورت پذیرد. نوع فیزیکی مانند فرسایش (در همین فصل توضیح داده خواهد شد) و نوع شیمیایی مثل شور شدن خاک و نوع بیولوژیکی مثل کاهش ماده‌ی آلی خاک است که در اثر آن حیات خاک تضعیف می‌گردد.

مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی که در ارتباط با منابع زمین و خاک وجود دارد و کشاورزی در آن‌ها به صورت کم و یا زیاد تأثیر دارد به شرح زیر است که در ادامه به اختصار درباره هر یک توضیح داده خواهد شد:

۱- تغییر کاربری زمین
۲- کاهش ماده آلی خاک
۳- تخلیه عناصر غذایی
۴- فرسایش خاک
۵- شور شدن خاک
۶- بیابانی شدن
۷- آلودگی خاک

۵-۱-تغییر کاربری زمین (جنگل‌زدایی)[3]

تغییر کاربری زمین در بسیاری از منابع تحت عنوان جنگل‌زدایی مورد بررسی قرار گرفته است. منظور از تغییر کاربری اراضی و جنگل‌زدایی این است که اراضی که دارای پوشش طبیعی مانند جنگل، مرتع، ساوانا و نظیر این‌ها هستند به اراضی کشاورزی تبدیل شوند. بنابراین، به منظور انجام فعالیت‌های کشاورزی این اراضی طبیعی را از بین می‌برند و به زمین‌های کشاورزی تبدیل می‌کنند که این فرآیند یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات زیست‌محیطی جهان است. البته در این ارتباط

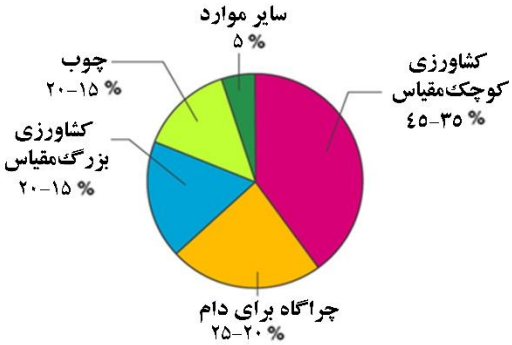
[1] Degradation / Deterioration
[2] Destruction
[3] Land use change (Deforestation)

یک مشکل دیگر در کشاورزی وجود دارد که نباید با این موضوع مخلوط گردد که آن تبدیل زمین‌های کشاورزی به زمین‌های غیرکشاورزی طی سال‌ها و دهه‌های اخیر است که از مسئله جنگل‌زدایی مجزاست و طی آن زمین‌هایی که توان تولید غذا و علوفه دارند به خانه، جاده، شهر، معدن و سایر کاربری‌های غیر کشاورزی تبدیل می‌گردند که برای محیط‌زیست مشکلاتی را ایجاد می‌کنند که در اینجا موضوع بحث نمی‌باشد. موضوع بحث و مسئله اصلی در اینجا این است که پوشش طبیعی، مثل جنگل و مرتع به اراضی کشاورزی تبدیل می‌گردد که برای محیط‌زیست مشکلات و مسائلی را ایجاد می‌کند که در این جا به توضیح آن می‌پردازیم.

لازم به ذکر است که وقتی در مورد جنگل‌زدایی صحبت می‌شود، بسیاری از افراد تصور می‌کنند که جنگل جایی است که پوشش گیاهی بسیار زیادی داشته، کاملاً سرسبز بوده و درختان بسیار بزرگی داشته باشد که این طور نیست. به هر جایی که حداقل نیم هکتار مساحت داشته و ده درصد از مساحت آن را درختان بلند تشکیل داده باشند، جنگل می‌گویند؛ بنابراین بسیاری از مکان‌ها را می‌توان جنگل نامید اگرچه پوشش گیاهی آن‌ها خیلی زیاد نباشد و تنها ده درصد آن‌ها را درختان بلند در برگرفته باشد.

در مورد جنگل‌ها مخصوصاً مشکلاتی که مورد اشاره است در جنگل‌های گرمسیری اتفاق می‌افتد. یعنی از دست رفتن جنگل‌های گرمسیری یا تغییر کاربری اراضی در این جنگل‌ها یک مشکل مهم در سطح جهان است. دلیل این اتفاق نیز خیلی روشن است: به عنوان مثال، جنگل آمازون در آمریکای جنوبی ۲۰ درصد اکسیژن جهان را تولید می‌کند و از طرفی در هر دقیقه نیم هکتار از این جنگل از بین می‌رود. بنابراین، این موضوع بسیار مهم و حیاتی است. بر اساس آمارهایی که سازمان ملل منتشر کرده است ۸۰ درصد جنگل‌زدایی‌ها، یا به‌طورکلی از بین رفتن پوشش‌های گیاهی، ریشه در فعالیت‌های کشاورزی دارد. در شکل ۵-۱ دلایل جنگل‌زدایی را مشاهده می‌کنید: کشاورزی در مقیاس کوچک ۳۵ تا ۴۵ درصد، ایجاد چراگاه برای دام‌ها ۲۰ تا ۲۵ درصد، کشاورزی در مقیاس بزرگ مانند کشت و صنعت‌ها ۱۵ تا ۲۰ درصد نقش دارند که اگر مجموع این موارد محاسبه شود حدود ۸۰ درصد جنگل‌زدایی‌ها را در بر می‌گیرند و همه این موارد با کشاورزی مرتبط هستند. علاوه بر این، ۱۰ تا ۱۵ درصد از جنگل‌ها برای چوب و ۵ درصد

نیز به دلایل دیگر از بین می‌روند. بنابراین، مشاهده می‌شود که کشاورزی چه در مقیاس کوچک و چه بزرگ در این امر نقش زیادی داشته است و در واقع عامل شماره یک جنگل‌زدایی می‌باشد.



شکل ۵-۱- دلایل مهم جنگل‌زدایی در سطح جهان

اکنون این پرسش ایجاد می‌شود که جنگل‌زدایی چه مشکلات و پیامدهایی را ایجاد می‌کنند؟ نخست این‌که (قبلاً در فصل سوم نیز اشاره شد) وقتی پوشش‌های طبیعی از بین برده می‌شوند، کربنی که در بافت‌های ریشه، ساقه و برگ گیاهان آن‌ها وجود دارد به صورت CO_2 آزاد و وارد اتمسفر می‌شود که باعث تغییر اقلیم می‌گردد. درست است که در صورت تبدیل به اراضی کشاورزی، به جای جنگل و مرتع، گیاهانی کشت می‌گردند ولی این گیاهان دائمی نیستند و بیوماس ماندگار زیادی در زیر و بالای خاک ندارند، درحالی‌که گیاهان جنگل‌ها و مراتع دائمی بوده و کربن برای همیشه در آن‌جا حبس شده است. گیاهان کشاورزی جایگزین مثل گیاهان زراعی یک ساله و چندساله، نسبت به پوشش قبلی، کربن کمتری را به دام می‌اندازند و مدت کوتاه‌تری آن را حبس و ذخیره می‌کنند. بنابراین، مقدار و زمان محبوس بودن کربن در بیوماس گیاهی کاهش پیدا می‌کند. علاوه بر این، آن خدمت اکوسیستمی که جنگل‌ها به صورت جذب دی‌اکسید کربن از اتمسفر انجام می‌دهند نیز کاهش پیدا می‌کند. جنگل‌ها مقدار زیادی دی‌اکسید کربن را جذب می‌کنند اما پوشش‌های گیاهی که بشر درست می‌کند این کار را ضعیف‌تر و کمتر انجام می‌دهند. ضمن این‌که گیاهانی که در کشاورزی کشت می‌شوند بعد از این‌که توسط انسان‌ها و یا سایر حیوانات مصرف و خورده می‌شوند، کربن این گیاهان به صورت تنفس از این موجودات

دوباره به اتمسفر برمی‌گردد. جنگل‌ها خدمات اکوسیستمی مهمی ارایه می‌دهند و از جمله منبع تولید اکسیژن، غذا، آب تمیز، دارو، کاغذ، چوب و نظیر این‌ها می‌باشند که متأسفانه به وسیله جنگل‌زدایی این منابع کوچک‌تر شده یا از بین می‌روند.

اهمیت دیگر جنگل‌ها این است که در چرخه‌ی آب نقش بزرگی را ایفا می‌کنند. جنگل‌ها باعث افزایش نفوذ آب حاصل از بارندگی در داخل خاک می‌شوند. جنگل‌ها تعرق زیادی دارند به این صورت که آب از طریق درختان بخار شده و به اتمسفر راه پیدا می‌کند. با از بین رفتن جنگل‌ها این تعرق کوچک‌تر و نفوذ آب به داخل خاک کمتر می‌گردد، رواناب افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه در چرخه آب اختلال به وجود می‌آید (در فصل آینده در ارتباط با چرخه آب به‌صورت مختصر توضیح داده خواهد شد). وقتی که نفوذ آب به داخل خاک کاهش می‌یابد، سیلاب‌ها افزایش پیدا می‌کنند و در نتیجه فرسایش خاک زیاد می‌شود که به دنبال آن کاهش تنوع زیستی اتفاق می‌افتد. در درون خود جنگل‌ها انواع و اقسام گونه‌های گیاهی وجود دارد که پناهگاه یا منبع غذایی تعداد زیادی حشرات و انواع جانداران دیگر هستند که با جنگل‌زدایی از بین می‌روند، در نتیجه جمعیت این جانداران کاهش یافته و یا کلاً از بین می‌روند و در نهایت این سلامت انسان‌ها است که به خطر می‌افتد.

۵-۲-کاهش ماده آلی

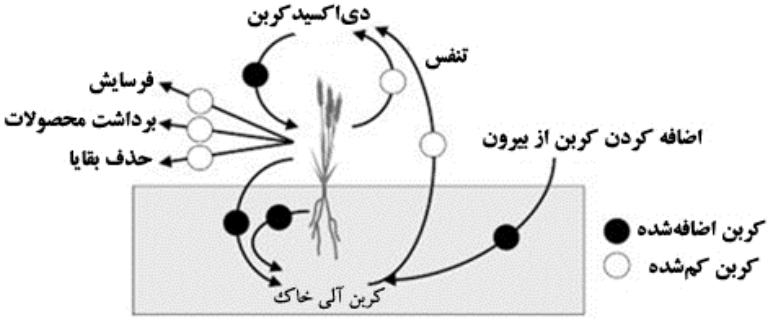
خاک را باید یک موجود زنده فرض کرد چراکه داخل آن انواع و اقسام موجودات مثل بندپایان، انواع میکروب‌ها، برخی جوندگان، دیگر جانداران مثل مار و غیره وجود دارند. بنابراین، خاک زنده است و این زنده بودن آن، یعنی موجوداتی که در خاک هستند، در وهله‌ی اول به ماده آلی خاک متکی است: از این جهت ماده آلی خاک فوق‌العاده اهمیت دارد. خاکی که زنده است ماده‌ی آلی مناسبی دارد ولی خاکی که ماده‌ی آلی ندارد می‌توانیم بگوییم که تقریباً زنده نمی‌باشد.

ماده آلی خاک از دو بخش تشکیل شده است: بخش اول ماده آلی تازه[1] است مثلاً گیاهی را

[1] Fresh organic matter

برداشت می‌کنند، خاک را شخم می‌زنند و در نتیجه بقایای گیاه وارد خاک می‌گردد و این را ماده آلی تازه می‌نامند. بخش دوم ماده آلی پایدار است و به این صورت است که ماده آلی تازه زمانی‌که در خاک تجزیه می‌شود در اثر این تجزیه ماده آلی دیگری به وجود می‌آید که پایداری و مقاومت آن در برابر تجزیه‌شدن بیشتر است و در نتیجه زمان بیشتری را در خاک باقی می‌ماند که به آن هوموس[1] گفته می‌شود. معمولاً ۱۰ تا ۱۵ درصد ماده آلی خاک به سادگی قابل تجزیه است و باقی مانده آن زمان بیشتری می‌برد تا تجزیه شود. توجه شود که واژه معادل ماده آلی، کربن آلی است که در برخی منابع با این نام بیان می‌شود.

شکل ۵-۲ راه‌هایی که ماده آلی به خاک اضافه و یا از آن کم می‌شود را نشان می‌دهد. راه‌های اضافه شدن ماده آلی به خاک عبارتند از: افزودن ماده آلی مثل کود دامی یا کمپوست به خاک، جذب کربن از اتمسفر و تثبیت به صورت بیوماس گیاهی در بالا و زیر زمین، اضافه شدن بقایای اندام‌های روی زمین و زیر زمین گیاه به خاک. راه‌های کم شدن ماده آلی خاک عبارتند از: تجزیه ماده آلی خاک و رها شدن کربن آن به اتمسفر، رها شدن کربن ماده آلی به اتمسفر در اثر تنفس موجودات خاک‌زی و گیاه، خروج ماده آلی خاک از مزرعه در اثر فرسایش[2] خاک، خروج ماده آلی از مزرعه در اثر برداشت محصول و خروج ماده آلی در اثر حذف بقایای محصول مثل خارج کردن از مزرعه یا آتش زدن بقایا.



شکل ۵-۲- راه‌های افزایش و کاهش ماده آلی خاک

[1] Humus
[2] Erosion

یکی از مشکلاتی که فعالیت‌های کشاورزی ایجاد نموده کاهش ماده آلی خاک‌ها است. حد مطلوب ماده‌ی آلی در خاک‌ها بین ۳ تا ۶ درصد می‌باشد، این در حالی است که ماده‌ی آلی در بیش از ۸۰ درصد خاک‌های ایران زیر یک درصد است و تنها ۲۰ درصد از خاک‌های کشور ماده‌ی آلی بالای یک درصد دارند که اکثر این خاک‌ها نیز در استان‌های شمالی قرار گرفته‌اند و در بقیه کشور ماده آلی خاک خیلی کم و نگران کننده است.

ماده آلی خاک منبعی از عناصر غذایی است و وقتی که تجزیه می‌شود عناصری مانند نیتروژن و فسفر آزاد می‌گردند و گیاهان قادرند از این عناصر استفاده کنند. ماده آلی می‌تواند دانه‌بندی خاک را بهبود ببخشد که ارتباط مستقیمی با ساختمان خاک دارد و هر چقدر ساختمان خاک بهتر باشد، زه‌کشی و تهویه خاک مناسب‌تر است و در نتیجه رشد گیاه و سایر جاندارانی که در خاک وجود دارند بهتر صورت می‌گیرد. ماده آلی خاک باعث ذخیره شدن رطوبت بیشتری در خاک می‌شود که برای گیاه قابل استفاده است. بنابراین، خاک دارای ماده آلی کمتر، قدرت کمتری در نگهداری آب دارد. ماده‌ی آلی به کاهش فرسایش خاک کمک می‌کند (در همین فصل در ارتباط با فرسایش بیشتر توضیح داده خواهد شد). ماده آلی به افزایش نگهداری عناصر غذایی در خاک کمک می‌کند. یکی از راه‌های نگهداری عناصر غذایی این است که این عناصر (یون‌های عناصر غذایی) به محل‌های منفی و مثبتی که در خاک وجود دارد، می‌چسبند و این ماده آلی خاک است که تعداد این محل‌ها (به ویژه محل‌هایی با بار منفی) را افزایش می‌دهد. مورد آخر این که ماده آلی باعث می‌شود که کار کردن با خاک یا کارپذیری خاک، مثل شخم و دیسک زدن خاک، بهبود پیدا کند. مواردی که بیان شد اهمیت ماده آلی خاک را نشان می‌دهند.

اکنون این سوال مطرح می‌شود که کشاورزی چگونه ماده‌ی آلی خاک را کاهش می‌دهد؟ در اینجا به دلایل کاهش ماده‌ی آلی خاک که مرتبط با کشاورزی است، اشاره می‌گردد:

۱- در کشاورزی گیاهان دائمی با گیاهان یک‌ساله جایگزین می‌شوند و یا گاهی برای این‌که درآمد و تولید بیشتری حاصل شود چندکشتی‌ها را با تک‌کشتی جایگزین می‌کنند و همچنین تناوب‌ها را ساده‌تر می‌نمایند که در همه این موارد میزان ماده آلی خاک کاهش می‌یابد؛ چراکه گیاهان دائمی نسبت به گیاهان یک‌ساله مدت بیشتری و در تمام سال در زمین هستند و

ماده آلی بیشتری دارند ولی بخش عمده گیاهان یک‌ساله به طریقه‌ای که توضیح داده شد از مزرعه خارج می‌گردد.

۲- در کشاورزی گیاهان ردیفی را بیشتر کشت می‌کنند که این‌ها در مقایسه با گیاهان غیر ردیفی و گیاهان علوفه‌ای ماده آلی کمتری تولید می‌کنند.

۳- در کشاورزی مقدار زیادی محصول را از مزرعه خارج می‌کنند که در کاهش ماده‌ی آلی خاک نقش دارد.

۴- در کشاورزی از آیش استفاده می‌شود؛ یعنی زمین را شخم و دیسک می‌زنند و آن را به صورت نکاشت باقی می‌گذارند که طبیعتاً در مقایسه با حالتی که گیاهی در خاک وجود داشته باشد، به کاهش ماده آلی خاک منجر می‌گردد.

۵- سوزاندن بقایا و گیاهان که در کشاورزی انجام می‌شود تا کشاورزان بتوانند به راحتی کشت و کار کنند و از دستگاه‌ها و ادوات کشاورزی استفاده نمایند و یا به دلایل دیگر که بعداً در همین فصل به آن اشاره می‌شود سبب کاهش ماده آلی خاک می‌گردد.

۶- چرای بیش از حد دام‌ها باعث کاهش ماده‌ی آلی خاک می‌شود. دام‌ها پوشش گیاهی را چرا می‌کنند و باعث تضعیف آن می‌شوند و در نتیجه قدرت تولید ماده آلی کاهش پیدا می‌کند و یا این‌که ماده آلی توسط دام‌ها خورده و خارج می‌شود.

۷- خارج کردن بقایا در کشاورزی انجام می‌گیرد که این غیر از خارج کردن محصول اصلی است. منظور از خارج کردن بقایا یعنی هم محصول اصلی و هم مقدار زیادی از بقایای گیاهی را از مزرعه خارج می‌کنند. مثلاً در زراعت گندم می‌توان بخش زیادی از بقایای محصول (کاه و کلش) از مزرعه خارج می‌شود که هر چقدر درصد خروج بقایای گیاه بیشتر باشد طبیعتاً ماده آلی بیشتری از خاک خارج شده است.

۸- خاک‌ورزی باعث کاهش ماده آلی خاک در کشاورزی می‌گردد. برهم زدن، شخم زدن و دیسک زدن خاک و بقایا سبب می‌شود که تجزیه ماده آلی سریع‌تر صورت پذیرد و در نتیجه ماده آلی زودتر کاهش پیدا کند.

۹- در کشاورزی زه‌کشی خاک انجام می‌گیرد تا تهویه آن بهبود پیدا کند. تهویه خاک،

فعالیت‌های میکروبی خاک را زیاد می‌کند و در نتیجه تجزیه ماده آلی تسریع می‌شود که باعث کاهش ماده‌ی آلی خاک می‌گردد.

۱۰- مصرف کود و سم یکی دیگر از مواردی است که باعث کاهش ماده آلی خاک می‌گردد و در بسیاری از منابع اشاره شده است که این دو، فعالیت میکروبی خاک را تشدید کرده و تجزیه مواد آلی خاک را تسریع می‌بخشند و در نتیجه ماده آلی خاک کاهش می‌یابد.

این موارد و دلایل کاهش ماده آلی خاک در اثر فعالیت‌های کشاورزی که در بالا گفته شد را می‌توان در سه گروه قرار داد؛ (۱) بعضی از این موارد که در کشاورزی انجام می‌گیرد، تولید ماده آلی را کاهش می‌دهند، (۲) برخی دیگر خارج کردن یا برداشت ماده آلی از خاک را افزایش می‌دهند و (۳) بعضی از این موارد باعث افزایش سرعت تجزیه مواد آلی می‌شوند.

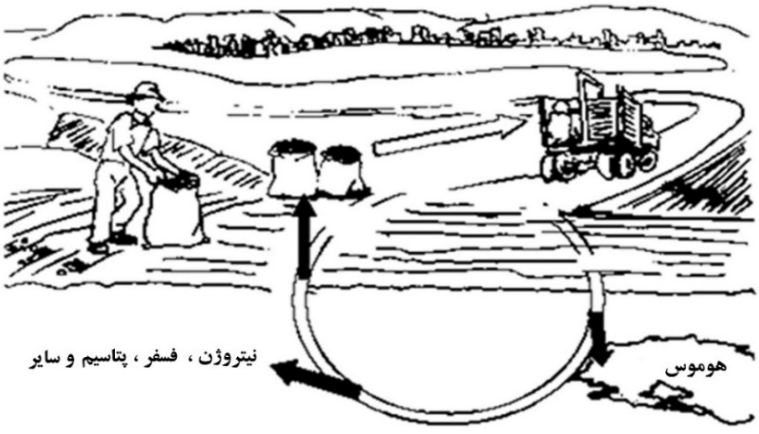
جدول ۵-۱ تأثیر نوع خاک‌ورزی بر کاهش ماده آلی خاک را در یک مطالعه نشان می‌دهد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که انجام خاک‌ورزی به صورت ترکیب شخم برگردان به همراه دیسک، ۴۳۰۰ کیلوگرم ماده آلی در هکتار را طی ۱۹ روز از بین می‌برد. زمانی‌که در خاک‌ورزی فقط از شخم برگردان استفاده شود، ۲۲۳۰ کیلوگرم ماده آلی در هکتار طی ۱۹ روز از دست می‌رود. خاک‌ورزی به صورت دیسک سبب می‌شود که ۱۸۴۰ کیلوگرم ماده آلی در هکتار طی ۱۹ روز از بین برود. خاک‌ورزی به صورت شخم با گاوآهن قلمی یا چیزل، ۱۷۲۰ کیلوگرم ماده آلی در طی ۱۹ روز را از بین می‌برد و در کشت مستقیم و بدون اینکه از گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و نظیر این‌ها استفاده گردد، ۸۶۰ کیلوگرم در هکتار ماده آلی خاک در طی ۱۹ روز از بین می‌رود. هدف جدول ۵-۱ این است که نشان دهد که خاک‌ورزی چگونه باعث از بین رفتن ماده آلی خاک می‌شود. برهم زدن خاک، تجزیه ماده آلی خاک را تسریع می‌کند ولی بین انواع خاک‌ورزی‌هایی که می‌توان انجام داد از نظر کاهش ماده آلی خاک، اختلاف زیادی وجود دارد. مثلاً در برخی موارد تا چهار برابر اختلاف وجود دارد.

جدول ۵-۱- تأثیر نوع خاک‌ورزی بر کاهش ماده آلی خاک

نوع خاک‌ورزی	کاهش ماده آلی طی ۱۹ روز (کیلوگرم بر هکتار)
شخم برگردان + دیسک	۴۳۰۰
شخم برگردان	۲۲۳۰
دیسک	۱۸۴۰
گاوآهن قلمی یا چیزل	۱۷۲۰
بذرکاری مستقیم	۸۶۰

۵-۳-تخلیه عناصر غذایی

در این قسمت تخلیه عناصر غذایی خاک که در کشاورزی اتفاق می‌افتد، توضیح داده می‌شود. با توجه به شکل ۵-۳ هنگامی که محصول برداشت می‌شود در واقع عناصر غذایی که وارد محصول شده‌اند از خاک خارج می‌گردند و بنابراین لازم است که به شیوه‌ی مناسب آن عناصر غذایی به خاک برگردانده شود. مهم‌ترین عناصر غذایی که در مقادیر بالا از خاک خارج می‌شوند شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم هستند. به منظور جبران تخلیه عناصر غذایی می‌توان ماده آلی یا کودهای شیمیایی به خاک اضافه کرد تا آن عناصری که از خاک خارج شده‌اند، جایگزین شوند. همین‌طور مقداری از عناصر غذایی موجود در خاک در اثر فرسایش و آبشویی از آن خارج می‌شوند که باید به این مورد نیز توجه داشت.



شکل ۵-۳- تخلیه عناصر غذایی از خاک

اگر هیچ کود و ماده آلی به خاک اضافه نشود، خود فرآیندهای طبیعی مقداری عناصر را به خاک اضافه می‌کنند. برای مثال، در مورد نیتروژن در اثر رعد و برق مقداری نیتروژن به خاک اضافه می‌شود که مقدار آن در حدود ۵ کیلوگرم در هکتار در سال است. همچنین باکتری‌هایی که به صورت آزادزی (نه به صورت همزیستی) در خاک زندگی می‌کنند، مقداری نیتروژن تثبیت می‌کنند. تجزیه ماده آلی خاک نیز باعث می‌شود که مقداری نیتروژن آزاد شده و وارد محلول خاک گردد. بنابراین، فرآیندهای طبیعی (برای نیتروژن ۳ مورد ذکر شد)، باعث می‌شوند مقداری از عناصر غذایی برداشت‌شده جبران و به خاک اضافه شود ولی این امر برای کشت‌های پر محصول اصلاً کافی نیست. در کشت‌های پر محصول حتماً باید از مقدار مناسب کود استفاده شود و اگر نه عناصر غذایی خاک تخلیه می‌شود و باعث کاهش ماده آلی خاک می‌گردد و در نتیجه فرسایش خاک افزایش می‌یابد و این چرخه که "چرخه فساد" نامیده می‌شود ادامه یافته و خاک خیلی زود دچار زوال و تخریب می‌گردد (شکل ۵-۴).

شکل ٥-٤- چرخه فساد

جدول ۵-۲ میزان کود مورد نیاز جهت جبران تخلیه و حفظ حاصلخیزی خاک برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای محصولات مختلف در کشور را نشان می‌دهد. در این جدول مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم کودی که به ازای برداشت هر تن محصول باید به صورت کود به خاک اضافه گردد، نشان داده شده است. مثلاً هر یک تن گندم که برداشت می‌شود باید معادل ۳۱ کیلوگرم نیتروژن، ۴/۵ کیلوگرم فسفر و ۱۶/۸ کیلوگرم پتاسیم باید به خاک اضافه کرد. برای حبوبات به

ازای هر تن ۱۴ کیلوگرم نیتروژن، ۷/۵ کیلوگرم فسفر و ۳۳ کیلوگرم پتاسیم باید به خاک اضافه گردد. همان‌طور که گفته شد اگر این محصولات برداشت شود بدون اینکه از طریق کودها جایگزینی صورت بگیرد، نهایتاً خاک ضعیف و ضعیف‌تر می‌شود، ماده آلی خاک کاهش پیدا می‌کند و فرسایش آن را تشدید می‌کند. تخلیه عناصر غذایی یکی از مواردی که در کشور ما اتفاق افتاده است.

جدول ۵-۲- میزان کود مورد نیاز جهت جبران تخلیه و حفظ حاصلخیزی خاک برای نیتروژن، پتاسیم و فسفر برحسب کیلوگرم بر تن در محصولات مختلف برای کشور (زینلی و همکاران، ۱۳۹۸). این برآوردها کلی و برای سطح کشور می‌باشد و ممکن است از یک منطقه به منطقه دیگر و نیز در کشت آبی و دیم تغییر نماید.

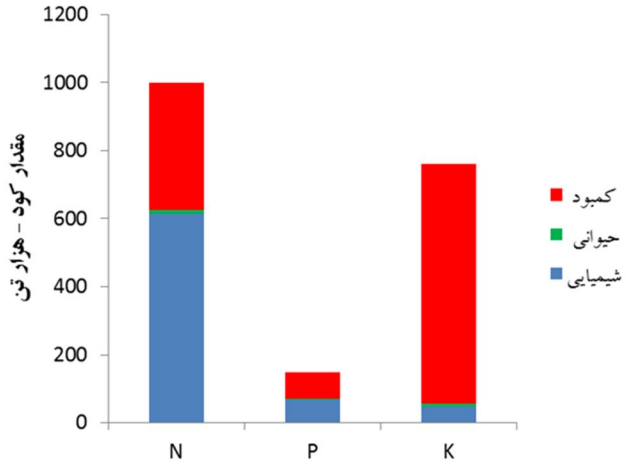
محصول	میزان کود نیتروژن	میزان کود فسفر	میزان کود پتاسیم
گندم	۳۰/۹	۴/۵	۱۶/۸
شلتوک برنج	۲۷/۸	۳/۸	۱۷/۹
حبوبات	۱۴/۰	۷/۵	۳۲/۸
سیب‌زمینی	۷/۹	۰/۷	۶/۴
دانه‌های روغنی	۳۰/۴	۵/۷	۱۱/۴
گیاهان قندی	۲/۶	۰/۴	۲/۳
میوه‌ها	۳/۶	۰/۳	۳/۱
سبزی‌ها	۶/۱	۰/۷	۴/۸
جو	۲۹/۹	۵/۳	۲۵/۲
ذرت دانه‌ای	۳۱/۷	۳/۱	۳/۰
ذرت سیلویی	۴/۹	۰/۶	۳/۰
بقولات علوفه‌ای	۹/۸	۲/۳	۱۵/۴
کاه	۶/۹	۱/۰	۳/۸
سبوس	۹/۹	۱/۵	۵/۴
کنجاله	۲۱/۲	۴/۰	۸/۰

برخی افراد در کشاورزی پایدار و یا در اکولوژی صحبت از این می‌کنند که در کشاورزی از کودها و یا سموم شیمیایی استفاده نشود. این صحبت ممکن است قشنگ به نظر بیاید اما اگر

محصولی برداشت شود و کود چه به صورت شیمیایی و یا غیر شیمیایی استفاده نگردد، خاک به مرور زمان ضعیف و ضعیف‌تر می‌گردد و در نتیجه از بین می‌رود؛ یعنی باید عناصر غذایی خاک که به صورت محصول برداشت شده است را به آن برگرداند تا تولید پایدار اتفاق افتد در غیر این صورت خاک به تدریج از بین خواهد رفت.

سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی مقادیر کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و کودهای حیوانی که سالانه در کشاورزی کشور به مصرف می‌رسند و مقایسه آن‌ها با مقدار کود لازم نشان دادند که کمبود مصرف در کشور وجود دارد (شکل ۵-۵): در فاصله ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶، سالانه به‌طور متوسط ۶۱۵ هزار تن نیتروژن، ۶۸ هزار تن فسفر و ۴۷ هزار تن پتاسیم به صورت کود شیمیایی در کشاورزی کشور مصرف شده است. همچنین در همین دوره، سالانه ۱۱ هزار تن نیتروژن، ۳ هزار تن فسفر و ۸ هزار تن پتاسیم در قالب کودهای دامی در کشاورزی کشور مصرف شده است. از طرف دیگر، با توجه به عملکردها و سطح زیر کشت، سالانه باید ۹۹۹ هزار تن نیتروژن، ۱۴۹ هزار تن فسفر و ۷۶۰ هزار تن پتاسیم به صورت کود مصرف می‌شود تا مقدار عناصر خارج شده، جایگزین (جبران) شوند. مقایسه مقادیر مصرف و مقادیر لازم برای مصرف نشان می‌دهد که خلأ کودی بزرگی در کشور وجود دارد که این خلأ کودی برای کود نیتروژن ۳۷ درصد، فسفر ۵۲ درصد و پتاسیم ۹۳ درصد می‌باشد.

باید توجه داشت که این خلأ کودی به این معنی نیست که برای همه گیاهان کمتر از حد لازم کود به‌کار می‌رود، بلکه شواهد نشان می‌دهد ممکن است برای برخی گیاهان و مناطق مصرف در حد نیاز، برای برخی بیش از حد نیاز (گیاهان پر سود) و برای بقیه کمتر از حد نیاز باشد. بنابراین، غیریکنواختی نیز در کمبود کاربرد کود وجود دارد که وضعیت را بدتر می‌سازد. خلأ کودی موجب می‌شود ذخایر ماده آلی خاک که منبع نیتروژن و فسفر هستند و نیز پتاسیم معدنی خاک تخلیه گردند. متخصصان علوم خاک و اکولوژی پایین بودن و کاهش ماده آلی خاک‌های کشور را در حد فاجعه توصیف می‌کنند.



شکل ۵-۵- مقادیر کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و حیوانی که سالانه در کشاورزی کشور به مصرف می‌رسند در مقایسه با مقادیر کمبود مصرف در کشور

۵-٤-فرسایش خاک

فرسایش خاک مورد دیگری است که در آن کشاورزی نقش دارد. فرسایش را جابجایی ذرات خاک توسط آب یا باد از مزرعه به جای دیگری تعریف می‌کنند که این پدیده به‌خودی‌خود بد نیست چون فرسایش باعث ایجاد خاک می‌شود. تمامی خاک‌های رسوبی و یا آبرفتی در اثر فرسایش به وجود آمده‌اند که جزو حاصلخیزترین خاک‌ها هستند. ولی کشاورزی فرسایش را تشدید کرده یعنی مقدار فرسایش را زیاد نموده است که مشکل مهمی در سطح جهان است. فرسایش خاک در دو نوع آبی و بادی وجود دارد، یعنی فرسایش توسط آب یا باد صورت می‌گیرد که در ابتدا فرسایش آبی توضیح داده می‌شود.

فرسایش آبی با برخورد قطرات باران به خاک شروع می‌شود. قطره‌ی آب که در باران است با خاک برخورد می‌کند و خاکدانه‌هایی که در سطح خاک هستند را متلاشی می‌کند، یعنی ذرات خاک که به هم چسبیده‌اند و به شکل یک گلوله وجود دارند و این گلوله‌های متعدد هستند که خاک را تشکیل می‌دهند، متلاشی می‌شوند. آن ذرات ریزتری که پس از متلاشی‌شدن به وجود می‌آید، منافذ خاک و روزنه‌های آن را پر می‌کنند و باعث می‌شوند که آب کمتر، کندتر و یا به

سختی در خاک نفوذ کند و در نتیجه آب در سطح خاک جاری شود (یعنی آب به درون خاک نفوذ نمی‌کند بلکه جاری می‌شود). وقتی‌که آب در سطح خاک جاری می‌شود رواناب به‌وجود می‌آید، آب حرکت می‌کند و به همراه خودش خاک را هم می‌برد. در این خاک ماده آلی، کودها و سمومی که مصرف شده‌اند نیز وجود دارند که این‌ها هم توسط آب با خاک برده می‌شوند، این را فرسایش آبی می‌گویند. حالا هر چقدر که شدت باران زیاد باشد ممکن است فرسایش را بیشتر کند، هر چقدر پوشش گیاهی کمتر باشد، فرسایش بیشتر می‌شود؛ چون پوشش گیاهی زنده و مرده یعنی گیاه زنده و بقایای گیاه باعث می‌گردند که از برخورد قطرات آب با خاک جلوگیری شود و نیز وقتی‌که آب حرکت می‌کند و می‌خواهد انتقال صورت بگیرد، این انتقال را کندتر و کمتر می‌کنند؛ یعنی در خاکی که گیاه یا بقایای گیاهی وجود دارد، حرکت آب کندتر و سخت‌تر می‌شود.

ناهمواری و یا زبری خاک مورد دیگری است که بر فرسایش تأثیر می‌گذارد مثلاً خاکی که کاملاً صاف باشد در مقایسه با خاکی که با شخم به صورت کلوخه‌ای درآمده است، فرسایش بیشتری دارد. یا خاک اگر به‌صورت جوی و پشته درآمده باشد می‌تواند باعث کاهش فرسایش گردد. این‌که گفته می‌شود «می‌تواند» چون ممکن است مثلاً جوی و پشته را در جهت درستی ایجاد نکرده نشده باشد و باعث تشدید فرسایش شود.

ساختمان خاک نیز در فرسایش مؤثر است. منظور از ساختمان خاک یعنی همان خاکدانه‌هایی که وجود دارند. ذرات رس در خاک به چسبندگی ذرات کمک می‌کنند و باعث می‌شوند که خاکدانه‌های بهتر و محکم‌تری به وجود آیند. بنابراین، ذرات رس در کاهش فرسایش مؤثر و مهم هستند. ماده آلی خاک نیز در کاهش فرسایش خاک تأثیر زیادی دارد. ماده آلی خاک به چسبیده شدن ذرات خاک یعنی شن، رس و سیلت به یکدیگر کمک می‌کند و خاکدانه‌های قوی‌تری به وجود می‌آیند که می‌توانند فرسایش را کاهش دهند.

بافت خاک نیز بر روی فرسایش تأثیر دارد. بین ساختمان خاک و بافت آن تفاوت وجود دارد. ساختمان خاک یعنی اینکه ذرات خاک به یکدیگر چسبیده و ذرات درشت‌تری را به وجود آورده باشند (همان گلوله‌هایی که ذکر شد). اما بافت خاک یعنی این که در خاک چند درصد

رس، سیلت یا شن وجود دارد. در خاک‌هایی که رسی هستند (یعنی رس بیشتری دارند)، وجود رس باعث چسبندگی ذرات خاک می‌شود و در کاهش فرسایش مؤثر است. اما اگر خاک رسی در اثر خاک‌ورزی زیاد در معرض بارندگی قرار گیرد و یا در اثر چرای بیش از حد و سایر عوامل تخریب شود، از آن‌جا که ریزتر است، راحت‌تر با آب برده می‌شود (در مقایسه با شن که ذره درشت‌تری می‌باشد) و در نتیجه فرسایش تشدید می‌شود.

خاک‌ورزی نامناسب می‌تواند فرسایش را زیاد کند یعنی در اثر خاک‌ورزی متعدد و نامناسب، خاک پودر و ریز می‌شود و به فرسایش حساسیت بیشتری پیدا می‌کند.

شیب زمین هم بر روی فرسایش تأثیرگذار است. اراضی که شیب بیشتری دارند، آب در آن‌ها راحت‌تر و سریع‌تر راه می‌افتد و رواناب و فرسایش بیشتری به وجود می‌آید. به‌طورکلی گفته می‌شود که در شیب‌های بیشتر از ۱۲ درصد نباید کشاورزی انجام شود مگر این‌که روی خطوط تراز صورت گیرد یا اینکه خاک تراس‌بندی شود.

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که کشاورزی چگونه در فرسایش نقش دارد؟ در پاسخ باید گفت که کشاورزی از طرق مختلف می‌تواند باعث تشدید فرسایش خاک شود، اول این‌که خود کشاورزی کردن به معنای تبدیل اراضی طبیعی به اراضی کشاورزی است. در اراضی طبیعی پوشش‌های گیاهی معمولاً دائمی و قوی‌تر هستند که در نتیجه فرسایش کمتر اتفاق می‌افتد. اما در کشاورزی در بسیاری از مواقع گیاهان غیردائمی هستند مثل گیاهان زراعی که چند ماه از سال در مزرعه وجود دارند و بعد مزرعه لخت و بدون گیاه می‌شود در حالی که در پوشش‌های طبیعی، گیاهان دائمی هستند.

در کشاورزی خاک‌ورزی انجام می‌گیرد و این باعث می‌شود که خاک ریزتر شود و اصطلاحاً پوک و پودر گردد و تأثیرپذیری آن نسبت به فرسایش زیاد باشد. در کشاورزی چرای بیش از حد انجام می‌گیرد که پوشش گیاهی را ضعیف و خاک را پودر می‌کند. در کشاورزی از آتش استفاده می‌شود که می‌تواند خاک را نسبت به فرسایش حساس‌تر کند؛ بنابراین کشاورزی از راه‌های مختلف باعث می‌شود که فرسایش خاک تشدید پیدا کند.

حال این سوال مطرح می‌شود که فرسایش خاک چه پیامدهایی دارد؟ در محلی که فرسایش

خاک اتفاق می‌افتد باعث می‌شود که حاصلخیزی خاک کمتر شود؛ چون آن خاک رویی که حاصلخیزتر و حاوی ماده آلی است در اثر فرسایش جابجا شده و برده می‌شود؛ بنابراین به همراه آن خاکی که جابجا شده، ماده آلی، کود و عناصر غذایی که در آن بوده نیز برده شده است و این باعث می‌شود که حاصلخیزی خاک کاهش یابد.

وقتی که خاک فوقانی در اثر فرسایش جابجا می‌شود، خاک تحتانی یا خاکی که در زیر است در معرض قرار می‌گیرد. این خاک تحتانی معمولاً فقیرتر و فشرده‌تر است؛ بنابراین نفوذ آب در داخل این خاک کندتر صورت می‌گیرد و رواناب بیشتری تشکیل می‌شود. خاک‌ورزی این خاک تحتانی رو آمده، دشوارتر است و عناصر کمتری درون آن وجود دارد. در این خاک تحتانی فعالیت‌های بیولوژیکی و ماده‌ی آلی کم است و ساختمان ضعیف‌تری نیز دارد. بنابراین، همه این عوامل دست به دست هم می‌دهند و فرسایش این خاک تحتانی که در معرض قرار گرفته بیشتر می‌شود و دور فساد ادامه پیدا می‌کند.

اتفاق دیگری که روی می‌دهد این است که این مخلوط آب همراه با ذرات خاک مخاطرات دیگری نیز دارد که سیل را می‌توان به عنوان نمونه کامل و مشهود آن ذکر کرد. خاکی که در اثر سیل برده شده در جای دیگری رسوب داده می‌شود. به عنوان مثال، ممکن است مزرعه‌ای که کشت شده در اثر رسوب خاک حمل‌شده توسط سیل، تخریب گردد. علاوه بر این، بقایای سم و کودی که در خاک وجود دارد که با سیل برده می‌شود و فرسایش می‌یابد، می‌تواند باعث آلودگی محیط‌زیست گردد. این خاکی که فرسایش پیدا کرده ممکن است که در سدها و بندها که اصطلاحاً مخازن گفته می‌شود، رسوب کرده و آن‌ها را پر کند. وقتی‌که آب با خاک مخلوط می‌شود، معمولاً قدرت تخریبی بیشتری پیدا می‌کند و در نتیجه سیلاب‌های بزرگ‌تری به وجود می‌آیند.

نوع دیگر فرسایش، فرسایش بادی است که ذرات توسط باد جابجا می‌شوند. قدرت باد در مقایسه با آب برای انتقال ذرات کمتر است ولی باد در همه اراضی می‌تواند عمل کند در حالی که آب فقط در اراضی شیب‌دار عمل می‌کند. اگر زمین کاملاً صاف و مسطح باشد فرسایش آبی ممکن است اصلاً اتفاق نیفتد، مثلاً اگر شیب زمین صفر درجه باشد و جوی و پشته و یا کرت‌بندی

شده باشد فرسایش آبی روی نمی‌دهد ولی فرسایش بادی در تمام سطوح زمین می‌تواند اتفاق بیافتد. فرسایش بادی را نباید دست کم گرفت. به عنوان مثال، خاک‌های استان گلستان از نوع لسی هستند و این‌ها خاک‌هایی هستند که تماماً توسط باد در این استان رسوب کرده‌اند.

برای فرسایش بادی باید مجموعه شرایطی وجود داشته باشد که خاک را مستعد این نوع فرسایش کند. این شرایط عبارتند از:

- ❖ خاک سست و خشک باشد.
- ❖ سطح خاک زبر نباشد یعنی این‌که سطح خاک با گیاه و یا بقایای گیاهی پوشیده نباشد و این‌که مثلاً سطح خاک کلوخه‌ای یا جوی و پشته نباشد که باعث می‌شود باد بیشتر اثر کند و فرسایش خاک توسط باد افزایش یابد.
- ❖ عدم پوشش زمین یا پوشش ضعیف زمین
- ❖ بزرگ بودن مزارع مخصوصاً اگر در جهت وزش باد باشند
- ❖ و اینکه اصلاً بادهای شدیدی وجود داشته باشند.

همگی این موارد شرایطی هستند که باعث افزایش فرسایش خاک از طریق باد می‌شوند. بایستی دقت کرد که در مورد فرسایش آبی و خاکی نکته کلیدی این است که در اثر خاک‌ورزی و یا نوع گیاهانی که استفاده می‌شوند، مثل استفاده از گیاهان ردیفی به جای گیاهان غیر ردیفی، چرای بی‌رویه و سوزاندن پوشش زمین، همگی این چند مورد دست به دست هم می‌دهند و باعث کاهش پوشش زمین و ماده آلی خاک می‌گردند و در نتیجه فرسایش می‌تواند در اثر عامل باد و آب افزایش پیدا کند.

در ارتباط با سوزاندن نیز باید اشاره کرد که می‌تواند خود به خود در کشاورزی و طبیعت روی دهد ولی گاهی برای ایجاد زمین جدید استفاده می‌شود، مثلاً جنگل و مرتع را آتش می‌زنند تا آن را به مزرعه تبدیل کنند که آثار زیست‌محیطی فراوانی از جمله فرسایش خاک را به دنبال دارد. گاهی نیز سوزاندن بقایای گیاهی برای تسهیل شکار حیوانات انجام می‌شود. برخی مواقع دامداران به منظور حذف گیاهان غیر خوش خوراک، مراتع یا چراگاه‌ها را آتش می‌زنند و همین‌طور دامداران برای این‌که بیماری‌های دام‌هایشان را کاهش دهند ممکن است که مرتع یا چراگاه را

آتش بزنند. اما در اراضی کشاورزی بیشتر به منظور تسهیل خاک‌ورزی و یا برای از بین بردن علف‌های هرز این کار انجام می‌گیرد. پس نکته کلیدی در فرسایش خاک که اهمیت زیادی دارد، تضعیف پوشش گیاهی است که از طریق خاک‌ورزی، عوض کردن گیاهان، چرای بی‌رویه و آتش زدن گیاهان و بقایای گیاهی صورت می‌پذیرد.

جدول ۵-۳ وسعت زمین‌هایی که در کشورهای مختلف تحت تأثیر فرسایش بادی و آبی قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد. به طور متوسط برآورد شده است که در دنیا سالانه ۱۰/۵ تن در هکتار خاک دچار فرسایش می‌شود؛ یعنی از هر هکتار در هر سال ۱۰/۵ تن خاک توسط باد و آب برده می‌شود. برآورد فرسایش در کشور ما ۱۶ تن در هکتار است که از متوسط جهانی فرسایش خاک در حدود ۵/۵ تن در هکتار بیشتر است. لازم به ذکر است که این ۱۰/۵ تن در هکتار فرسایش جهانی معادل ۱۹۳ کیلوگرم کربن آلی است؛ یعنی ماده آلی هم در اثر فرسایش از بین می‌رود و کاهش می‌یابد.

جدول ۵-۳- وسعت اراضی کشورهای مختلف تحت تأثیر فرسایش بادی و آبی

کشور	فرسایش آبی (میلیون هکتار)	فرسایش بادی (میلیون هکتار)	درصد مساحت تحت تأثیر فرسایش از کل وسعت کشور
ایران	۲۶/۴	۳۵/۴	۳۷/۸
پاکستان	۷/۲	۱۰/۷	۲۵/۵
افغانستان	۱۱/۲	۲/۱	۲۰/۴
سریلانکا	۱	۰	۱۵/۲
هند	۳۲/۸	۱۰/۸	۱۳/۳
نپال	۱/۶	۰	۱۰/۹
بنگلادش	۱/۵	۰	۱۰/۴
بوتان	۰/۰۴	۰	۰/۹

۵-۵-بیابانی‌شدن

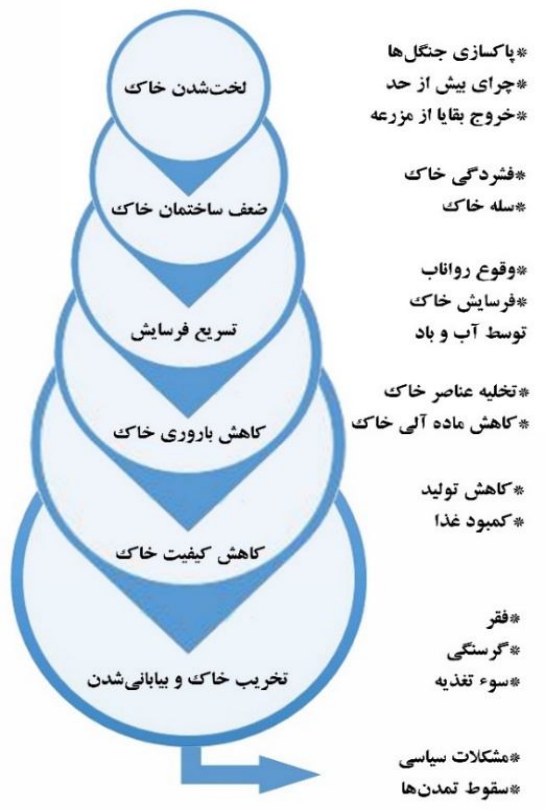
بیابانی‌شدن یکی دیگر از پدیده‌های مرتبط با منابع زمین و خاک است که کشاورزی در آن نقش داشته است. بیابانی‌شدن به حالتی گفته می‌شود که پوشش گیاهی در یک جایی به صورت

تقریباً غیر قابل برگشت از بین می‌رود. بیابانی‌شدن در شرایطی به وجود می‌آید که عوامل زیر رخ دهند:

- بارندگی‌ها کم و متغیر باشد.
- تلفات تبخیر خیلی زیاد باشد یعنی رطوبت خاک کم باشد.
- رواناب به مقدار زیاد روی دهد که به علت مسدود شدن منافذ سطحی خاک اتفاق می‌افتد.
- پوشش گیاهی یا کم باشد و یا اصلاً پوشش گیاهی وجود نداشته باشد که به علت فشار جمعیت و گسترش کشاورزی و چرای دام اتفاق می‌افتد.
- بادهای شدید وجود داشته باشد.

در شرایط مختلف، دلایل بیابانی‌شدن خیلی متفاوت است که در این‌جا به آن پرداخته نمی‌شود ولی کشاورزی در بیابانی‌شدن نقش دارد که در سیر وقایع در بیابانی‌شدن در شکل ۶-۵ مشهود است. بیابانی شدن از لخت‌شدن سطح خاک شروع می‌شود، ضعیف‌شدن ساختمان خاک، افزایش فرسایش، کاهش حاصلخیزی و کیفیت خاک و بعد هم تخریب خاک و بیابانی‌شدن که دلایل آن‌ها نیز در شکل ۶-۵ ذکر شده است.

یک نمونه بیابانی شدن تشکیل بیابان راج پوتانا در هند است که نحوه ایجاد آن می‌تواند جالب باشد. در گذشته در این منطقه گرد و غبار خیلی کم و نقطه شبنم بالا بوده است به‌صورتی‌که در شب شبنم تشکیل می‌شده و به تشکیل پوشش گیاهی و حفظ آن در این منطقه کمک می‌کرده است و به سبب این پوشش گیاهی، گرد و غبار اندکی در این منطقه وجود داشته است. بعداً در این منطقه چرای دام‌ها افزایش پیدا می‌کند. این چرای دام‌ها پوشش گیاهی را کاهش می‌دهد، گرد و غبار افزایش پیدا می‌کند و این گرد و غبار از تشکیل شبنم جلوگیری می‌کند. بنابراین، شبنم کمتر تشکیل می‌شود و در نتیجه پوشش گیاهی آن منطقه کم کم ضعیف می‌شود و از بین می رود و در نهایت به بیابان تبدیل می‌شود. در اینجا نیز مشاهده می‌گردد که تضعیف پوشش گیاهی در بیابانی‌شدن نقش مهمی دارد.



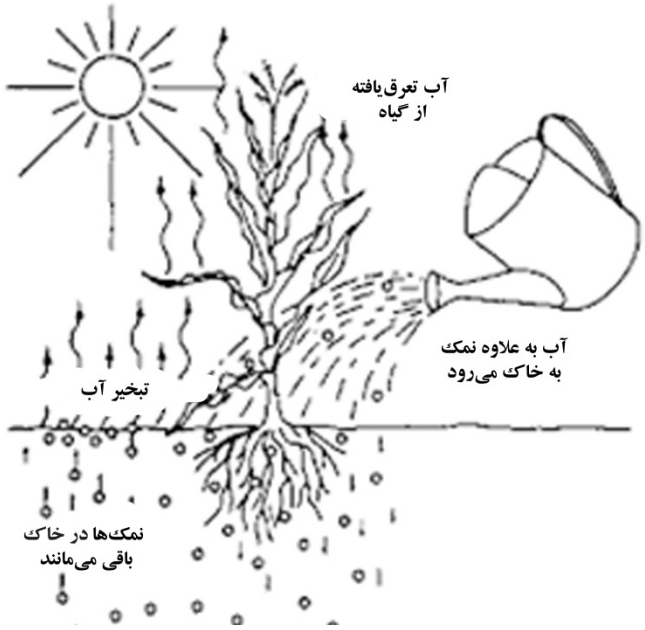
شکل ٦-٥- مراحل تخریب خاک و بیابانی‌شدن و تبعات آن

٥-٦-شور شدن خاک[1]

شور شدن خاک مشکل دیگری است که کشاورزی در آن نقش دارد. شور شدن خاک به دو صورت در اثر کشاورزی اتفاق می‌افتد. حالت اول در شکل ۵-۷ نشان داده شده است. در کشاورزی به گیاهان آب داده می‌شود (آبیاری می‌شوند)، این آبی که استفاده می‌شود، حتی اگر بهترین آب نیز استفاده گردد، دارای مقداری نمک است. این نمک‌ها همراه با آب وارد خاک می‌شوند و سپس آب از خاک تبخیر و یا از گیاه تعرق می‌یابد و در نتیجه نمکی که در آب بوده است، در خاک باقی می‌ماند. وقتی آبیاری طی سال‌های زیادی مثلاً ۱۰ تا ۱۰۰ سال کشاورزی

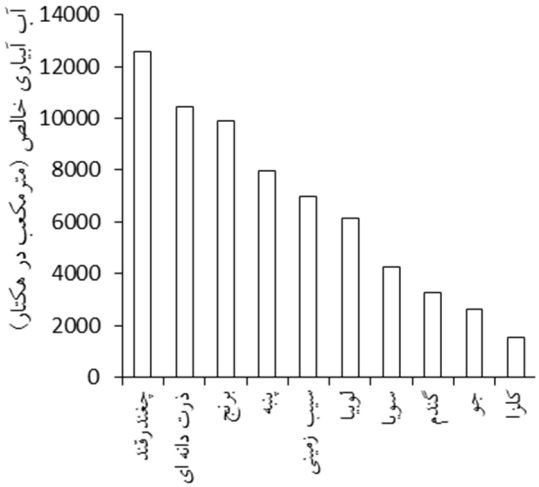
[1] Soil salinization

کردن به طور مداوم انجام گیرد، در طول زمان مقدار زیادی نمک در خاک تجمع پیدا می‌کند که باعث شوری خاک می‌شود. در نتیجه این خاک ممکن است که دیگر قابل کشاورزی کردن نباشد یا محصول کمتری تولید کند و یا ماده آلی آن کاهش پیدا کند. (باید توجه داشت که این مواردی که توضیح داده شد مثل کاهش ماده آلی، فرسایش و تنوع زیستی به یکدیگر مرتبط هستند و اگر یکی از این موارد دچار اشکال شود بقیه موارد را نیز با خود همراه می‌کند و باعث تشدید مشکلات می‌گردد). بنابراین، یکی از راه‌هایی که خاک‌ها در اثر کشاورزی شور می‌شوند، انجام آبیاری است. اگر کشاورزان سالی یک بار با مقدار زیادی آب مزارع را آبیاری سنگین کنند، می‌توانند در اثر این آبیاری املاح و نمک‌ها را از خاک خارج کنند. بنابراین، ممکن است مدت زمان زیادی از شور شدن خاک جلوگیری شود. پروژه‌های آبیاری که در مناطق خشک جهان از جمله کشور ما گسترش پیدا کرده است باعث گردیده که همراه این پروژه‌ها مشکل شور شدن خاک نیز ایجاد شود. یعنی تقریباً همیشه شور شدن خاک با پروژه‌های بزرگ آبیاری همراه است یعنی جاهایی که آبیاری می‌شوند این اتفاق می‌افتد.



شکل ۵-۷- شور شدن خاک از طریق آبیاری

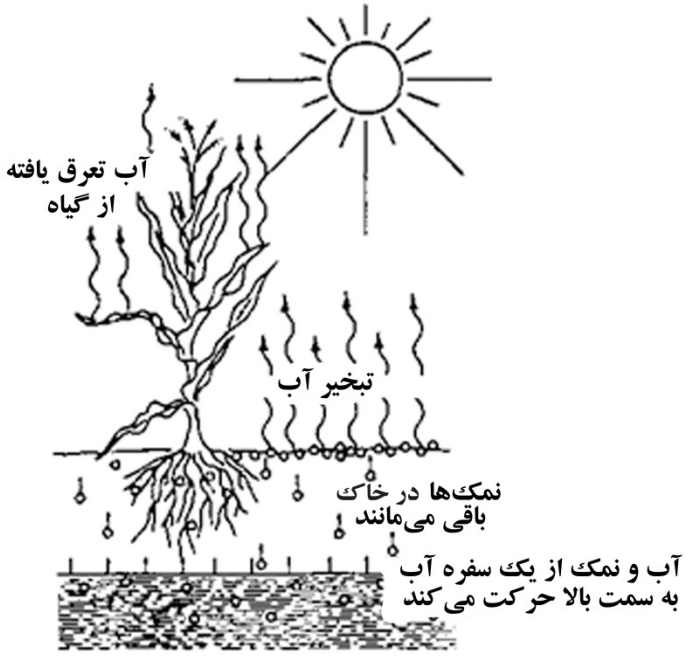
شکل ۵-۸ مقدار نیاز آبیاری خالص برای گیاهان مختلف در کشور ایران را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، نیاز آبیاری خالص گیاه چغندرقند بیشتر از ۱۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار در سال است. البته این میزان آبیاری خالص است: معمولاً باید مقدار بیشتری آب استفاده شود. برای ذرت بیشتر از ۱۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار در سال است و به همین ترتیب. مشاهده می‌شود در اثر آبیاری، مقدار خیلی زیادی آب وارد خاک می‌شود و وقتی طی سال‌های مختلف این مقدار آب مصرف می‌گردد املاح در خاک تجمع می‌یابد.



شکل ۵-۸- مقدار آبیاری خالص برای گیاهان مختلف در کشور

حالت دوم شور شدن که در شکل ۵-۹ نشان داده شده است زمانی رخ می‌دهد که زمین در نزدیکی رودخانه، دریاچه، تالاب و نظیر این‌ها قرار گرفته باشد طوری‌که سطح ایستابی بالا می‌باشد. سطح ایستابی جایی است که در زیر آن خاک حالت اشباع آب دارد. در این حالت در اثر صعود موئینگی، آب به همراه نمک از سطح ایستابی به سطح خاک می‌آید، آب رسیده به سطح خاک بخار می‌شود و یا تعرق می‌گردد و نمک‌ها در خاک باقی می‌مانند. در اراضی که در محدوده بندها و سدها واقع شده‌اند نیز سطح ایستابی بالا می‌آید و بنابراین ممکن است که از طریق روشی که توضیح داده شد، شور شوند. اراضی پایین‌دست سدها نیز اگر شبکه زه‌کشی نداشته باشند از طریق همین مکانیسم دچار شوری می‌گردند. همچنین پروژه‌های بزرگ آبیاری از طریق

بالا آوردن سطح ایستابی در مناطق مجاور با این روش باعث شور شدن خاک‌ها شده‌اند. گفته شده است که تمدن‌های زیادی در گذشته در اثر کشاورزی، آبیاری و شور شدن از بین رفته‌اند، به عنوان مثال تمدن‌های بزرگی درکنار رودخانه سند، دجله و فرات و سواحل پرو به همین طریق از بین رفته‌اند. برآوردها نشان می‌دهد که در کشور ایران ۲۵ درصد از زمین‌های کشاورزی دارای مشکل شوری هستند.



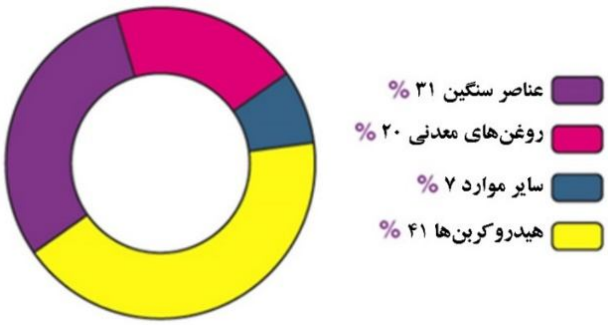
شکل ۵-۹- شور شدن خاک از طریق سفره‌های آب مجاور با سطح ایستابی بالا

۵-۷-آلودگی خاک

آلودگی خاک نیز از جمله مواردی است که می‌تواند در اثر کشاورزی ایجاد شود. آلودگی خاک وقوع غلظت‌های غیر نرمال مواد سمی در خاک می‌باشد. همه خاک‌ها دارای مواد سمی هستند اما وقتی میزان آن‌ها از یک حدی بالاتر می‌رود که می‌تواند به انسان و یا جانداران آسیب بزند گفته می‌شود که خاک آلوده و یا سمی شده است. این غلظت‌ها نیز در مواردی ناشی از

فعالیت‌های کشاورزی بشر هستند که در آن مواد مختلفی مانند سموم استفاده می‌شوند. غیر از کشاورزی، فعالیت‌های صنعتی و همین‌طور مدیریت نامناسب پسماندها نیز باعث آلودگی خاک می‌شوند.

آلودگی خاک را به چند دسته تقسیم می‌کنند (شکل ۵-۱۰). یکی از انواع مهم آلودگی خاک، آلودگی ناشی از عناصر سنگین مثل آرسنیک، کادمیم، تالیوم، جیوه، روی، سلنیوم، کرومیوم، سرب، نیکل، برلیوم و مس است که این‌ها از طریق کودها نیز می‌توانند وارد خاک شوند؛ یعنی کودهایی که مصرف می‌شود ناخالصی دارند و دارای مس، روی، سرب و این موارد هستند و یا سمومی که استفاده می‌گردد حاوی مقادیری از این عناصر سنگین و هیدروکربن‌های معطر چند حلقه‌ای هستند. ضایعات صنعتی که اگر برای کشاورزی باشد و نیز آفت‌کش‌ها از دیگر موارد آلودگی خاک ناشی از کشاورزی هستند. این که چه بخشی از آلودگی خاک به هرکدام از این دسته‌جات تعلق دارد در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است. معمولاً آلودگی خاک‌ها به دلیل عناصر سنگین ۳۱ درصد، روغن‌های معدنی ۲۰ درصد، هیدروکربن‌ها ۴۱ درصد و سایر موارد ۷ درصد است.



شکل ۵-۱۰- درصد بخش‌های مختلف موارد آلوده‌کننده خاک

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که آلودگی خاک چه اثراتی دارد؟ در پاسخ باید گفت که یکی از اثرات آلودگی خاک روی انسان و حیوانات است. به عنوان مثال از یک سردرد معمولی ممکن است شروع شود، حساسیت‌های پوستی و نظیر این‌ها را به وجود آورد و در انتها نیز

سرطان‌هایی است که ناشی از آلودگی خاک‌ها می‌باشند. در اثر آلودگی خاک ممکن است رشد دام‌ها و گیاهان کاهش یابد. درمورد آلودگی‌ها باید به این نکته توجه داشت که برای آن‌ها اثر تجمع زیستی[1] اتفاق می‌افتد؛ یعنی آلودگی در گیاه رخ می‌دهد و بعد وقتی‌که توسط دام و یا انسان خورده می‌شود به آن‌ها منتقل می‌گردد. در زنجیره غذایی از هر حلقه به حلقه دیگر این آلودگی دست نخورده منتقل می‌شود در حالی که برای سایر مواد و ترکیبات بخشی منتقل می‌شوند و بخشی از دست می‌روند. بنابراین، از یک حلقه به حلقه بعدی غلظت آلودگی افزایش پیدا می‌کند و این باعث می‌شود که در حلقه‌های بعدی که انسان قرار گرفته است آلودگی‌ها خطرناک‌تر باشند.

آلودگی‌های خاک ممکن است که به اتمسفر و منابع آب راه پیدا کنند. به عنوان مثال گفته شده است که ورود نیترات به آب‌ها و آلودگی ناشی از آن یکی از دلایل سرطان‌های دستگاه گوارش است. باران‌های اسیدی ناشی از همین آلودگی‌ها هستند و همچنین کیفیت محصولات در اثر آلودگی‌های خاک کاهش پیدا می‌کند مثلاً در چین گزارش شده که به دلیل آلودگی به عناصر سنگین که در خاک وجود داشته است ۱۲ میلیون تن دانه غیر قابل استفاده گردیده است.

۵-۸-برخی آمارها

تخمین زده می‌شود که در حدود ۱۹۶۰ میلیون هکتار زمین (۱۴ درصد از وسعت خشکی‌ها) با مشکل فرسایش روبه‌رو هستند (جدول ۵-۴). همچنین سالیانه ۰/۴ تا ۶ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی جهان تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند که به طور متوسط ۲ میلیون هکتار از این اراضی تحت فرسایش شدید می‌باشند (گیریگوری و بورلی، ۱۹۸۶). در ایران با وسعت ۱۶۴ میلیون هکتار، در حدود ۶۲ میلیون هکتار از زمین‌ها تحت تأثیر فرسایش آبی (۴۳ درصد) و بادی (۵۷ درصد) قرار دارد و یکی از کشورهایی است که بیشترین مقدار فرسایش خاک به نسبت وسعت در آن اتفاق می‌افتد. در جدول ۵-۵ وسعت جهانی تخریب خاک ناشی از فعالیت‌های انسان در قاره‌های مختلف نشان داده شده است.

[1] Bioaccumulation

جدول ۵-٤- سطح اراضی تحت تأثیر هر یک از عوامل تخریب خاک در جهان (Osman, 2014)

عامل تخریب خاک		مساحت اراضی تحت تأثیر (میلیون هکتار)
فرسایش		۱۹۶۰
	شدت کم و متوسط	۹۸۰
	شدت زیاد	۹۸۰
تخریب شیمیایی		۲۴۰
	تخلیه عناصر	۱۴۰
	شوری	۸۰
	اسیدی شدن	۱۰
	آلودگی خاک	۱۰
تخریب فیزیکی		۷۰
غرقاب شدن زمین		۴۰
بیابانی شدن		۳۲۰۰
	شدت کم	۷۰۰
	شدت متوسط	۹۰۰
	شدت زیاد	۱۶۰۰

جدول ۵-۵- وسعت جهانی تخریب خاک ناشی از فعالیت‌های انسان.

مناطق جهان	وسعت (میلیون هکتار)	وسعت زمین‌هایی که خاک آن به دلیل فعالیت انسان با فرآیند تخریب مواجه است (میلیون هکتار)
آفریقا	۲۹۶۶	۴۹۴
آسیا	۴۲۵۶	۷۴۸
آمریکای جنوبی	۱۷۶۸	۲۴۶
آمریکای مرکزی	۳۰۶	۶۳
آمریکای شمالی	۱۸۸۵	۹۵
اروپا	۹۵۰	۲۱۹
اقیانوسیه	۸۸۲	۱۰۳
جهان	۱۳۰۱۳	۱۹۶۵

حتی در صورتی که فرسایش خاک منتج به تخریب کامل خاک نشود، اثرات منفی این پدیده بر روی عملکرد و تولید محصولات کشاورزی محسوس است. بر اساس تخمینی که زده شده است، در صورتی‌که فرسایش از اراضی کشاورزی وجود نداشت، مقدار تولید محصولات کشاورزی جهان در حدود ۱۰ درصد افزایش می‌یافت . در جداول ۵-۶ و ۵-۷ اثر فرسایش بر تولید محصولات مختلف کشاورزی در نقاط مختلف جهان ارایه شده است.

جدول ۵-٦- تولید محصولات کشاورزی در سال ۱۹۹۵ و برآورد مقدار تلفات ناشی از فرسایش خاک.

محصولات اصلی	تولید خالص (میلیون تن)	تلفات ناشی از فرسایش (٪)	تولید بدون وقوع فرسایش (میلیون تن)
غلات	۱۸۹۶	۱۰	۲۰۸۶
سویا	۱۲۶	۵	۱۳۲
حبوبات	۵۶	۵	۵۹
محصولات ریشه‌ای و غده‌ای	۶۰۹	۱۲	۶۸۲
کل	۲۶۸۷	۱۰	۲۹۵۹

جدول ۵-۷- تولید محصولات مختلف در شرایط وقوع و عدم وقوع فرسایش در مناطق مختلف جهان (میلیون تن)

مناطق جهان	غلات		سویا		حبوبات		ریشه‌ای و غده‌ای	
	فرسایش	عدم فرسایش	فرسایش	عدم فرسایش	فرسایش	عدم فرسایش	فرسایش	عدم فرسایش
آمریکای شمالی مرکزی	۳۵۸	۳۷۶	۹۱	۶۴	۶	۶	۲۸	۲۹
اروپا	۲۶۸	۲۸۱	۱	۱	۶	۶	۳۰	۸۴
اقیانوسیه	۲۷	۲۸	–	–	۲	۲	۳	۳
آفریقا	۱۰۰	۱۱۰	۰/۵	۰/۶	۷	۸	۱۳۵	۱۵۵
آسیا	۹۲۹	۱۰۶۸	۲۱	۲۳	۲۷	۳۱	۲۴۸	۲۹۳
آمریکای جنوبی	۹۰	۹	۴۱	۴۵	۴	۴	۴۶	۵۱
سایر	۱۲۴	۱۳۰	۳	۳	۴	۴	۶۹	۷۲
کل	۱۸۹۶	۲۰۹۲	۱۲۶	۱۳۶	۵۰	۶۱	۶۰۹	۶۸۷

۵-۹-خلاصه

خاک زنده است چراکه موجودات زیادی درون آن هستند و زنده بودن آن نیز برای کشاورزی یک امر حیاتی است؛ یعنی باید خاک را زنده نگه داشت. مهم‌ترین مشکلاتی که در ارتباط با خاک وجود دارد و کشاورزی نیز در آن‌ها نقش دارد عبارتند از:

- ❖ تغییر کاربری اراضی
- ❖ کاهش ماده آلی خاک
- ❖ تخلیه عناصر غذایی خاک
- ❖ فرسایش خاک
- ❖ شورشدن خاک
- ❖ بیابانی‌شدن
- ❖ آلودگی خاک

در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله کشور ما به نظر می‌رسد «ترکیب تخلیه عناصر غذایی، کاهش ماده آلی خاک و فرسایش» از مهم‌ترین عوامل مخرب زمین و خاک باشد. در مورد خاک‌های کشور بیان شده است که حدود ۵۰ درصد از اراضی کشاورزی برای کشت و کار دارای کیفیت نامناسب یا ضعیف هستند، حدود ۲۵ درصد اراضی دارای مشکل شوری هستند و بیش از ۸۰ درصد اراضی دارای کمبود ماده آلی (زیر یک درصد) هستند.

تکلیف درسی

۱- درخت مشکل برای «زوال و تخریب منابع زمین و خاک» تهیه کنید.

۲- با جستجو در منابع در حد یک صفحه مطلب مربوط به درس امروز تهیه کنید.

فصل ششم
زوال و نابودی منابع آب

این فصل آخرین قسمت از بخش اول مطالب کتاب است که به بررسی مسائل و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی می‌پردازد. در فصول گذشته در مورد کاهش تنوع زیستی، تغییر اقلیم و تخریب و زوال منابع خاک به‌عنوان سه مورد از مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با کشاورزی توضیح داده شد. در این فصل به بررسی زوال و تخریب منابع آب به‌عنوان آخرین مورد از مسائل و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی پرداخته می‌شود. به‌منظور توضیح این مورد نیز به مانند فصول گذشته در ابتدا مشکل (مسئله) شرح داده می‌شود، سپس دلایل ایجاد آن و در نهایت پیامدها و یا اثرات آن بیان خواهد شد.

در ارتباط با منابع آب ابتدا باید اشاره شود که ۷۱ درصد از سطح کره‌ی زمین را آب فرا گرفته است اما فقط ۳ درصد آب‌های کره زمین شیرین هستند که از این ۳ درصد، ۱/۵ درصد نیز در یخ‌های دو قطب و ارتفاعات حبس شده‌اند و بنابراین فقط ۱/۵ درصد از کل آبی که روی کره‌ی زمین است برای شرب یا کشاورزی قابل استفاده می‌باشد. بنابراین، منابع آب شیرین بسیار محدود هستند اگرچه ظاهراً فراوان به نظر می‌رسد.

از طرف دیگر، تولید گیاهی نیازمند مصرف مقدار بسیار زیادی آب است: چون فتوسنتز و تعرق هر دو از طریق روزنه‌ها انجام می‌شوند، وقتی‌که روزنه‌ها باز هستند تا دی‌اکسید کربن وارد برگ شود به‌طور همزمان آب نیز از طریق آن‌ها خارج می‌گردد. بنابراین، در حالی که تولید در جریان است به اجبار مقدار زیادی آب از دست می‌رود. سطح زیر کشت آبی در دنیا از ۱۳۹ میلیون هکتار در سال ۱۹۶۱ به ۳۲۰ میلیون هکتار در سال ۲۰۱۲ افزایش پیدا کرده است. علاوه بر

این تعداد دام‌ها از ۷/۳ میلیارد واحد در ۱۹۷۰ به ۲۴/۲ میلیارد واحد در ۲۰۱۱ افزایش پیدا کرده است و گفته می‌شود که ۷۰ درصد اراضی کشاورزی دنیا به شکلی با دامپروی مرتبط هستند. همچنین آبزی‌پروری نیز افزایش پیدا کرده است و از سال ۱۹۸۰ تاکنون به میزان ۲۰ برابر، به ویژه در قاره‌ی آسیا، گسترش پیدا کرده است. به این ترتیب، کشاورزی به مقدار زیادی آب نیاز دارد و از طرفی دیگر از گذشته تا به حال به مقدار زیادی گسترش پیدا کرده است که در نتیجه آب بسیار زیادی را مصرف می‌کند.

مهمترین مشکلاتی که در ارتباط با منابع آب وجود دارد سه مورد زیر است که در این فصل به آن پرداخته می‌شود:

۱- برداشت بیش از حد آب: انسان سهم طبیعت را برمی‌دارد و این مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی را در کشور ما ایجاد کرده است به‌طوری‌که این برداشت بیش از حد آب در کشورمان را می‌توان به سرطان بدخیم تشبیه نمود که در حال از بین بردن محیط‌زیست و منابع طبیعی و نیز کشاورزی کشور است.

۲- ذخیره‌سازی در مقیاس بزرگ: این مشکل با ایجاد سدها ارتباط دارد.

۳- آلودگی منابع آب

در ارتباط با هر کدام از موارد بالا توضیح داده خواهد شد.

٦-١-اضافه برداشت آب

٦-١-١-مفاهیم پایه

برای اینکه مسائل مربوط به آب خوب درک کنیم در ابتدا باید حوضه آبخیز[1] (آبریز) و چند مفهوم مرتبط با آن را شرح دهیم. یعنی بایستی بدانیم که حوضه آبخیز چیست تا مسائل و مشکلات مربوط به منابع آب به خوبی درک گردد. حوضه‌ی آبخیز به بخشی از سطح کره‌ی زمین که شکل هندسی خاصی دارد، شبیه کاسه[2] و یا نیم کاسه است، گفته می‌شود و شکل آن به‌گونه‌ای

[1] Watershed
[2] Basin

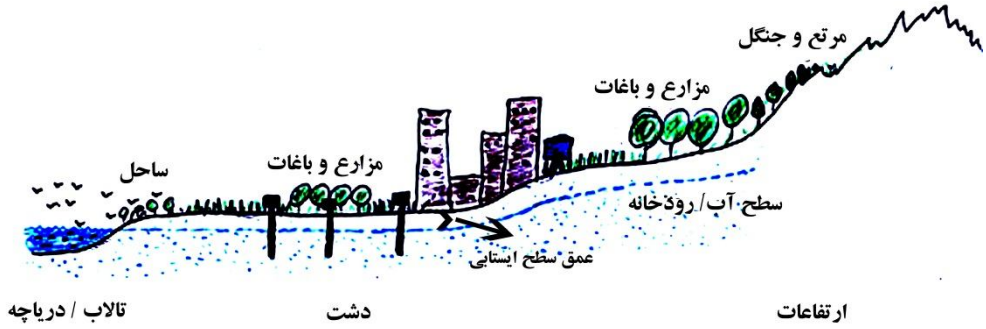
است که جریان آب‌های روی زمین و زیرزمین از ارتفاعات به سمت گودترین نقطه‌ی آن رخ می‌دهد (شکل ۶-۱). معمولاً در پایین‌ترین نقطه‌ی حوضه‌ی آبخیز یک حجم آب وجود دارد که می‌تواند یک رودخانه، تالاب، دریاچه و یا اقیانوس و خلیج باشد. پایین‌ترین نقطه‌ی حوضه آبخیز در کشور ما، در مناطق مرکزی آن معمولاً تالاب و دریاچه است و همین‌طور در بالا و پایین کشور به ترتیب دریای خزر و خلیج‌فارس و دریای عمان قرار دارد. در کشور ما شش حوضه آبخیز خیلی بزرگ وجود دارد که در شکل ۶-۲ نشان داده شده است. در ضمن هرکدام از این حوضه‌های خیلی بزرگ می‌توانند از تعدادی حوضه‌ی کوچک‌تر نیز تشکیل شده باشند. حال فرض کنید که در شکل ۶-۱ یک برش عرضی (نیم‌رخ) از حوضه آبخیز در امتداد رودخانه‌ها تهیه شود و آن چیزی که حاصل می‌شود در شکل ۶-۳ نشان داده شده است و توضیح آن از سمت راست به چپ به این صورت است: ابتدا کوه‌های مرتفع قرار دارند و سپس مراتع و جنگل‌های بالادست هستند که در ارتفاعات واقع شده‌اند و بعد در کوهپایه‌ها، مزارع و باغات بالادست مشاهده می‌گردد و ممکن است که مراکز صنعتی و سکونتی (منازل، شهرها و روستاها) نیز قرار داشته باشند. پس از آن مزارع و باغات پایین‌دست مشاهده می‌گردد و در نهایت ممکن است مراتع و جنگل‌هایی در پایین‌دست قرارگرفته باشند، در کنار آن حجم آب که ممکن است یک تالاب باشد، مشاهده می‌گردد که معمولاً سکونتگاه انواع و اقسام گیاهان و جانوران است. این تالاب‌ها از نظر تنوع زیستی بسیار غنی هستند.

شکل ٦-١- حوضه آبخیز

شکل ٦-۲- حوضه‌های آبریز کشور ایران

برای آبیاری مزارع و باغات بالادست و پایین‌دست از زمین آب استخراج می‌شود که برای پایین‌دست تعدادی چاه در شکل ۶-۳ نشان داده شده است.

به‌طور کلی، حوضه آبخیز از سه بخش ارتفاعات در نواحی بالادست و مرتفع، دشت در نواحی پایین‌دست و تالاب یا دریاچه (حجم آبی) تشکیل شده است. اگر زیر سطح زمین را بررسی کنیم، یک جایی وجود دارد که در پایین‌تر از آن، زمین حالت اشباع از آب را دارد که در شکل ۶-۳ به صورت نقطه‌چین مشخص شده است و سطح آب یا سطح ایستابی نامیده می‌شود. سفره‌های آبی در این منطقه اشباع رطوبتی و زیر خط ایستابی قرار گرفته‌اند. سطح آب یا سطح ایستابی بسته به شرایط حوضه در عمق متفاوتی قرار دارد. اگر رودخانه‌ای در حوضه از بالا به پایین جریان داشته باشد، سطح آن رودخانه تقریباً مشابه سطح ایستابی است، یعنی در شکل ۶-۳ سطح ایستابی را می‌توان سطح رودخانه در نظر گرفت که کمی عقب‌تر یا جلوتر در محل برش جریان دارد.



شکل ٦-۳- برش عرضی حوضه آبخیز

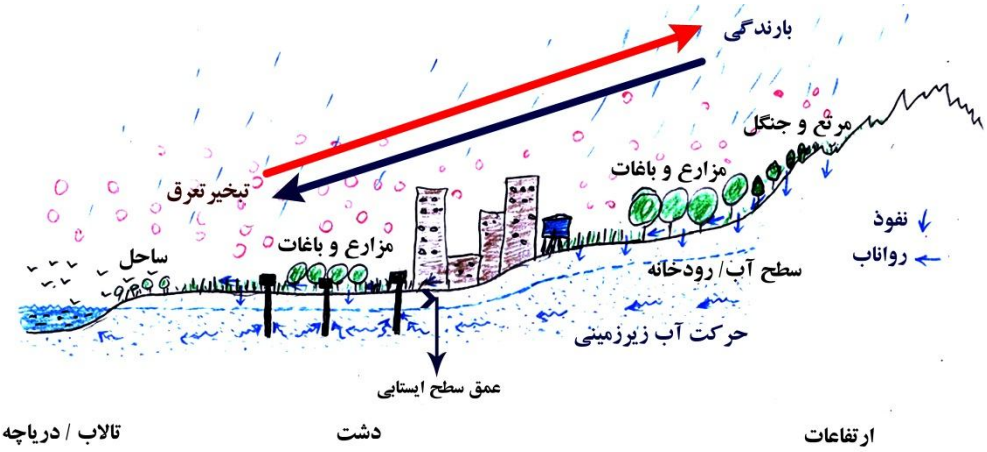
چرخه *آب* مفهوم دیگری است که باید با آن آشنا شویم. چرخه آب در حوضه آبخیز با کمک شکل ۶-۴ توضیح داده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۶-۴ مشخص است در تمام حوضه آبخیز بارندگی اتفاق می‌افتد که معمولاً در ارتفاعات میزان آن بیشتر است. تبخیرتعرق (تبخیر از خاک و تعرق از گیاهان) نیز در حوضه آبخیز روی می‌دهد که معمولاً مقدار آن در دشت‌ها بیشتر است. آب حاصل از بارندگی می‌تواند به داخل خاک نفوذ کند (فلش‌های رو به پایین شکل ۶-۴).

همچنین آب حاصل از بارندگی ممکن است که در سطح زمین به سمت نقاط پست‌تر جاری شود. آب از سرشاخه‌ها، به سمت مناطق پایین و رودخانه‌های اصلی جاری می‌شود و از آنجا به گودترین نقطه حوضه آبخیز انتقال پیدا می‌کنند که به آن رواناب گفته می‌شود (فلش‌های افقی در شکل ۶-۴). در زیر سطح ایستابی در زیرزمین نیز جریان آب به سمت گودترین نقطه و جاهایی که چاه وجود دارد صورت می‌گیرد.

از آنجا که بارندگی‌ها در ارتفاعات حوضه‌ی آبخیز بیشتر روی می‌دهند و در دشت‌ها تبخیرتعرق بیشتری صورت می‌گیرد، برآیند جریان این است که آب به شکل مایع از ارتفاعات در رو و زیرزمین به سمت دشت و یا حجم آبی که در گودترین نقطه قرار گرفته، حرکت می‌کند (شکل ۶-۴).

در دشت که تبخیرتعرق آب بیشتر است، آب تبخیرشده بالا می‌رود، خنک شده و در نتیجه ابر تشکیل می‌شود و بارندگی رخ می‌دهد که در ارتفاعات بیشتر است. بنابراین، گردش خالص آب

به صورت بخار آب از دشت به ارتفاعات و مایع از ارتفاعات به دشت صورت می‌گیرد که چرخه آب نامیده می‌شود.



شکل ٦-٤- چرخه‌ی آب در حوضه آبخیز

حال باید با مفاهیم آب تجدیدپذیر[1] و آب قابل بهره‌برداری[2] آشنا شویم. آب تجدید پذیر به‌طور ساده عبارت است از بارندگی منهای تبخیرتعرق و یا می‌توان گفت برابر است با مجموع مقدار آبی که به زمین نفوذ کرده و یا به شکل رواناب درآمده است. اما چرا گفته می‌شود تجدیدپذیر؟ چون سال بعد هم این آب توسط طبیعت از طریق چرخه آب تولید می‌شود. بخشی از آب تجدیدپذیر را می‌توان استفاده کرد، یعنی کسری از آب تجدیدپذیر را می‌توانیم برای کارهای کشاورزی و غیرکشاورزی برداشت و استفاده کنیم که به آن آب قابل بهره‌برداری می‌گویند و بدین معنا است که تمام آب تجدید پذیر قابل بهره‌برداری نیست بلکه بخشی از آن قابل بهره‌برداری است.

اکنون این سؤال مطرح می‌شود که چه کسری از آب تجدیدپذیر را می‌توان برداشت و استفاده کرد؟ پاسخ این است که کسر قابل بهره‌برداری ۴۰ درصد از آب تجدیدپذیر بیان شده است. این

[1] Renewable water resource
[2] Exploitable water resource

عدد ۴۰ درصد، عددی است که بسیاری از منابع معتبر پیشنهاد می‌کنند. اگر این میزان آب تجدیدپذیر برداشت شود اکوسیستم‌ها سالم کار می‌کنند و طبیعت آسیب نخواهد دید. البته این عدد ۴۰ درصد، عدد ثابتی نیست و می‌تواند مقداری کمتر و یا بیشتر باشد. در اکوسیستم‌هایی که خیلی پر باران هستند مثل آمازون یک مقدار باید عدد کوچک‌تر باشد و در اکوسیستم‌هایی که خشک‌تر هستند می‌تواند مقداری بزرگ‌تر باشد.

چرا نمی‌توان همه آب تجدیدپذیر را برداشت کرده و مورد استفاده قرار داد؟ و یا مثلاً به‌جای ۴۰ درصد، ۶۰ و یا ۸۰ درصد از آن را برداشت کرده و استفاده نمود؟ بایستی پاسخ داد که دو علت دارد: (۱) باید بخشی از این آب تجدیدپذیر را برای جریانات طبیعی یعنی همان جریانات رو و زیرزمینی در حوضه در اکوسیستم‌ها، رودخانه‌ها، چشمه‌ها و تالاب‌ها کنار گذاشت و (۲) علت دیگر این است که همه‌ی آب تجدیدپذیر در آن زمان و مکانی که مورد نیاز می‌باشد، قابل استفاده نیست؛ یعنی بین آبی که حاصل تفاضل بارندگی و تبخیرتعرق است (تجدیدپذیر) و آبی که نیاز است یک عدم تطابق زمانی و مکانی وجود دارد. برای مثال، در شمال کشور در پاییز و زمستان بارندگی زیادی وجود دارد، در نتیجه آب زیادی قابل دسترس می‌باشد ولی قابل استفاده نیست یعنی گیاه و یا مزرعه‌ای وجود ندارد که نیاز به آبیاری داشته باشد. بنابراین، بخشی از این آب تجدیدپذیر در شمال کشور قابل استفاده نخواهد بود.

٦-١-٢-مراحل، نشانه‌ها و پیامدهای اضافه برداشت[1] آب

یک اتفاقی که در حوضه‌ی آبخیز ممکن است روی دهد و در کشور ما نیز به شدت اتفاق افتاده است، اضافه برداشت آب است. برداشت از آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و معمولی صورت می‌گیرد. آب سطحی نیز از طرق مختلف برداشت می‌گردد که عبارتند از: (۱) پمپاژ از رودخانه، (۲) ایجاد بند برای انحراف آب از رودخانه‌ها به مزارع و باغات، (۳) احداث سد برای جمع‌آوری و توزیع آب‌های سطحی و (۴) جمع‌آوری رواناب‌ها. چنان‌چه برداشت آب از آب‌های زیرزمینی و سطحی بیش از حد باشد (بیش از مقدار قابل بهره‌برداری)، باعث اتفاقاتی

[1] Over-exploitation

می‌شود که در ادامه شرح داده می‌شوند (شکل ۶-۵).

شکل ٦-٥- افزایش عمق سطح ایستابی نسبت به قبل در اثر برداشت بیش‌ازحد آب از منابع سطحی و زیرزمینی

سطح ایستابی در اثر برداشت بیش از حد از آب‌های سطحی یا زیرزمینی پایین‌تر می‌افتد که باعث کاهش آبدهی چاه‌ها می‌گردد و در نتیجه باید چاه‌های عمیق‌تری حفر شوند یعنی باید عمق آن‌ها افزایش یابد. علاوه بر این، آب نهرها و رودخانه‌هایی که در حوضه وجود دارند کاهش می‌یابد و یا اگر رودخانه‌ها فصلی هستند زودتر خشک می‌شوند و اگر رودهای دائمی هستند ممکن است به فصلی تبدیل شوند و یا اینکه ممکن است که رودخانه از بین برود و ناپدید شود؛ چراکه در اثر برداشت بیش از حد منابع آبی، سطح ایستابی حوضه‌ی آبخیز پایین‌تر از سطح قبلی رودخانه و در زیر زمین قرار می‌گیرد و در نتیجه دیگر آبی در سطح رودخانه مشاهده نمی‌گردد و رودخانه ناپدید می‌شود. در خروجی حوضه یا گودترین نقطه آن که تالاب قرار دارد نیز سطح آب پایین می‌افتد و بسیاری از جاندارانی که در آنجا زندگی می‌کنند دچار مشکل می‌شوند و در نتیجه تنوع زیستی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، مراتع و جنگل‌هایی که در نزدیکی حجم آبی در مناطق پست قرار دارند نیز تخریب و ضعیف شده و ممکن است که کاملاً از بین بروند.

ممکن است تصور شود که در ارتفاعات برای جنگل‌ها و مراتع اتفاق بدی نمی‌افتد. اما وقتی

سطح ایستابی پایین می‌افتد اثرات آن حتی به جنگل‌ها و مراتع بالادست نیز منتقل می‌شود؛ چون آب یک سیستم یکپارچه در رو و زیرزمین است، بنابراین، این خشکی حتی به آنجا نیز انتقال می‌یابد. چشمه‌ها، نهرها و آن سرشاخه‌های رودخانه‌ها که در مراتع و جنگل‌های بالادست واقع هستند نیز کم آب می‌شوند و حتی ممکن است که خشک و نابود شوند و به دنبال آن حتی گیاهان و جاندارانی که در مراتع و جنگل‌های بالادست هستند نیز دچار زوال و نابودی می‌گردند و ممکن است مشاهده شود که جمعیت برخی از گیاهان یا جانوران به دلیل عدم دسترسی به آب به سبب خشک شدن چشمه‌ها، رودها و رودخانه‌ها و مشکلاتی از این قبیل، کاهش یافته است. در اینجا باید اشاره شود که تضعیف پوشش گیاهی در ارتفاعات و کوهپایه‌ها موجب افزایش رواناب، فرسایش و سیلاب می‌گردد که اثرات مخربی بیشتری بر محیط‌زیست دارند.

برداشت بیش از حد آب و کمبود آن و نیز خشک شدن تالاب‌ها و مراتع پایین‌دست باعث افزایش گردوغبار می‌گردد. اگر برداشت از منابع آب از طریق چاه‌ها خیلی زیاد باشد ممکن است که بعد از تخلیه‌ی آب از این سفره‌های آبی نشست زمین روی دهد. در مراحل بعدی و با تداوم اضافه برداشت، علائم بیابانی شدن در دشت‌های پایین‌دست مشاهده خواهد شد. مسائل و مشکلات اضافه برداشت آب وقتی‌که در مراحل آخر خود تشدید می‌شوند، ممکن است که منازعات منطقه‌ای بر سر آب را به دنبال داشته باشند، مانند دعوا و نزاع‌هایی که ممکن است بین روستاهای بالا و پایین‌دست و مناطق مختلف انجام گیرد. همچنین اضافه برداشت آب و خشک شدن عمومی حوضه از طریق تأثیر بر خصوصیات تشعشعی زمین مثل آلبیدو و تأثیر بر بودجه انرژی می‌تواند موجب تغییر اقلیم در حوضه گردد. برای مثال، ممکن است کاهش بارندگی تشدید شود یا وقایع اکستریم (فصل ۳) بیشتر شوند. آنچه برای اضافه برداشت آب از حوضه آبخیز بیان شد را می‌توان برای کل کشور در نظر گرفت، چون هر جای کشور که تصور شود با حوضه‌ای سروکار داریم که افراد در بالادست و یا در پایین‌دست زندگی می‌کنند و استخراج و برداشت آب از منابع آب صورت می‌پذیرد و همین داستان کم‌وبیش برقرار است. در ارتباط با مسئله اضافه برداشت در کشور ما برخی آمار گزارش شده است که به شرح زیر می‌باشد: در اصفهان سطح ایستابی به ۱۰۰ متر رسیده است. در رفسنجان نیز گزارش شده که سطح ایستابی از ۵۹ متر به ۳۰۰ متر افزایش یافته

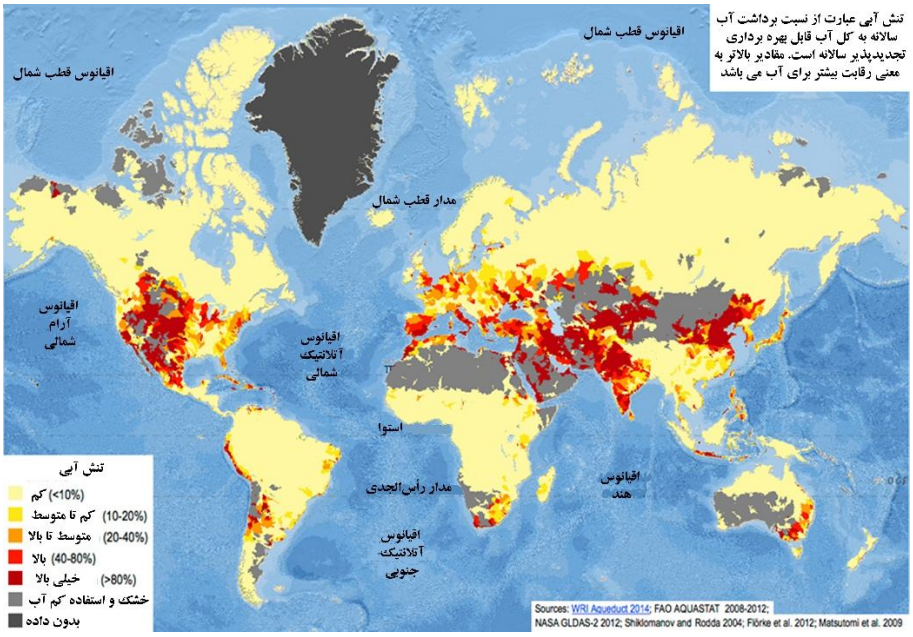
است. در مشهد از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۶ سطح ایستابی به میزان ۱۲ متر کاهش پیدا کرده است. این تغییرات سطح ایستابی فقط مختص کشور ما نمی‌باشد بلکه در سایر نقاط جهان نیز روی داده است به عنوان مثال سطح ایستابی در پکن از ۱۵ متر به ۳۰۰ متر و در مکزیک از ۳ متر به ۱۲۲ متر افزایش پیدا کرده و آبدهی چاه‌های این مناطق نیز کاهش یافته است. بنابراین، اضافه برداشت آب مسئله‌ای است که در تمام حوضه‌های آبخیز مشکلات متعددی را ایجاد می‌کند. باید اشاره کرد که وقوع بعضی از پدیده‌های طبیعی مثل خشکسالی و تغییر اقلیم همراه با اضافه برداشت از منابع آب، می‌تواند اثرات آن را تشدید کند. همچنین بهره‌برداری بیش از حد از خاک، تبدیل اراضی جنگل‌ها و مراتع، استفاده بیش از حد جنگل‌ها به منظور چوب و سایر مصارف، چرای بیش از حد دام‌ها در مراتع و تعرض به حاشیه رودخانه‌ها و مسیرهای سیلاب می‌توانند اثرات اضافه برداشت آب را تشدید کنند که متأسفانه همه این موارد در کشور ما یا اتفاق افتاده است و یا در حال وقوع می‌باشد.

پیامدهای اضافه برداشت چیست؟ مواردی که بیان شد از نشانه‌های اضافه برداشت آب هستند که در اطراف ما نیز قابل مشاهده می‌باشند. برخی از این نشانه‌ها، خود پیامدهای اضافه برداشت آب نیز هستند. پیامدهای اضافه برداشت آب عبارتند از:

- از دست رفتن تنوع زیستی یکی از مهمترین و اصلی‌ترین پیامدهای اضافه برداشت است که خود تبعاتی دارد (به فصل ۲ رجوع کنید).
- در اثر اضافه برداشت منابع آب، سیلاب و فرسایش نیز اتفاق می‌افتد (به فصل ۵ رجوع کنید)
- فراوانی و شدت ریزگردها افزایش پیدا می‌کند.
- آتش‌سوزی‌ها بیشتر می‌شوند.
- فرونشست زمین اتفاق می‌افتد (در همین فصل بیشتر توضیح داده خواهد شد).
- بیابانی شدن روی می‌دهد.
- به دلیل ضعیف شدن پوشش‌های گیاهی ماده آلی خاک کاهش پیدا می‌کند.
- حاصلخیزی خاک کاهش می‌یابد.
- پایین افتادن سطح ایستابی و خشک‌شدن حوضه آبخیز می‌تواند روی خصوصیات تشعشعی،

بودجه انرژی و آب‌وهوای حوضه تأثیرگذار باشد یعنی آب‌وهوا را دگرگون سازد، یعنی ممکن است اقلیم و آب‌وهوا نیز در اثر این اضافه برداشت دچار تغییرات شود.

- در نهایت در کشاورزی اثرات این پیامدها به صورت کاهش عملکرد مشاهده می‌گردد و این کاهش تولیدات کشاورزی، همان ناپایدار شدن سیستم کشاورزی است. دلیل ناپایداری سیستم‌های کشاورزی نیز کاهش مقاومت و تاب‌آوری این سیستم‌ها در اثر پیامدهای مورد اشاره است. همچنین بخشی از اضافه برداشت‌ها از ذخایر آبی صورت می‌گیرد که با اتمام آن‌ها ناچاراً مساحت قابل آبیاری در کشاورزی کاهش می‌یابد و تولیدات کشاورزی نزول می‌کند.



شکل ٦-٦- مناطق مختلف جهان تحت تنش آبی (اضافه برداشت)

در کشور ما، اضافه برداشت‌ها به‌ویژه برای کشاورزی (به قسمت بعدی مراجعه شود) عامل اصلی بسیاری از اتفاقات ناگوار است که در کشور مشاهده می‌گردد مثل خشک‌شدن تالاب‌ها،

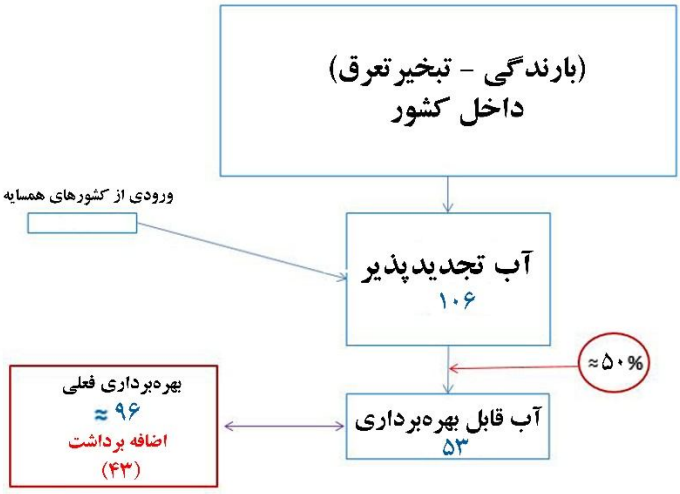
خشک‌شدن زاینده‌رود، خشک‌شدن دریاچه ارومیه، طوفان‌های گردوغبار و فرونشست زمین در دشت‌های مهم کشور (به شکل ۶-۱۸ در انتهای فصل مراجعه شود). اضافه برداشت آب تنها مختص کشور ما نیست و متأسفانه در نقاط مختلف جهان مشاهده می‌گردد که در شکل ۶-۶ نشان داده شده است. در این شکل هر جایی که رنگ قرمز و قرمز تیره می‌باشد اضافه برداشت صورت گرفته است. جاهایی که رنگ نارنجی و یا زرد است معمولاً منطقه‌ای می‌باشد که اضافه برداشت صورت نگرفته و یا برداشت در حد ایمن است.

٦-١-٣-اضافه برداشت آب در کشور

اکنون یک سؤال مهم این است که برداشت ایمن در کشور ما چقدر است؟ و یا چقدر برداشت شود که اضافه برداشت صورت نگرفته باشد؟ برای پاسخ به این پرسش بایستی گفت که مقدار آب تجدیدپذیر حاصل اختلاف بارندگی و تبخیرتعرق است. در کل کشور ما سالیانه ۴۰۰ میلیارد مترمکعب بارندگی اتفاق می‌افتد که در شکل ۶-۷ به صورت باکس نشان داده شده است (سعی شده که اندازه این باکس‌ها هم یک نشانه‌ای از مقدار آن‌ها باشد). اختلاف بارندگی و تبخیرتعرق، آب تجدید پذیر داخلی است. مقداری نیز ممکن است از کشورهای همسایه ورود و خروج آب وجود داشته باشد که برای کشور ما به‌طور خالص ورود آب وجود دارد. این تفاضل بارندگی و تبخیرتعرق به اضافه آب ورودی از کشورهای همسایه، آب تجدیدپذیر کشور را تشکیل می‌دهد که متوسط دراز مدت آن برای کشور ما ۱۲۸ میلیارد مترمکعب در سال است ولی در سال‌های اخیر در اثر تغییر اقلیم به ۱۰۶ میلیارد مترمکعب در سال کاهش یافته است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد (فصل چهارم) در اثر تغییر اقلیم در چند دهه اخیر، ۱۰ تا ۲۰ درصد از میزان بارندگی‌ها کاسته شده که در پی آن آب تجدیدپذیر نیز کاهش یافته است. بنابراین، بهتر است مبنا را بر برآورد ۱۰۶ میلیارد مترمکعب در سال آب تجدیدپذیر بگذاریم.

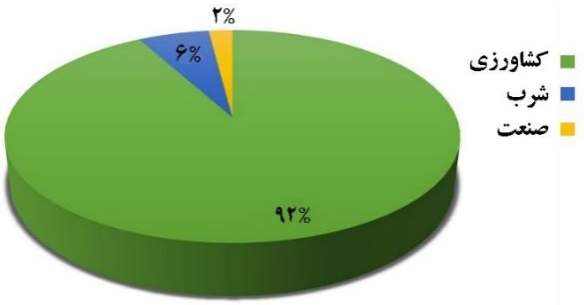
حال اگر فرض کنیم نه ۴۰ درصد بلکه ۵۰ درصد آب تجدیدپذیر قابل بهره‌برداری باشد، آب قابل بهره‌برداری ۵۳ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود. اما در حال حاضر ۹۶ میلیارد مترمکعب در سال آب در کشور مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (باکس قرمز رنگ شکل ۶-۷) که ۴۳ میلیارد

مترمکعب آن در سال اضافه برداشت است. بنابراین، اضافه برداشت ۱۰ سال اخیر از منابع زیرزمینی و سطحی معادل ۴۳۰ میلیارد مترمکعب به دست می‌آید. این همان آبی است که باید در زاینده‌رود جریان می‌داشت یا در دریاچه ارومیه و نظایر آن می‌بود ولی برداشت شده است.



شکل ٦-۷- آب تجدیدپذیر و قابل بهره‌برداری کشور

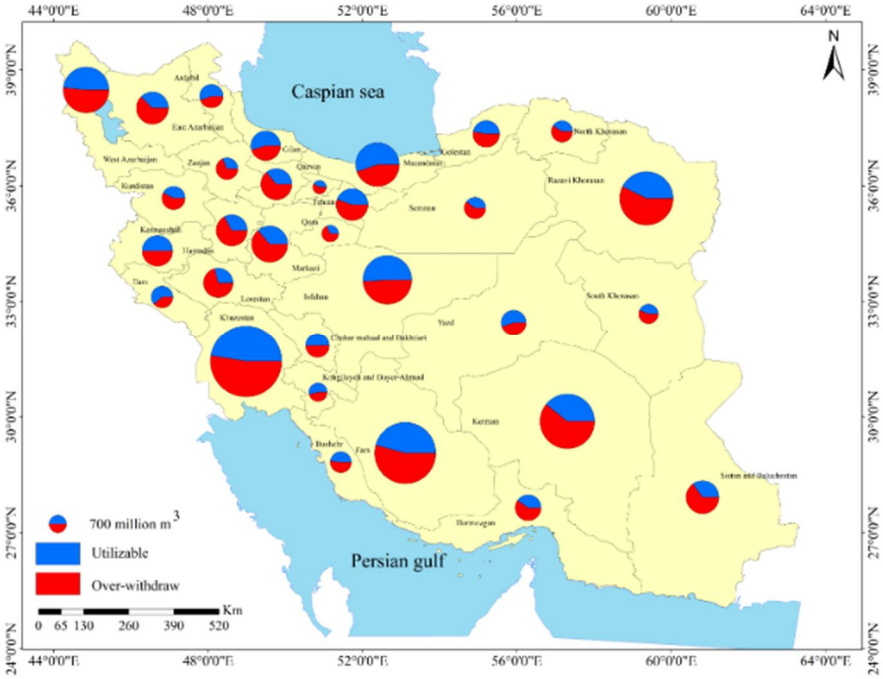
حال این پرسش مطرح می‌شود که این برداشت‌ها برای چه بخش‌هایی صورت می‌گیرد؟ پاسخ این پرسش در شکل ۶-۸ نشان داده شده است. بر اساس آمار وزارت نیرو در کشور ما ۹۲ درصد برداشت‌ها برای کشاورزی و ۶ درصد برای مصارف شرب و خانگی و ۲ درصد برای صنعت استفاده می‌شود. بنابراین مهمترین برداشت کننده آب کشور کشاورزی می‌باشد. از کل برداشت آب کشور که ۹۶ میلیارد مترمکعب در سال است، ۸۶ میلیارد مترمکعب از آن برای کشاورزی است و همچنین ۹۵ درصد از این ۸۶ میلیارد مترمکعب برای آبیاری گیاهان در مزارع، باغات و گلخانه‌ها، ۵ درصد بقیه هم برای دام‌ها و آبزی‌پروری و نیز مصارف دیگر استفاده می‌شود. این در حالی است که حد مجاز قابل بهره‌برداری آب برای کشاورزی ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال است (تفریق ۱۴ میلیارد مترمکعب مصارف خانگی و صنعتی از ۵۳ میلیارد مترمکعب کل آب قابل بهره-برداری).



شکل ٦-٨- سهم بخش‌های مصرف‌کننده آب قابل بهره‌برداری کشور

شکل ۶-۹ تصویری از مقایسه برداشت فعلی برای کشاورزی در مقایسه با برآورد آب قابل برنامه‌ریزی پایدار برای کشاورزی در استان‌های مختلف را ارائه می‌کند. در این شکل برای هر استان هر دایره مقدار برداشت آب در حال حاضر را نشان می‌دهد، قسمتی از دایره که قرمز رنگ است اضافه برداشت آب و قسمت آبی‌رنگ، مقدار آب قابل بهره‌برداری به صورت پایدار را نشان می‌دهد. البته این شکل فقط برای مصارف بخش کشاورزی است، چراکه همانطور که قبلاً گفته شد کشاورزی مصرف‌کننده اصلی آب در کشور می‌باشد. مشاهده می‌شود که بخش‌های قرمز در تمام استان‌ها ۵۰ درصد و یا بیشتر از ۵۰ درصد را تشکیل می‌دهند؛ یعنی در حال حاضر مقدار آبی که برای کشاورزی برداشت می‌گردد بایستی به نصف کاهش یابد تا طبیعت کشور همچنان حفظ گردد یا کیفیت آن بهبود یابد.

گاهی بیان شده است که این مشکلاتی که مشاهده می‌گردد مثل خشک‌شدن رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و تالاب‌ها به دلیل تغییر اقلیم یا خشکسالی یا برداشت زیاد در بخش صنعت و خانگی است. ولی بایستی گفته شود که عامل اصلی این موارد ناگوار، اضافه برداشت آبی است که در کشاورزی صورت می‌گیرد. اکنون این پرسش مطرح می‌شود که چرا سهم تغییر اقلیم و خشکسالی زیاد نیست؟ حجم آب تجدیدپذیر در اثر تغییر اقلیم در سال‌های اخیر ۲۲ میلیارد مترمکعب در سال کاهش یافته است (از ۱۲۸ به ۱۰۶) ولی میزان اضافه برداشت ۴۳ میلیارد مترمکعب در سال است (۹۶ در مقایسه با ۵۳). بنابراین، به طور سرانگشتی، اندازه تأثیر برای تغییر اقلیم ۳۴ درصد و برای اضافه برداشت ۶۶ درصد به دست می‌آید.



شکل ٦-۹- مقایسه برداشت فعلی برای کشور در مقایسه با برآورد آب قابل‌برنامه‌ریزی پایدار برای کشاورزی کشور

در ارتباط با تغییر اقلیم اگر برای نمونه به شکل ۶-۱۰ دقت شود و مناطقی در داخل کشور با مناطق مجاور در کشورهای همسایه مقایسه شوند، نکاتی دریافت خواهد شد. در شکل ۶-۱۰ به عنوان مثال دریاچه ارومیه در کشور ایران با دریاچه وان که در کشور ترکیه واقع شده است، مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. ملاحظه می‌گردد که فاصله این دو منطقه از نظر جغرافیایی به یکدیگر نزدیک است و بنابراین تأثیر تغییر اقلیم بر آن‌ها تقریباً مشابه هم می‌باشد اما مشاهده می‌کنید که دریاچه وان در ترکیه دچار تخریب و کم‌آبی نشده است درحالی که دریاچه ارومیه کم‌وبیش خشک شده و به سختی می‌توان آن را بر روی نقشه تشخیص داد. بنابراین، تغییر اقلیم نقش بسیار قوی بر روی دادن مشکلات و اتفاقات ناگوار نداشته است. با این وجود بایستی به این نکته اشاره کرد که تغییر اقلیم باعث تشدید این مشکلات شده است.

شکل ٦-١٠- مقایسه دو اکوسیستم با اقلیم مشابه در کشور ایران و ترکیه

اگر هم فرض شود که تغییر اقلیم مسئول باشد، بایستی برنامه‌ریزی گردد محیط طبیعی دچار ضرر و خسارت نشود مثلاً در کشاورزی و در برداشت‌ها تعدیل گردد تا اینکه اکوسیستم‌های کشور آسیب نبیند و نه اینکه فرض شود که مثلاً مسئول تغییر اقلیم شخص دیگری است و به مسئولین و کشاورزان مرتبط نیست و تصور شود که نیازی نیست که کاری انجام دهد. زمانی که تغییر اقلیم و خشکسالی اتفاق می‌افتد باید برای مقابله و سازگاری با آن چاره‌ای اندیشیده شود و اقدامی صورت پذیرد.

بخش صنعت و سایر بخش‌ها نسبت به کشاورزی برداشت آب کمی دارند حتی اگر اضافه برداشت در آنجا نیز اتفاق افتد که حتماً صورت می‌گیرد، نمی‌تواند از نظر مقداری آن‌قدر تأثیرگذار باشد. اگرچه ممکن است که در یک حوضه خاص و در یک منطقه و نقطه خاص برداشت آب برای صنعت مشکل اصلی اضافه برداشت باشد ولی در کلیت کشور نقش صنعت خیلی زیاد نیست. بنابراین، آن پدیده‌هایی ناگوار که بیان شد عمدتاً مرتبط با اضافه برداشت و به‌ویژه برای کشاورزی است.

٦-١-٤-فرونشست زمین[1]

فرونشست زمین یکی از پیامدهای اضافه برداشت منابع آب است و در بسیاری دشت‌های مهم کشور گزارش شده است (شکل ۶-۱۱). در این پدیده، در اثر برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی، خلل و فرج در سفره‌های آبی از آب تخلیه می‌شوند و در اثر وزن خاک، زمین نشست می‌کند و فرونشست رخ می‌دهد. شکل ۶-۱۲ مربوط به ترکیه است که فرونشست زمین اتفاق افتاده است و شکل ۶-۱۳ مربوط به منطقه‌ای در کالیفرنیا در آمریکا است که از سال ۱۹۲۵ چیزی در حدود ۹ متر فرونشست زمین صورت گرفته است. البته فرونشست فقط به دلیل برداشت آب در کشاورزی نیست و به دلایل دیگر هم اتفاق می‌افتد که در شکل ۶-۱۹ ضمیمه می‌توان آن‌ها را مشاهده کرد.

٦-١-٥-شور شدن سفره‌های آبی[2]

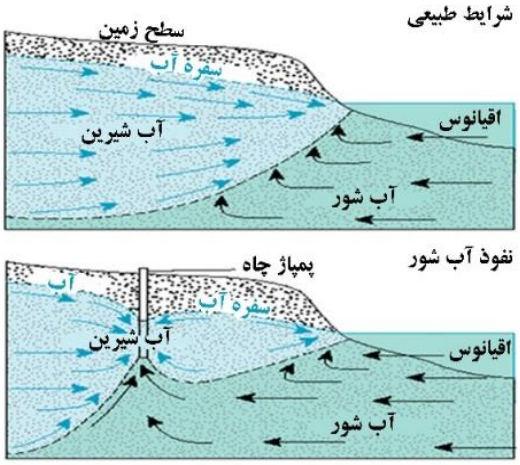
شور شدن سفره‌های آبی نیز یکی از پیامدهای اضافه برداشت آب است. در مجاورت با دریاچه و دریا در زیرزمین یک مرزی بین آب‌های شیرین و شور در جایی که به هم می‌رسند، تشکیل می‌شود (شکل ۶-۱۴). اگر در نواحی ساحلی چاه حفر شود که در شکل ۶-۱۴ نشان داده شده است و آب شیرین بیش از اندازه استخراج گردد، این مرز به هم می‌خورد و آب شور از دریا، دریاچه، اقیانوس‌ها و یا خلیج به سفره‌ی آبی شیرین نفوذ می‌کند و سفره‌ی آب شیرین را شور می‌کند و دیگر برای مصارف کشاورزی و شرب مناسب نیست و سفره آبی برای همیشه غیر قابل استفاده می‌گردد.

[1] Land subsidence
[2] Salinization of aquifers

شکل ٦-١١- فرونشست زمین در کشور ایران

شکل ٦-١٣- فرونشست زمین در آمریکا

شکل ٦-١٢- فرونشست زمین در ترکیه



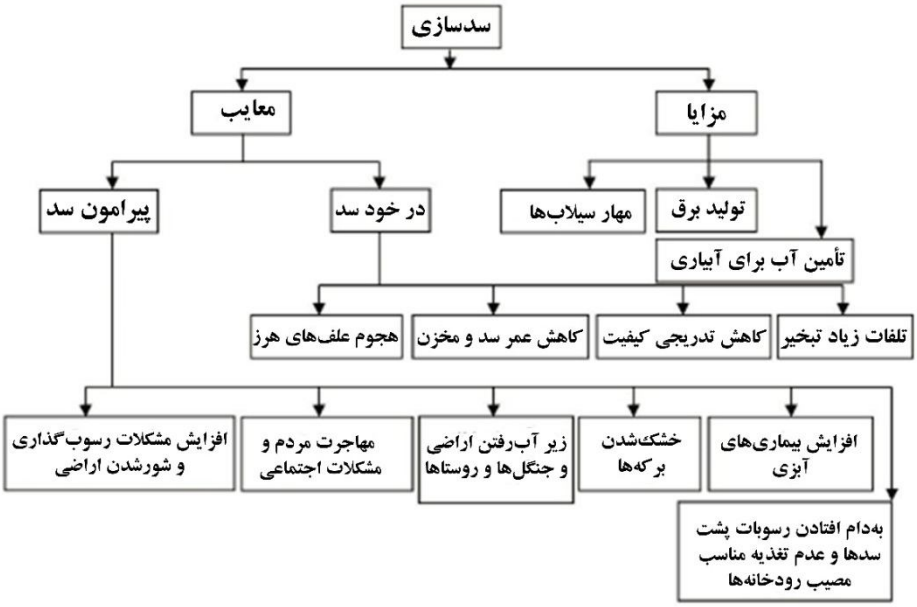
شکل ٦-١٦- طریقه شور شدن سفره‌های زیرزمینی

۶-۲-ذخیره‌سازی سطحی آب در مقیاس وسیع (احداث بندهای بزرگ و سدها)

مشکل بعدی مرتبط با منابع آب، ذخیره‌سازی سطحی آب در مقیاس بزرگ است که منظور ساخت سدها می‌باشد. سدها را می‌سازند تا سیلاب‌ها را کنترل کنند، تولید برق در آن‌ها صورت بگیرد و همین‌طور برای کشاورزی آب تأمین شود. اما مضراتی هم دارند، برخی از مضرات آن‌ها در خود سد است که در شکل ۶-۱۵ نشان داده شده است. زمانی که آب پشت سد جمع می‌گردد، مقدار زیادی از آن تبخیر می‌شود چون آب را بلافاصله نمی‌توانیم مصرف کنیم و باید نگهداری شود تا به‌تدریج استفاده کنیم. در طی این فاصله زمانی، مقدار زیادی آب مخصوصاً در کشور خشک و نیمه‌خشک مثل کشور ما تبخیر می‌شود و هدر می‌رود. زمانی که آب تبخیر می‌شود مقداری از آن‌که باقی می‌ماند کیفیتش کاهش می‌یابد، چرا؟ چون نمکی که در حجم زیادی از آب بوده حالا در حجم کمتری از آب قرار می‌گیرد و آب باقی‌مانده کیفیتش کاهش می‌یابد و شورتر می‌شود.

مشکل بعدی این است که عمر این سدها از آنچه که معمولاً فکر می‌کنند و محاسبه می‌شود، کمتر است. مثلاً فکر می‌کنند سد می‌تواند ۱۰۰ سال سرویس دهد ولی در عمل پس از ۳۰ سال با رسوبات پر می‌شود که ناشی از سیلاب‌ها و فرسایش است. هجوم علف‌های هرز یکی دیگر از مشکلات در سد یا خروجی‌های سد یا کانال‌هایی است که از سد به سمت مزارع کشیده می‌شوند. در پیرامون سد نیز مشکلات زیست‌محیطی ایجاد می‌شود که در شکل ۶-۱۵ نشان داده شده است. بیماری‌هایی که با آب ارتباط دارند مانند بیماری‌های آبزی افزایش پیدا می‌کنند. در پایین‌دست برکه‌ها خشک می‌شوند چون آب در بالادست نگه داشته شده است. در جایی که سد ساخته شده ممکن است اراضی با ارزش کشاورزی، جنگلی و یا حتی روستاها و مناطق سکونتگاه زیر آب بروند و یک عده از مردم باید مهاجرت کنند و جابه‌جا شوند که مشکلات اجتماعی و اقتصادی برای آن‌ها پیش می‌آید. همچنین از نظر شور شدن اراضی پایین‌دست سد، مسائل و مشکلاتی پیش می‌آید؛ یعنی آب زیادی فراهم می‌شود و در آبیاری استفاده می‌شود و اگر زهکشی مناسبی برای این اراضی انجام نشود ممکن است باعث شور شدن خاک آن اراضی شود. اگر زهکشی انجام شود و سپس هر سال یک‌بار با آب زیاد املاح را از خاک خارج کنند ممکن است که این اتفاق

صورت نگیرد.



شکل ٦-١٥- مزایا و معایب سدسازی

٦-٣-آلودگی منابع آب

مشکل بعدی آلودگی منابع آب است که در اثر کشاورزی ممکن است روی دهد. فهرست مواد آلاینده عبارتند از عناصر غذایی، آفت‌کش‌ها، نمک‌ها، رسوبات، مواد آلی، پاتوژن‌ها، فلزات و آلاینده‌های نوظهور (پلاستیک). در جدول ۶-۱ هرکدام از این موارد فهرست شده و توضیح مختصری راجع به آن‌ها داده شده است و اینکه بیشتر ناشی از تولید گیاهان زراعی[1] و یا دام[2] یا آبزی‌پروری[3] هستند. مثلاً آلودگی ناشی از عناصر غذایی بیشتر ناشی از تولید گیاهان زراعی و سپس دام‌ها است و به میزان کمتری ناشی از آبزی‌پروری می‌باشد.

[1] Crop
[2] Livestock
[3] Aquaculture

جدول ٦-١- فهرست برخی از آلودگی‌های منابع آب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی

گروه آلودگی	شاخص‌ها / مثال‌ها	ارتباط نسبی با		
		محصولات زراعی	تولید دام	آبزی‌پروری
عناصر غذایی	در درجه اول نیتروژن و فسفر موجود در کودهای شیمیایی و آلی و همچنین دفع حیوانات و به‌طور معمول در آب به‌صورت نیترات، آمونیاک یا فسفات یافت می‌شود.	***	***	*
آفت‌کش‌ها	علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و باکتری‌کش‌ها شامل ارگانوسفات‌ها، کاربامات‌ها، پیروییدها، آفت‌کش‌های ارگانوکلرین‌ها و سایر (بسیاری مانند ددت که در بسیاری از کشورها ممنوع شده‌اند ولی هنوز به‌صورت غیرقانونی استفاده می‌گردند).	***	*	*
نمک‌ها	مثل یون‌های سدیم، کلرید، پتاسیم، منیزیم، سولفات، کلسیم و بیکربنات. یا مستقیماً به‌صورت نمک‌های محلول کل یا به‌صورت غیرمستقیم از طریق هدایت الکتریکی در آب اندازه‌گیری می‌شود.	***	*	*
رسوبات	در آب به‌عنوان مواد جامد معلق یا واحدهای کدورت به‌ویژه از زه‌کشی تالاب هنگام برداشت اندازه‌گیری می‌شود.	***	***	*
مواد آلی	مواد شیمیایی یا بیوشیمیایی اکسیژن خواه (مثل مواد آلی مانند ماده گیاهی و فضولات دامی)	*	***	**
پاتوژن‌ها	شاخص‌های باکتری‌ها و پاتوژنی مانند باکتری اشریشیا کولای، مجموع باکتری‌های کلی فرم، مدفوع باکتری‌های کلی‌فرم و آنتروکوک	*	***	*
فلزات	مثل سلنیوم، سرب، مس، جیوه، آرسنیک و منگنز	*	*	*
آلاینده‌های نوظهور (پلاستیک‌ها)	مثل بقایای داروها، هورمون‌ها و مواد افزودنی خوراکی	–	***	**

میلیاردها تن کود و سم در کل دنیا در کشاورزی استفاده می‌شود که این‌ها به آب‌ها راه پیدا می‌کنند و آب‌ها را آلوده می‌کنند. همچنین ممکن است که نمک از زمین‌های کشاورزی به آب‌ها راه پیدا کند و باعث آلودگی آن‌ها شود. هر جایی که شوری آب بیشتر می‌شود ممکن است در اثر همان نمک‌هایی باشد که از طریق کشاورزی شسته شده و به منابع آب سطحی یا زیرزمینی راه پیدا کرده باشد. این شوری آب ابتدا تنوع زیستی را هدف قرار می‌دهد و آن را کاهش می‌دهد. یعنی اول جمعیت‌های میکروارگانیسم‌ها سپس جلبک‌ها و بعد گیاهان و در نهایت حیوانات را کاهش می‌دهد. پاتوژن‌ها عوامل بیماری‌زایی هستند که در کشاورزی وجود دارند. علاوه بر این، برخی بیماری‌هایی که دام‌ها و یا گیاهان دارند ممکن است که ناشی از قارچ‌ها باشد و مثلاً ممکن است که هاگ این قارچ‌ها در روی زمین و یا گیاه باقی بماند و بعد وارد آب شود و سپس به جای دیگری منتقل شود و گیاهان و دام‌های دیگری را آلوده کنند، حتی ممکن است که انسان‌ها را آلوده و بیمار کنند.

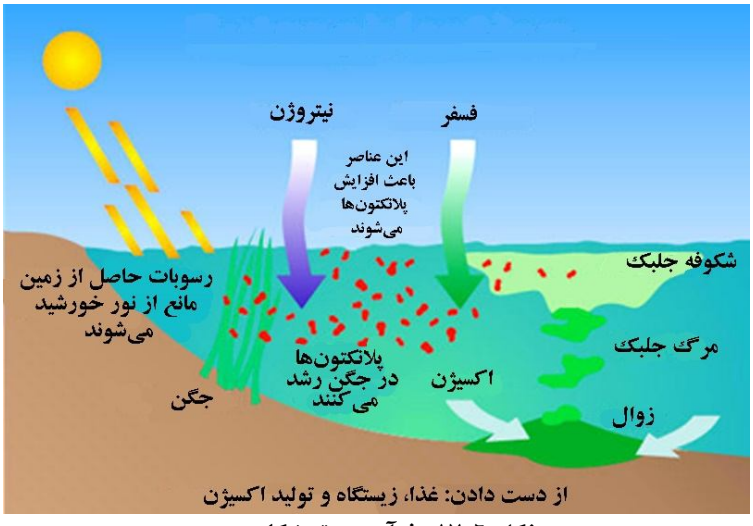
٦-٤-آلودگی منابع آب با عناصر غذایی - یوتریفیکاسیون[1]

یک نوع از آلودگی آب که بسیار مهم‌تر است و کشاورزی نیز در آن نقش زیادی دارد، آلودگی منابع آب با عناصر غذایی است که یوتریفیکاسیون نامیده می‌شود. شکل ۶-۱۶ پدیده یوتریفیکاسیون را نشان می‌دهد و هر جا چنین تصویری مشاهده شد، این اتفاق در آن جا افتاده است.

شکل ٦-١٦- پدیده یوتریفیکاسیون

[1] Eutrophication

نیتروژن که در کشاورزی استفاده می‌گردد و یا ممکن است به‌صورت طبیعی در خاک کشاورزی وجود داشته باشد در اثر آبشویی به منابع آب راه پیدا می‌کند. همین‌طور فسفری که در خاک وجود دارد ممکن است در اثر فرسایش از مزارع کشاورزی به منابع آب راه پیدا کند. راه پیدا کردن فسفر به منابع آب فقط از طریق کشاورزی صورت نمی‌پذیرد بلکه از طریق فاضلاب تیمار نشده، شوینده‌هایی که حاوی فسفر هستند و پساب‌های صنعتی نیز فسفر به منابع آب را پیدا کند. نیتروژن و فسفری که به منابع آب راه پیدا کرده‌اند، در آنجا باعث رشد بیش‌ازحد جلبک‌ها، پلانکتون‌ها و گیاهان آبزی می‌گردند و مقدار زیادی از آن‌ها در آب شروع به رشد می‌کنند و زمانی که می‌میرند بیوماس آن‌ها ته‌نشین می‌شود و سپس باکتری‌ها آن‌ها را تجزیه می‌کنند. باکتری‌ها به اکسیژن احتیاج دارند و اکسیژن زیادی را از آب می‌گیرند و یک حالت کم اکسیژنی یا بی‌اکسیژنی به وجود می‌آید که می‌تواند مرگ آبزیان و ماهیانی موجود در آب را به دنبال داشته باشد و آن‌ها را از بین ببرد. این اتفاقات پشت سر هم نتیجه‌ای شبیه شکل ۶-۱۷ به دنبال دارد. یعنی آب کیفیت خود را از دست می‌دهد و باعث می‌گردد که ماهی‌ها و یا سایر آبزیان موجود در آن از بین بروند.



شکل ٦-١٧- فرآیند یوتریفیکاسیون

در دنیا ۴۱۵ ناحیه ساحلی بزرگ شناسایی شده که دچار مشکلات یوتریفیکاسیون هستند و کشاورزی در آن‌ها نقش دارد. اما این‌که یوتریفیکاسیون چه تأثیری دارد؟ در پاسخ باید گفت که تنوع زیستی را کم می‌کند که بسیار مهم است. باعث سمیت آب می‌شود که این کار توسط جلبک‌هایی که در آب وجود دارند، انجام می‌گیرد. تهاجم گونه‌های جدیدی صورت می‌گیرد و همچنین صید و صیادی و شیلات کاهش پیدا می‌کند.

۶-۵-خلاصه

آب مایه حیات است و در کشاورزی نیز بسیار اهمیت دارد. تولیدی صورت نمی‌گیرد مگر این‌که آب وجود داشته باشد. کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب است و بیش از ۹۰ درصد منابع آب کشاورزی در مزارع و باغات مصرف می‌شود. مهمترین مشکل که در مورد زوال و تخریب منابع آب وجود دارد برداشت بیش‌ازحد آن است که مهمترین مشکل در کشور ما است. تقریباً هرگونه تخریب و خرابکاری که در محیط اطراف و طبیعت کشور مشاهده می‌گردد ناشی از برداشت بیش از حد آب است. مشکل دوم ذخیره‌سازی در مقیاس بزرگ است، منظور همان سدسازی‌هاست که در کشور ما نیز مخصوصاً از دهه ۷۰ تاکنون رونق گرفته است. هر جا که مشاهده شده است رودخانه و آبی وجود دارد به تصور اینکه تلف می‌شود، سدی ساخته‌اند تا مثلاً جلوی این تلفات آب را بگیرند درحالی‌که خود آن سد به عامل اصلی تلفات منابع آب و آلودگی آن تبدیل گردیده است. در کشور ما اضافه برداشت آب از همه مشکلات مرتبط با کشاورزی مهم‌تر است و همه چیز را در کشور ما تحت تأثیر قرار داده است. اضافه برداشت آب از طریق نابودی گسترده تنوع زیستی، افزایش فرسایش و سیلاب، فرونشست زمین، وقوع توفان‌های گردوغبار، بیابانی شدن، شور شدن خاک‌ها موجب زوال و نابودی سیستم‌های کشاورزی کشور می‌شود. حد ایمن برداشت آب برای کشاورزی کشور کمتر از ۴۰ میلیارد مترمکعب در سال است ولی برداشت کنونی در حدود ۸۶ میلیارد مترمکعب است؛ یعنی دو برابر حد مجاز برداشت صورت می‌گیرد. مشکل سوم نیز آلودگی منابع آب است.

٦-٦-ضمیمه

تولید گیاهی نیازمند آب زیادی است

رابطه رشد و تولید با مصرف آب در گیاهان: چون راه ورود CO_2 و خروج آب از گیاهان یکسان است (روزنه‌ها)؛ بنابراین در شرایطی که روزنه‌ها باز هستند و فتوسنتز در جریان است، به‌طور غیرقابل اجتناب، گیاهان آب از دست می‌دهد. حداقل آب از دست رفته در گندم در فصل بهار و سویا و ذرت در فصل تابستان که برای شرایط تبریز، اصفهان و اهواز محاسبه شده است، در جدول ۶-۲ ملاحظه می‌شود. اعداد بر حسب لیتر آب از دست رفته به ازای هر کیلوگرم ماده خشک تولیدشده، هستند. به عبارت دیگر اعداد نشان می‌دهند که چه میزان آب باید در تعرق از دست برود تا یک کیلوگرم ماده خشک تولید شود.

جدول ٦-۲- حداقل آب از دست رفته در گندم (لیتر بر کیلوگرم) در فصل بهار و سویا و ذرت در فصل تابستان که برای شرایط تبریز، اصفهان و اهواز محاسبه شده است.

محصول زراعی	تبریز	اصفهان	اهواز
گندم	۱۶۵	۲۴۵	۴۶۵
سویا	۴۱۵	۵۴۰	۱۰۱۰
ذرت	۲۰۵	۲۷۰	۵۰۵

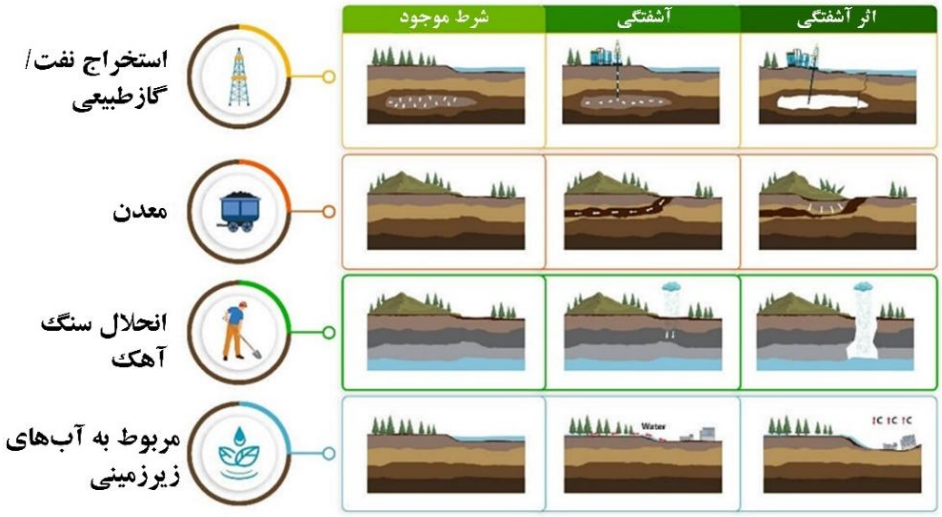
در محاسبه فرض شده است که تنها راه از دست رفتن آب، تعرق از گیاه باشد و هیچ‌گونه تلفات دیگر مثل تبخیر از خاک صورت نگیرد. واقعیت این است که برای تولید گیاهی، آب زیادی از گیاهان از دست می‌رود و هرچه هوا خشکار باشد، به ازای هر واحد ماده خشک بیشتری از دست می‌رود. تاکنون پیشرفت‌های ژنتیکی نتوانسته است این مقادیر را کمتر کند.

برخی آثار اضافه برداشت آب در کشور

شکل ٦-١٨- برخی آثار اضافه برداشت آب در کشور

فرونشست زمین

همان‌طور که بیان شد در فرونشست زمین عوامل مختلفی نقش دارد از جمله کشاورزی و سایر موارد که این سایر موارد در شکل ۶-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ٦-١٩- سایر عوامل فرونشست زمین

تکلیف درسی

۱-درخت مشکل برای «تغییر اقلیم: اثرات و پیامدها» تهیه کنید.

۲-با جستجو در منابع در حد یک صفحه مطلب مربوط به درس امروز تهیه کنید.

فصل هفتم
چه باید کرد؟ (اصول کشاورزی پایدار)

در بخش اول کتاب، از فصل ۱ تا ۶، راجع به مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی توضیح داده شد. در بخش دوم کتاب که از این فصل شروع می‌شود، به راه‌ها، روش‌ها و سیستم-هایی که به پایداری کشاورزی کمک می‌کنند، می‌پردازیم. در این فصل به معرفی کشاورزی پایدار و اصول آن پرداخته می‌شود.

۷-۱-چه باید کرد؟ راه‌حل چیست؟

چه باید کرد؟ راه‌حل مشکلات زیست‌محیطی که بیان شد چیست؟ گفته شد که فعالیت‌های بشر در ارتباط با طبیعت یا محیط‌زیست صورت می‌گیرد به این صورت که منابعی از محیط‌زیست برداشت می‌کند (مثلاً برای کشاورزی) و در اثر فعالیت‌ها، آلاینده‌هایی یا ضایعاتی به طبیعت وارد می‌کند. تا زمانی‌که این برداشت منابع و یا رها شدن آلاینده‌ها کم و یا به اندازه باشد، طبیعت می‌تواند آن‌ها را جذب کند و از فعالیت‌ها (مثل کشاورزی) پشتیبانی کند یا به پشتیبانی خود ادامه دهد (شکل ۱-۳). اما وقتی این برداشت منابع یا رها شدن آلاینده‌ها از حد خارج می‌شوند، طبیعت دیگر نمی‌تواند مثل گذشته از آن فعالیت‌ها پشتیبانی کند و خیلی از فعالیت‌ها مثل کشاورزی و در نتیجه زندگی بشر، به خطر می‌افتد. بنابراین، بایستی برای مشکلات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های بشر چاره‌ای اندیشیده شود.

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که در کشاورزی برای حفظ طبیعت و پایداری تولید چه باید کرد؟ پاسخ این است که باید کشاورزی پایدار انجام داد. کشاورزی پایدار چیست؟ به‌طور خلاصه

و به‌صورت ساده، کشاورزی است که می‌تواند غذای کافی و سالم تولید کند بدون آلوده کردن محیط و تخلیه‌ی منابع زمین، بدون این که نسل‌های آینده را قربانی کند و دسترسی آن‌ها به غذای کافی و سالم و محیط‌زیست سالم و شاداب را به خطر بیاندازد. چگونه کشاورزی پایدار می‌خواهد این کار را انجام دهد؟ پاسخ مختصر این است که تا حد امکان باید از اصول اکولوژی در کشاورزی استفاده کرد و نقاط قوت سیستم‌های طبیعی را به سیستم‌های کشاورزی منتقل کرد.

۷-۲-تاریخچه کشاورزی پایدار

تاریخچه کشاورزی پایدار بازمی‌گردد به زمانی که اولین مشاهدات و گزارشات از اثرات منفی فعالیت‌های بشر از جمله کشاورزی بر محیط‌زیست اعلام شد. در مورد کشاورزی معروف‌ترین این گزارشات و مشاهدات، کتابی به نام "بهار خاموش" به نویسندگی خانم کارسون است که در آن به این مشکلات اشاره نمود. البته کتاب‌ها و مقالات متعدد دیگری نیز وجود دارند اما کتاب ایشان معروف‌تر است و می‌توان کتاب بهار خاموش را نقطه‌ی عطفی دانست که باعث شد توجهات به اثرات زیست‌محیطی کشاورزی جلب شود. نکته‌ی تأکیدی این کتاب نیز استفاده از سموم بود، مخصوصاً سم «د د ت» که در آن زمان به‌صورت گسترده استفاده می‌گردید و بسیار سم ماندگار و قوی بود.

بعد از این گزارشات و نگرانی‌ها بود که کشاورزی پایدار شروع شد. در ابتدا نیز توسط کشاورزان کوچک، طرفداران محیط‌زیست و بعضی از دانشمندان کشاورزی آغاز شد. این افراد به دنبال روش‌های کشاورزی بودند که به محیط‌زیست آسیب نزند یا آسیب کمتری بزند و یا حتی محیط‌زیست را بهبود بخشد. این‌چنین بود که کم کم مفهومی به نام کشاورزی پایدار به وجود آمد.

اما ریشه این مشکلات زیست‌محیطی این بود که کشاورزی در قرن بیستم یعنی بعد از انقلاب صنعتی و به دنبال افزایش جمعیت، تولید صنعتی را الگوی خود قرار داد. همان‌طور که می‌دانید در تولید صنعتی به‌صورت خطی عمل می‌شود یعنی منابع را از محیط‌زیست برمی‌دارند و تولید (مثل خودرو) صورت می‌گیرد و بعد از این‌که محصول تولیدی کهنه و فرسوده شد، ضایعات آن را دفن

و معدوم می‌کنند. کشاورزی نیز سعی کرد این‌چنین عمل کند، یعنی در کشاورزی محصول تولیدشده، مصرف شود و سپس ضایعات آن دفن و معدوم گردد. اما سیستم‌های مزارع، بیولوژیک می‌باشند و مانند سیستم‌های مکانیکی کارخانه نیستند. بنابراین، در سیستم‌های کشاورزی آن طور عمل کردن می‌تواند به نتایج نامطلوبی منجر شود که شامل زوال یا تخریب طبیعت، افزایش وابستگی به منابع بیرونی (منظور بیرون از مزرعه است مثل سم و کود)، کم‌شدن تنوع در کشاورزی و همچنین دورشدن کشاورزان از جوامع روستایی (یعنی کشاورزان به سمت کشت و صنعت رفتند و آن مفهوم روستا و جوامع روستایی نیز تضعیف شد) می‌باشد.

۷-۳-دیدگاه‌ها در کشاورزی پایدار

در کشاورزی پایدار دو دیدگاه اصلی مطرح است. در دیدگاه اول افرادی بر این عقیده هستند که در کشاورزی پایدار هیچ‌گونه نهاده‌ی بیرونی مثل سم، مواد شیمیایی و مصنوعی استفاده نشود و فقط اگر سم و کودی یا هر نهاده دیگر که به صورت طبیعی وجود دارد، از آن استفاده شود. برای مثال، از سنگ گوگرد و سنگ فسفات به عنوان کود استفاده شود و همچنین از کود دامی و یا سمومی که می‌توان از مواد طبیعی استخراج نمود، استفاده شود. بعضی از جنبه‌های این دیدگاه بر اساس اصول علمی نیست و بر اساس باورها یا گاهی بر اساس خرافات است. این دیدگاه طرفدارهای خود را دارد و معتقد هستند که باید هر چه بیشتر به سمت همان نقطه‌ی اول حرکت کرد که بشر در گذشته‌های دور در طبیعت بوده است.

اما در دیدگاه دوم، افراد بر این عقیده هستند که برگشت به آن سیستم کاملاً طبیعی امکان‌پذیر نیست، چون نمی‌توان غذای کافی برای همه‌ی جمعیت بشر با آن سیستم‌ها تولید کرد. نظر دیدگاه دوم این است که هر چه بیشتر اصول اکولوژی وارد کشاورزی مدرن گردد و سعی شود تا نهاده کمتر وارد سیستم‌های کشاورزی گردد، مخصوصاً آن نهاده‌هایی که ضرر بزرگ‌تری برای محیط‌زیست دارند. به طور خلاصه نظر افراد در دیدگاه دوم این است که کشاورزی بر اساس اصول علمی انجام شود. هیچ اصول علمی نمی‌گوید که طوری کود یا سم مصرف شود که طبیعت آلوده گردد. آن چیزی که در این فصل و این کتاب مدنظر است نیز همین دیدگاه دوم است و

اصول آن در این فصل توضیح داده می‌شود. برای مطالعه بیشتر و مقایسه این دو دیدگاه به فصل نهم کتاب آرنون (ترجمه کوچکی و سلطانی، ۱۳۷۷) مراجعه شود.

۷-٤-تعریف و شرایط کشاورزی پایدار

کشاورزی پایدار یک سیستم تلفیقی است از عملیات‌هایی برای تولید گیاه و دام، خاص هر محل که در درازمدت به کار گرفته می‌شود. به تلفیقی بودن، خاص بودن برای هر مکان و عمومی نبودن برای همه جا و عامل درازمدت در تعریف دقت گردد که هرکدام از این اجزا اهمیت دارند. اما شرایط کشاورزی پایدار این است:

(۱) بتواند نیازهای بشر به غذا، علوفه، الیاف و نظیر این‌ها را تأمین کند که گیاهان و دام‌ها به همین منظور تولید می‌گردند.

(۲) کیفیت محیط‌زیست و منابع طبیعی که اقتصاد کشاورزی به آن تکیه دارد را بهبود دهد.

(۳) از منابع غیرقابل تجدید (مثل سوخت، انرژی، کود و سم) و منابع مزرعه به طور کارآمد استفاده شود (از طریق تلفیق با چرخه‌ها و کنترل‌های بیولوژیک در هر جایی که ممکن باشد).

(۴) پایداری اقتصادی مزرعه حفظ شود.

(۵)کیفیت زندگی کشاورزان و جامعه به‌طورکلی بهبود یابد.

۷-۵-اصول کلیدی مرتبط با پایداری در کشاورزی

اصول کلیدی مطرح‌شده در رابطه با پایداری در کشاورزی (یعنی پایداری در کشاورزی بر چه اصولی قرار گرفته است؛ پرتی[1]، ۲۰۰۸) عبارتند از:

۱- فرایندهای بیولوژیک و اکولوژیک در سیستم‌های کشاورزی گنجانده شوند، مانند:

- چرخه عناصر غذایی: به فرآیندهای چرخه‌ی عناصر غذایی در مزرعه توجه شود.
- تثبیت بیولوژیک نیتروژن: بر اثر همزیستی باکتری با ریشه در گیاهان بقولات انجام می‌شود.
- بازسازی خاک: یعنی کیفیت خاک بهتر گردد (به فصل ۱۱ رجوع شود).

[1] Pretty

- استفاده از آللوپتی[1]: یعنی مواد شیمیایی که از خود گیاهان به دست می‌آید که به آن مواد آللوپاتیک[2] می‌گویند علیه آفات استفاده گردد.
- استفاده از رقابت
- استفاده از روابط شکار- شکارچی
- استفاده از روابط انگل- میزبان

که این ۴ مورد آخر بیشتر برای کنترل آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز استفاده می‌شود. این موارد به تدریج در این فصل و یا فصول بعدی توضیح داده خواهند شد.

۲- از ورودی‌های خارجی کمتر و با دقت بیشتر استفاده شود، مثل ورودی‌های:

- غیرقابل تجدید: یعنی ورودی‌هایی که طبیعت این‌ها را تولید نمی‌کند و با برداشت آن‌ها از طبیعت دیگر جایگزین نمی‌شوند.
- ناپایدارکننده و زیان‌بار برای محیط‌زیست: یعنی ورودی‌هایی که باعث ناپایداری طبیعت می‌شوند یا به محیط‌زیست زیان وارد می‌کنند.
- زیان‌بار یا خطرناک برای سلامت کشاورز و مصرف‌کننده: یعنی ورودی‌هایی که به سلامت کشاورز و مصرف‌کننده آسیب می‌رساند.

۳- دانش و مهارت کشاورزان تقویت شود تا عملکرد و تولید آن‌ها بهبود یابد تا هم اعتماد به نفس و هم خوداتکایی آن‌ها افزایش پیدا کند.

۴- سعی شود از طریق همکاری و تعاونی افرادی که مهارت‌های مختلف دارند برای حل مشکلات مشترک کشاورزی و منابع طبیعی استفاده گردد مثل:

- مشکلات ناشی از آفات مانند آفاتی که در یک منطقه‌ی بزرگ ممکن است مشکل ایجاد کنند.
- مسائل مربوط به آبخیزداری، منابع آب و آبیاری
- حفظ محیط‌زیست و تنوع زیستی

---

[1] Allelopathy
[2] Allelopathic

- اعتبارات: یعنی آن بودجه‌ای که کشاورز قبل از برداشت نیاز دارد تا فعالیت‌های تولیدی را افزایش دهد.

در کشاورزی پایدار این‌ها اصول کلیدی هستند یعنی کشاورزی پایدار بر اساس این ۴ اصل بنا نهاده شده است.

۷-٦-نقاط قوت سیستم‌های طبیعی

سیستم‌های طبیعی نقاط قوتی دارند که بایستی به سیستم‌های کشاورزی مدرن اضافه شوند و شامل موارد زیر است که به صورت مختصر توضیح داده می‌شود:

۱- سیستم‌های طبیعی کارایی[1] بالا دارند:

- در این سیستم‌ها (مثل جنگل یا مرتع) انرژی خورشیدی توسط گیاهان دریافت و به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود و به سایر شکل‌های حیات (جانوران، قارچ‌ها، باکتری‌ها و ...) منتقل می‌شود. جانوران گیاهان را می‌خورند و جانوران دیگری از آن جانوران تغذیه می‌کنند و در این بین قارچ‌ها، میکروب‌ها و بسیاری از جانداران ریز و درشت دیگر غذا به دست می‌آورند و خدمتی را انجام می‌دهند.
- این سیستم‌های طبیعی در استفاده از انرژی خورشید، آب، عناصر غذایی و دوباره استفاده کردن یا چرخش این منابع خیلی کارآمد هستند.
- کمترین زوال در اثر تلف‌شدن عناصر غذایی را می‌توان در سیستم‌های طبیعی مشاهده نمود به عنوان مثال آبشویی و فرسایش در این سیستم‌ها بسیار اندک است.
- سیستم‌های طبیعی در نفوذ آب به داخل زمین و ظهور آن در چشمه‌ها و جویبارها به جای رواناب و فرسایش بسیار کارآمد و موفق عمل می‌کنند. همچنین سیستم‌های طبیعی در استفاده از منابع محیطی برای حیوانات و گیاهانی که در آن‌ها هستند، کارایی بالایی دارند.

[1] Effeciency

۲- سیستم‌های طبیعی تنوع بسیار زیادی دارند:

- تنوع[1] سیستم‌های طبیعی در روی و زیر خاک بسیار زیاد است.
- سیستم‌های طبیعی از کنترل‌ها و موازنه‌هایی که وجود دارد استفاده می‌کنند و برای این‌ها نیز به تنوع زیستی بسیار متکی هستند. این کنترل‌ها و موازنه‌ها به سیستم‌های طبیعی برای چرخش و فراهمی عناصر غذایی، کنترل آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز و گیاهان مهاجمی که ممکن است به این سیستم‌ها وارد شوند، نیز کمک می‌کنند.
- در سیستم‌های طبیعی به دلیل تنوع زیاد، روابط رقابت، شکار-شکارچی و انگل-میزبان بسیار رواج دارد و همین باعث می‌شود که بیماری و آفات در این سیستم‌ها کنترل شود. به عنوان مثال، جنگل‌ها و مراتع سمپاشی نمی‌گردند و هیچ‌وقت در اثر بیماری و آفت از بین نمی‌روند که به‌خاطر وجود همین کنترل‌های طبیعی و آن موازنه‌هایی که بین جانداران مختلف وجود دارد، می‌باشد.

۳- سیستم‌های طبیعی خودکفایی[2] بالایی دارند به این صورت که فقط به نور و بارندگی احتیاج دارند و به چیز دیگری احتیاج ندارند درحالی که در کشاورزی بایستی آب، کود، سم و مواد دیگر استفاده گردد تا تولید صورت گیرد.

۴- سیستم‌های طبیعی خودتنظیمی[3] دارند که به تنوع بالای موجود در آن‌ها باز برمی‌گردد و باعث می‌شود که بیماری‌ها و آفات به‌طور معمول شایع نشوند و مشکل ایجاد نکنند و غیر از آن مکانیسم‌های دفاعی نیز در گیاهان و حیوانات وجود دارد که به این خودتنظیمی کمک می‌کنند و از بیرون نیازی نیست که بشر دخالت کند و روابط این‌ها را تنظیم نماید تا یکی بر دیگری غلبه پیدا نکند یا دیگری را از بین نبرد بلکه خودشان این کار را انجام می‌دهند.

۵- تاب‌آوری[4] سیستم‌های طبیعی نیز بالاست: (تاب‌آوری در فصل ۲ توضیح داده شد) ممکن است اختلالی در سیستم طبیعی به وجود آید، سیستم نتواند تحمل کند و آسیب ببیند ولی

---

[1] Diversity
[2] Self-sufficiency
[3] Self-regulation
[4] Resilience

سیستم می‌تواند این آسیب را جبران کند و به حالت قبلی برگردد که تاب‌آوری نامیده می‌شود.

۷-۷-مقایسه ویژگی‌های اکوسیستم‌های طبیعی، مدرن و پایدار

جدول ۷-۱ ویژگی‌های اکوسیستم‌های طبیعی را با سیستم‌های مدرن و پایدار مقایسه می‌کند. اولین ویژگی اکوسیستم‌ها تولید است که در اکوسیستم‌های طبیعی متوسط، در اکوسیستم‌های مدرن کشاورزی بالا و در اکوسیستم‌های پایدار متوسط و احتمالاً زیاد می‌باشد. ویژگی دوم تنوع گونه‌ای است که در اکوسیستم طبیعی بالا و در اکوسیستم کشاورزی مدرن و پایدار به ترتیب کم و متوسط است. ویژگی سوم تنوع کارکردی است؛ تنوع کارکردی یعنی فعالیت‌های متنوعی در اکوسیستم وجود داشته باشد مثلاً فتوسنتز یک فعالیت است و یا چرخش عناصر مختلف و یا روابط درون اکوسیستم (شکار-شکارچی، انگل-میزبان و مشابه این‌ها) هر یک را می‌توان کارکرد در نظر گرفت. تنوع کارکردی و یا تنوع در تعداد کارکرد یا فعالیت‌ها در اکوسیستم‌های طبیعی، مدرن و پایدار به ترتیب زیاد، کم و متوسط تا زیاد است. از نظر ثبات خروجی، سیستم‌های طبیعی متوسط هستند و در سیستم‌های مدرن کم تا متوسط و در سیستم‌های پایدار زیاد است. ثبات خروجی یعنی تغییرات خروجی سیستم مثل تولید در سال‌های مختلف زیاد نباشد مثلاً یک سال خیلی کم و یک سال زیاد نباشد بلکه خروجی سیستم در سال‌های مختلف به هم نزدیک باشند. تجمع ماده خشک (بیومس) در سیستم‌های طبیعی زیاد، در سیستم‌های مدرن کم و در سیستم‌های پایدار متوسط تا زیاد است. از نظر چرخه عناصر غذایی، در سیستم‌های طبیعی چرخه عناصر غذایی بسته است و چیزی از بیرون وارد نمی‌شود، در سیستم‌های کشاورزی مدرن باز است یعنی از یک طرف عناصر غذایی وارد و از طرف دیگر از طریق محصول خارج می‌شوند و در سیستم‌های پایدار نیمه بسته است یعنی سعی می‌شود عناصر غذایی کمتری وارد شوند. از نظر روابط غذایی، در سیستم‌های طبیعی این روابط پیچیده هستند یعنی زنجیره‌های غذایی طولانی‌تر می‌باشند، در سیستم‌های مدرن ساده و در سیستم‌های پایدار سعی می‌شود این زنجیره‌های غذایی در حد متوسط باشد. از نظر تنظیم طبیعی جمعیت که منظور جمعیت آفات، گیاهان و جانوران مختلف می‌باشد، در سیستم طبیعی زیاد، در سیستم‌های مدرن کم و در سیستم پایدار متوسط تا زیاد است.

تاب‌آوری در اکوسیستم‌های طبیعی، مدرن و پایدار به‌ترتیب زیاد، کم و متوسط است. از نظر وابستگی به ورودی‌های خارجی در سیستم‌های طبیعی کم، در سیستم‌های مدرن زیاد و در سیستم‌های پایدار در حد متوسط قرار دارد. از نظر این که انسان فعالیت‌های اکولوژیک را جایگزین کرده باشد نیز در سیستم‌های طبیعی کم، در سیستم‌های مدرن زیاد می‌باشد و در سیستم‌های پایدار کم تا متوسط است. از نظر پایداری یعنی این که تولید در طول زمان کم نشود، در سیستم‌های طبیعی زیاد (یعنی پایداری زیاد است)، در سیستم مدرن کم و در سیستم‌های پایدار باید سعی شود که زیاد باشد.

جدول ۷-۱- مقایسه ویژگی‌های سیستم‌های طبیعی با سیستم‌های مدرن و پایدار (گلیسمن، ۲۰۰۷).

ویژگی	سیستم طبیعی	سیستم مدرن	سیستم پایدار
تولید	متوسط	زیاد	متوسط (احتمالاً زیاد)
تنوع گونه‌ای	زیاد	کم	متوسط
تنوع کارکردی	زیاد	کم	متوسط-زیاد
ثبات خروجی	متوسط	کم-متوسط	زیاد
تجمع بیومس	زیاد	کم	متوسط-زیاد
چرخه عناصر	بسته	باز	نیمه بسته
روابط غذایی	پیچیده	ساده	نیمه بسته
تنظیم طبیعی جمعیت	زیاد	کم	متوسط-زیاد
تاب‌آوری	زیاد	کم	متوسط
وابستگی به نهاده‌های خارجی	کم	زیاد	متوسط
جایگزینی انسان از فرایندهای اکولوژیکی	کم	زیاد	متوسط
پایداری	زیاد	کم	زیاد

آنچه گفته شد مقایسه‌ای از ویژگی‌های سیستم‌های طبیعی، مدرن و پایدار بود و آنچه که سعی می‌شود در کشاورزی پایدار به آن دست یافت. اما مهم‌ترین مسئله‌ای که به عنوان یک مشکل در این جا باید به آن توجه کرد این است که همان‌طور که در جدول ۷-۱ نشان داده شد، تولید سیستم‌های پایدار در مقایسه با سیستم‌های مدرن کمتر است بنابراین، اگر سیستم‌های کشاورزی

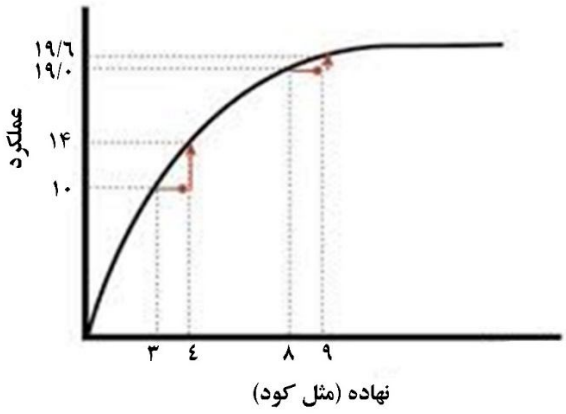
مدرن همه به پایدار تبدیل شوند، تولید پایین می‌آید. اکنون این پرسش مطرح می‌شود که چه باید کرد؟ در پاسخ می‌توان گفت برای جبران کاهش تولید می‌توان سطح زیرکشت را زیاد کرد تا این کاهش تولید جبران شود. اما برای این‌کار زمین بیشتری نیاز است که در دسترس نیست و در بسیاری از نقاط دنیا از قبل تمامی زمین‌ها زیرکشت رفته‌اند مگر این که دوباره به طبیعت دست‌درازی شود و با جنگل‌زدایی یا از بین بردن مراتع و جنگل‌ها، زمین افزایش یابد. به‌علاوه، ایجاد زمین‌های جدید اثرات زیست‌محیطی بسیار زیادی دارد درحالی که کشاورزی پایدار به دنبال کاهش اثرات زیست‌محیطی است. اگر عملکرد پایین بیاید و به ازای آن زمین بیشتری برای کشاورزی اضافه شود، این اضافه کردن زمین به طبیعت آسیب بیشتری می‌زند و اثرات زیان‌بار آن بیشتر است. بنابراین، باید راه دومی که عبارت از افزایش تولید در واحد سطح است، پیگیری گردد. برای این افزایش تولید در واحد سطح نیز طبیعتاً باید نهاده‌ی بیشتری و با کارآمدی بالاتر استفاده شود طوری که آسیب به محیط‌زیست در حداقل ممکن باشد که این کار سخت و دشواری است و آن را فشرده‌سازی پایدار یا فشرده‌سازی اکولوژیک می‌نامند (به فصل ۱۳ رجوع کنید).

۷-۸-استفاده کمتر از نهاده‌های بیرونی: بهینه‌سازی به‌جای حداکثرسازی

مورد دیگری که از اصول کشاورزی پایدار است و باید به آن توجه بیشتری شود این است که از نهاده‌های بیرونی کمتری استفاده شود. یک راه خوب که می‌شود انجام داد این است که به‌جای حداکثرسازی تولید، تمرکز روی بهینه‌سازی استفاده از نهاده گذاشته شود. برای توضیح بیشتر به شکل ۷-۱ دقت کنید. محور افقی میزان کود مصرف‌شده و محور عمودی عملکرد به دست آمده است. رابطه‌ی بین عملکرد با مصرف نهاده (مثل کود)، با یک رابطه‌ی درجه دوم یا نمایی مجانب قابل توضیح است که به آن رابطه بازده‌ی نزولی گفته می‌شود. بازده نزولی به این معنی است که شیب خط رابطه، با افزایش نهاده، کم و کمتر می‌شود. به عنوان مثال، در شکل ۷-۱ وقتی مقدار نهاده از ۳ به ۴ واحد (یعنی یک واحد) افزایش داده شده، عملکرد از ۱۰ به ۱۴ رسیده است یعنی ۴ واحد زیاد شده است؛ یعنی به ازای ۱ واحد افزایش نهاده عملکرد به میزان ۴ واحد افزایش پیدا

کرده است. اما در مقادیر بالاتر مثلاً وقتی مقدار نهاده از ۸ به ۹ واحد رسیده که باز هم یک واحد نهاده اضافه شده است، عملکرد از ۱۹ به ۱۹/۶ واحد افزایش یافته است یعنی ۰/۶ واحد افزایش عملکرد به ازای یک واحد نهاده مشاهده می‌گردد. در مقادیر بالاتر نهاده، شیب خط صفر است؛ یعنی نهاده اضافه می‌شود اما عملکرد افزایش پیدا نمی‌کند.

باید سعی شود که از این قاعده در کشاورزی پایدار استفاده گردد و از مقادیر بالای نهاده‌ها که بازده کمتری دارند، استفاده نشود. این مقادیر بالای نهاده‌ها افزایش محصولی که ایجاد می‌کنند کمتراست. در مقابل، بخش بیشتری از آن‌ها تلف شده و وارد محیط‌زیست می‌گردد و اثرات منفی بزرگی خواهد داشت. بنابراین، بایستی به جای اینکه هدف حداکثرسازی عملکرد باشد، تمرکز روی بهینه‌سازی استفاده از نهاده گذاشته شود.



شکل ۷-۱- بازده نزولی

تمرکز بر بهینه‌سازی به‌جای حداکثر سازی از نظر اقتصادی نیز شاید به صرفه باشد چون در علم اقتصاد گفته می‌شود که کاربرد نهاده تا جایی زیاد شود که هزینه‌ای که آخرین واحد نهاده ایجاد کرده برابر باشد با سودی که در اثر افزایش همان واحد به‌وجود می‌آید. به عنوان مثال، اگر هزینه آخرین واحد کودی که اضافه می‌شود ۱۰۰ تومان است، سود عملکردی حاصل از آن واحد آخر کودی نیز ۱۰۰ تومان باشد. از نظر اقتصادی تا این نقطه کاربرد نهاده (این جا کود)، به صرفه

است. در کشاورزی پایدار باید سعی شود که کاربرد نهاده در کمتر از مقدار لازم برای حداکثر شدن عملکرد باشد. آخرین واحدهای افزایش نهاده‌ها همان‌طورکه قبلاً بیان شد تلفات زیادی به همراه دارند که باعث افزایش آلودگی محیط‌زیست می‌شوند و همچنین کارایی استفاده از آن‌ها نیز پایین است.

۷-۹-دایره به جای خط

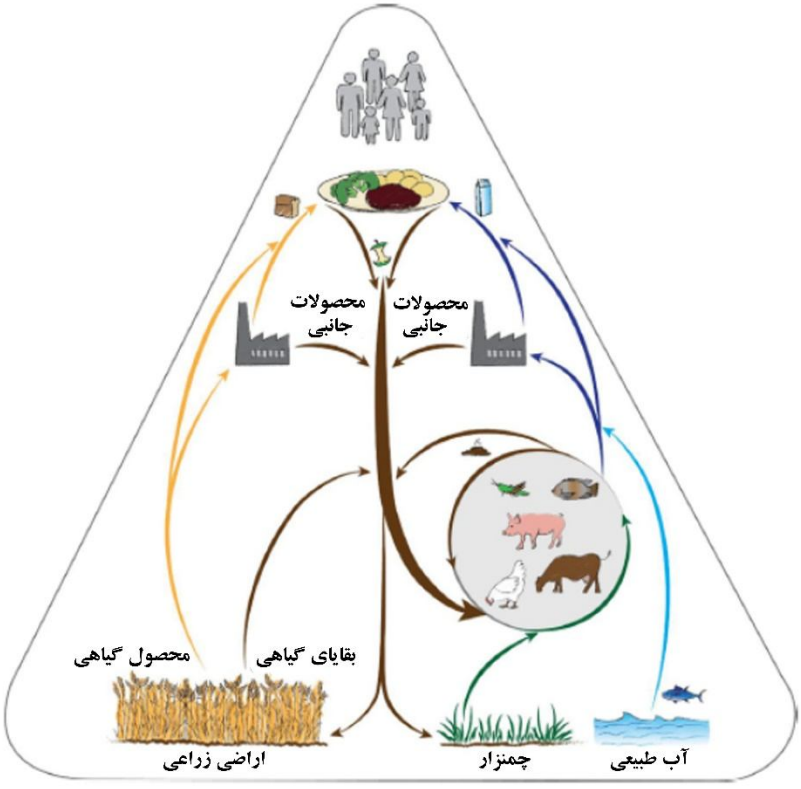
مورد بعدی از اصول کشاورزی پایدار که بایستی به آن در همه‌ی فعالیت‌های کشاورزی توجه شود، جایگزینی دایره به جای خط است. سیستم‌های خطی مواد را استخراج یا تولید می‌کنند و ضایعات را دفن یا دفع می‌کنند. اما در سیستم‌های پایدار باید سعی شود از منابعی که برداشته می‌شود تولید یا ساخت انجام گیرد، استفاده مجدد شود و سپس تولید مجدد صورت گیرد و بعد دوباره از باقی‌مانده‌ی بعدی نیز بازیابی انجام شود و در همان تولید یا جای دیگر استفاده گردد (شکل ۷-۲).

شکل ۷-۲- الف: سیستم دایره‌ای، ب: سیستم خطی

این نکته را نیز باید در ذهن داشت که از قاعده "دایره به‌جای خط" در هر جایی می‌توان استفاده نمود. به عنوان مثال یک مزرعه‌ی کدو در نظر بگیرید که برای تولید دانه‌ی کدو استفاده می‌شود. فرض می‌کنیم در این مزرعه برداشت کدو توسط دستگاه انجام می‌گیرد و این دستگاه کدوی برداشت شده را از دانه را جدا می‌کند و باقی‌مانده را به مزرعه برمی‌گرداند. این می‌تواند یک مثالی از سیستم دایره‌ای باشد. حال اگر کدو برداشت و از مزرعه خارج گردد و مثلاً در یک

کارگاهی دانه‌ها جدا شود و باقی‌مانده نیز دور ریخته شود و یا در جایی که زباله‌ها را می‌ریزند (لندفیل) دفن گردد، این می‌تواند حالتی از سیستم خطی باشد. در کشاورزی پایدار باید به دنبال این بود که تا حد امکان از حالت‌های دایره‌ای استفاده شود.

دام‌ها در دایره‌ای کردن سیستم‌های کشاورزی اهمیت زیادی دارند که در شکل ۷-۳ نشان داده شده است. وقتی دام به سیستم اضافه می‌گردد علاوه بر این که تنوع را افزایش می‌دهد، بسیاری از تلفات-ضایعات سیستم را می‌توان برای مصرف دام‌ها استفاده نمود؛ به عنوان مثال ضایعات ماهی‌ها و سایر گیاهان را می‌توان با فرآوری اندک به خوراک دام‌ها تبدیل کرد که این به چرخش و بازیابی موادی که قبلاً تلفات – ضایعات بودند، کمک می‌کند.



شکل ۷-۳- نقش دام‌ها در سیستم‌های دایره‌ای

۷-۱۰-دسته‌بندی روش‌های توصیه‌شده برای پایداری

در فصول بعدی روش‌هایی که برای پایداری وجود دارند و توصیه شده‌اند، توضیح داده خواهند شد. این روش‌ها را می‌توان به دسته‌جاتی تقسیم‌بندی کرد که عبارتند از:

۱- روش‌های اجتماعی-اقتصادی: از جمله این روش‌ها می‌توان موارد زیر را برشمرد:

- تنوع بخشیدن به کسب‌وکار: در کشاورزی پایدار بایستی سعی شود که به کسب‌وکارها تنوع داده شود. یعنی کشاورز فقط یک محصول تولید نکند و بتواند در کنار گیاهان مختلف، گیاهان دیگر و دام و طیور نیز تولید کند.
- یافتن بازارهای جدید فرای زنجیره عرضه موجود: کشاورز بتواند غیر از آن زنجیره‌ی فرضی (که مثلاً گندم تولید کند و به سیلو بدهد) بازار و مصارف جدید پیدا کند.
- بازاریابی مستقیم: در کشاورزی پایدار تا حد امکان بازاریابی مستقیم باشد یعنی چیزی که کشاورز تولید کرده به صورت مستقیم در اختیار مصرف‌کننده قرار بگیرد، مخصوصاً از طریق استفاده یا ایجاد بازارهای محلی.
- تشکیل تعاونی با دیگر کشاورزان: در کشاورزی پایدار تشکیل تعاونی‌ها اهمیت دارد تا کشاورزان بتوانند به یکدیگر کمک و هم‌افزایی کنند.
- افزایش ارزش با فرآوری در مزرعه: به عنوان مثال در مزرعه بر روی محصول یک کار اضافی صورت گیرد و سپس فروخته شود که درآمد بیشتری را نصیب کشاورز کند. برای مثال، اگر کشاورز سبزی تولید می‌کند، می‌تواند در مزرعه امکاناتی ایجاد کند، سبزی را شست‌وشو داده، پاک‌سازی نموده، بسته‌بندی کرده و عرضه نماید که درآمد بیشتری نصیب کشاورز می‌شود.

۲- کاهش فشار بر کشاورزی (به فصل ۸ رجوع کنید)

۳- کاهش ردپای کربن به منظور پیشگیری از تغییر اقلیم (به فصل ۹ رجوع کنید)

۴- بهبود تنوع زیستی و مدیریت پایدار آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز (به فصل ۱۰ رجوع کنید)

۵- مدیریت پایدار خاک (بازسازی خاک) (به فصل ۱۱ رجوع کنید)

۶- مدیریت پایدار آب (به فصل ۱۲ رجوع کنید)

۷- فشرده‌سازی اکولوژیک (افزایش بهره‌وری) (به فصل ۱۳ رجوع کنید)

هر یک از موارد بالا در یک فصل جداگانه توضیح داده خواهد شد.

بعضی از روش‌های توصیه‌شده در کشاورزی پایدار که در فصول مختلف از آن نام برده شده یا خواهد شد و مهم‌تر هستند عبارتند از:

۱- افزایش ماده آلی خاک

۲- خاک‌ورزی حفاظتی

۳- کاربرد مالچ‌ها

۴- کشت گیاهان پوششی

۵- استفاده از تناوب‌های پیچیده‌تر

۶- وارد کردن بقولات به تناوب زراعی

۷- افزایش کشت گیاهان دائمی

۸- جایگزینی تک‌کشتی با چندکشتی هر جا ممکن باشد

۹- استفاده از گیاهان و ارقام مقاوم به آفات محلی

۱۰- تلفیق تولید گیاه و دام

۱۱- استفاده از گزینه‌های کم خطرتر برای نهاده‌ها (مثلاً در استفاده از سموم، از آن‌هایی استفاده کنیم که خطر کم‌تری داشته باشد).

۱۲- تکمیل کاربرد کود شیمیایی با کود آلی (مثل کود دامی، کود سبز و نظیر این‌ها) هر جا که ممکن باشد.

۱۳- کنترل تلفیقی آفات

درباره این روش‌ها در فصول بعدی توضیح داده خواهد شد و در این‌جا فقط به صورت فهرستی از عواملی که در کشاورزی پایدار بر آن‌ها تأکید می‌شود، آورده شده‌اند. در کشاورزی پایدار بر اساس روش‌هایی که در شکل ۷-۴ (شکل جنبه تزیینی دارد) نشان داده‌شده است سعی می‌شود که پایداری افزایش پیدا کند. در مقابل اتفاقات دیگری هستند که پایداری را کاهش می‌دهند و باعث زوال و تخریب سیستم‌های کشاورزی می‌شوند.

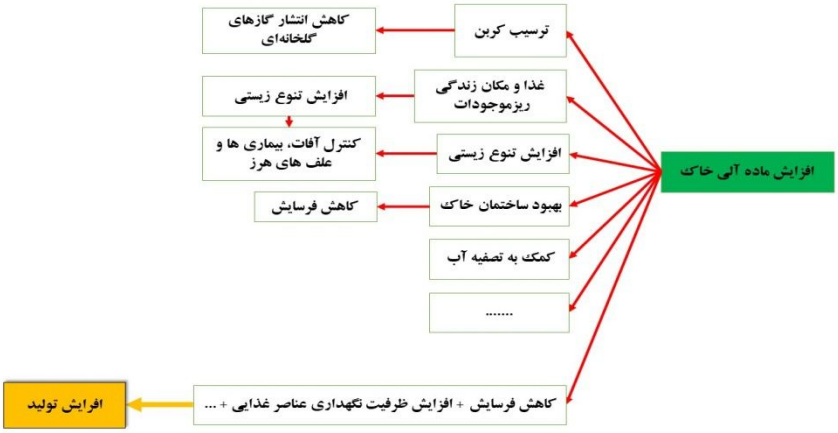
شکل ۷-٤- عوامل پایداری تولیدات اگرواکوسیستم و زوال و نابودی آن

۷-۱۱-همپوشانی و شبکه‌ای بودن روش‌های پایدارسازی

نکته‌ای که در ارتباط با روش‌های پایداری وجود دارد این است که این روش‌ها پیچیده و دارای پیوستگی با یکدیگر هستند و یا هم‌پوشانی دارند و شبکه‌ای هستند. برای مثال، افزایش ماده‌ی آلی خاک یک روشی است که در کشاورزی پایدار مورد تأکید است. افزایش ماده‌ی آلی خاک باعث افزایش ترسیب کربن می‌شود (یعنی ماده‌ی آلی خاک و کربن آن نیز افزایش می‌یابد) و این امر به کاهش تغییر اقلیم کمک می‌کند و جز روش‌هایی است که به کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کمک می‌کند. از طرف دیگر افزایش ماده آلی خاک باعث می‌شود که غذا و مکان برای زندگی ریز موجودات و میکروارگانیسم‌های درون خاک تأمین شود و تنوع زیستی افزایش پیدا کند. خود این تنوع زیستی که افزایش می‌یابد به کنترل آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز کمک می‌کند. علاوه بر این، در اثر افزایش ماده‌ی آلی، ساختمان خاک بهبود پیدا می‌کند و فرسایش خاک کاهش می‌یابد. افزایش ماده‌ی آلی خاک به تصفیه‌ی

آب نیز کمک می‌کند: آبی که از ماده‌ی آلی خاک عبور می‌کند، برخی از مواد آلاینده را در آن‌جا باقی می‌گذارد و تمیز می‌شود. افزایش ماده‌ی آلی خاک ممکن است فواید دیگری نیز داشته باشد که اینجا ذکر نشده‌اند. افزایش ماده آلی علاوه بر این‌که همه‌ی این فواید محیطی را به دنبال دارد، از طریق کاهش فرسایش، افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی خاک و نظیر این‌ها، در نهایت تولید را افزایش می‌دهد. مواردی مثل افزایش ماده‌ی آلی خاک را می‌توان گزینه طلایی نامید. در کشاورزی پایدار شناسایی این روش‌ها و استفاده از آن‌ها اهمیت بسیار زیادی دارد. در کشاورزی پایدار بایستی دنبال چنین مواردی بود که اثرات مثبت چندگانه دارند و تولید را نیز زیاد می‌کنند (شکل ۷-۵).

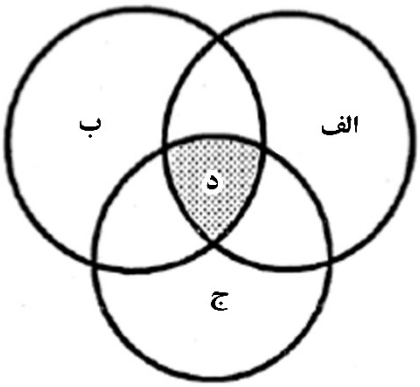
بنابراین، افزایش ماده آلی یک روش پایدارسازی است که می‌توان آن را در چندین دسته (قسمت ۷-۱۰) قرار داد. در فصول بعدی وقتی در هر یک از این دسته‌ها ذکر می‌شود ممکن است تکراری به نظر برسد و مقداری باعث سردرگمی شود ولی این امر کاملاً طبیعی است و این در واقع همان پیچیدگی می‌باشد که در سیستم‌های طبیعی وجود دارد و قرار است که در کشاورزی پایدار از آن استفاده شود. در کشاورزی پایدار معمولاً این‌طور است که یک عامل می‌تواند چند مشکل را با هم ایجاد کند و همچنین یک راه‌حل نیز می‌تواند چند مشکل را با هم حل کند. در این کتاب هر روش پایدارسازی در یک جا (یعنی در یک فصل کتاب) توضیح داده می‌شود و در جاها یا فصول دیگر که لازم باشد فقط اسم آن روش ذکر می‌شود.



شکل ۷-۵- هم‌پوشانی، شبکه‌ای و پیچیده بودن روش‌های پایدارسازی

۷-۱۲-شرایط موفقیت

هر روش بالقوه برای پایدارسازی برای این‌که موفق باشد و بتوان آن را به عنوان یک روش پایدار مورد استفاده قرار داد، باید سه ویژگی داشته باشد: اول این‌که خود این روش از نظر بیوفیزیکی یا از نظر اکولوژیکی دارای نقطه مثبت ثابت شده باشد؛ یعنی از طریق یک مکانیسمی یک اثر مثبت بیولوژیکی یا اکولوژیکی ایجاد کند (قسمت الف شکل ۷-۶). دوم این‌که به‌کارگیری این روش اقتصادی باشد (قسمت ب شکل ۷-۶) و سوم این که دارای پذیرش اجتماعی باشند (قسمت ج شکل ۷-۶).



شکل ۷-٦- الف: پایداری از نظر بیوفیزیکی، ب: اقتصادی بودن، ج: پذیرش اجتماعی و د: فصل مشترک هر ۳ ویژگی (Tisdell, 1995).

روش‌های متعددی وجود دارند که مثلاً اقتصادی هستند ولی پذیرش اجتماعی ندارند، یا اقتصادی هستند ولی خاصیت ایجاد پایداری ندارند، یا دارای خاصیت پایداری و اقتصادی هستند ولی پذیرش اجتماعی ندارند (به عنوان مثال استفاده از حشرات به عنوان غذا). در نهایت آن روش‌هایی موفق می‌شوند که هر سه ویژگی را با هم داشته باشند. متأسفانه با توجه به شکل ۷-۶ تعداد آن روش‌هایی که هر سه ویژگی را داشته باشند (قسمت د شکل ۷-۶)، یعنی فصل مشترک سه ویژگی، در مقایسه با کل روش‌هایی که وجود دارند، کم است و روش‌های زیاد و متعددی در

اختیار نیست.

چند نکته دیگر نیز در موفقیت روش‌های پایدارسازی اهمیت دارند که باید به آن‌ها توجه داشت: (۱) هیچ روشی را نمی‌توان استفاده کرد و به درد کشاورزی پایدار نمی‌خورد مگر آن‌که سود ده باشد. بهترین روش‌ها نیز وقتی سود ده نباشند مورد استفاده کشاورز قرار نمی‌گیرند. (۲) معمولاً در کشاورزی پایدار تکیه بر این است که مزارع کوچک و خانوادگی باشند اما باید توجه داشت که در کشور ما از قبل به خاطر قوانینی که در وراثت وجود دارد این مورد یعنی کوچک بودن مزارع خود به یکی از مشکلات کشاورزی کشور تبدیل شده است. یعنی در کتاب‌ها یا منابع کشاورزی پایدار مشاهده می‌شود که مثلاً تبدیل اراضی به مزارع کوچک خانوادگی مورد تأیید قرار گرفته است ولی این کوچکی تا کجا و تا چه محدوده‌ای قابل قبول است، مسئله مهمی است. بنابراین، کوچک‌تر شدن بیشتر قطعات زمین در کشور ما نباید رونق داده شود که در این صورت افزایش بهره‌وری در تولید بسیار سخت می‌گردد (به فصل ۱۳ مراجعه شود). برعکس، یکپارچه‌سازی زمین‌ها همراه با ایجاد پرچین‌ها و راهروها و ایجاد لکه‌های طبیعی قابل توصیه است (فصل ۱۰). (۳) در ارتباط با شرایط موفقیت، هر مزرعه‌ای ممکن است فرمول خودش را بخواهد و فرمول عمومی که بتوان در همه‌ی مزارع استفاده کرد وجود ندارد. بعضی از روش‌ها مثل افزایش ماده‌ی آلی خاک ممکن است همه جا به درد بخورند. اما منظور از فرمول، ترکیبی از روش‌های مختلف می‌باشد و فقط یک روش خاص نیست یعنی فرمول به معنای سیستم یا ترکیب چند روش است. این فرمول مناسب بایستی برای هر مزرعه‌ای پیدا شود و به همین دلیل کشاورزی پایدار یک مسیر سخت و فنّی است. (۴) مورد دیگری که در موفقیت روش‌ها مؤثر است بعد مکانی و زمانی به‌کارگیری آن‌هاست. اگر این روش‌ها دریک مزرعه پیاده شوند، ممکن است موفقیت به همراه نداشته باشند. باید سعی شود که در یک منطقه و در سطح چشم‌انداز با مشارکت تعداد زیادی از کشاورزان این روش‌ها اجرا شود. همچنین اکثر اوقات این روش‌ها بعد از چند سال جواب می‌دهند. اگر از روش‌های پایدارسازی انتظار نتیجه مثبت در همان سال اول وجود داشته باشد ممکن است که چنین پاسخی حاصل نگردد و باعث سرخوردگی در کشاورز، مروج و سایر دست‌اندرکاران گردد.

۷-۱۳-چارچوب به‌کارگیری روش‌ها در مزرعه

در کشاورزی پایدار، روش‌های مختلف در قالب یک چارچوبی به کار برده می‌شوند که در شکل ۷-۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اقدامات به چند قسمت تقسیم می‌شوند که با خطوط عمودی از یکدیگر جدا شده‌اند. یک‌سری اقدامات پیشگیرانه هستند که از قبل طراحی شده‌اند و باید قبل از کاشت و نیز در زمان کاشت صورت گیرند. یک مدیریت پس از کاشت که از قبل طراحی‌شده، نیز وجود دارد. سومین بخش مدیریت، واکنشی است که اگر در طول فصل رشد گیاه اتفاقی افتاد باید به آن واکنش نشان داد. بنابراین، اقدامات و برنامه‌ها در سه مرحله مرتب می‌شوند که دو مرحله آن طراحی شده از قبل است و یکی از آن‌ها واکنشی است. در هرکدام از این مراحل باید سعی شود که اقداماتی در بالای خاک و در زیر آن صورت بگیرد که به صورت زیر است:

۱- مدیریت پیشگیرانه قبل از کاشت تا زمان کاشت که به صورت زیر انجام می‌گیرد:

۱) انتخاب گیاه و یا رقم و مدیریت کاشت و حفظ یا بهبود وضعیت زیستگاه سایر جانداران در مزرعه و اطراف آن

۲) ایجاد خاک سالم یعنی حفظ و تقویت زیستگاه‌های درون خاک

در اثر موارد فوق شرایط لازم برای سلامت گیاه در روی و درون خاک به منظور تقویت مکانیسم‌های دفاعی و تضعیف آفات و تقویت جانداران مفید خاک‌زی ایجاد می‌گردد.

۲- مدیریت برنامه‌ریزی‌شده پس از کاشت به صورت زیر انجام می‌شود:

۱) آفات را بایستی در طول فصل مدیریت و یا پیشگیری نمود.

۲) در طول فصل بایستی برای کاهش تنش‌های وارده به گیاه (مثل تنش آبی) و یا بهینه‌سازی کمیت عملکرد و کیفیت آن برنامه‌ریزی و مدیریت انجام گیرد.

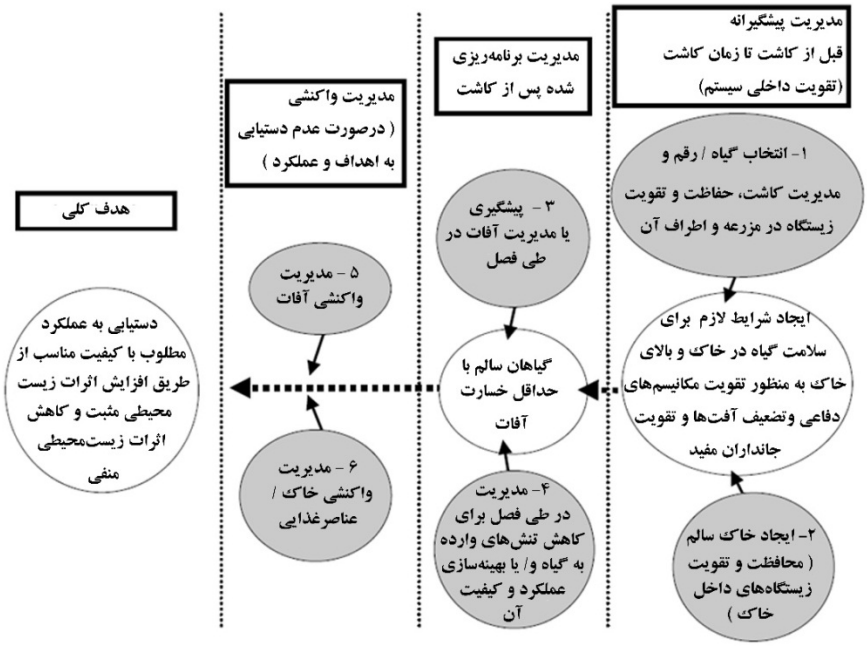
در اثر دو مورد بالا گیاه سالم با حداقل خسارت آفات رشد می‌کند.

۳- مدیریت واکنشی انجام شود که به صورت زیر است:

۱) اگر انتظار می‌رود در اثر وقوع آفات به عملکرد مورد نظر دست پیدا نکنیم باید اقدامات مناسب انجام گیرد که بتوان آن‌ها را کنترل نمود.

۲) اگر عناصر غذایی خاک کافی نیست یا علایم کمبود مشاهده شدند باید کوددهی مناسب انجام گیرد.

به‌طورکلی باید در ذهن داشت که اقدامات در کشاورزی پایدار در سه مرحله تنظیم می‌شوند که در هر مرحله هم به روی و هم به درون خاک توجه می‌شود. یعنی برای انجام اقدامات در کشاورزی پایدار از نظر زمانی سه گام و از نظر مکانی نیز روی و درون خاک وجود دارد که در نهایت عملکرد مناسب با کیفیت مطلوب به دست می‌آید که نه تنها اثرات منفی کمتری برای محیط‌زیست دارد بلکه می‌تواند دارای اثرات مثبت بر محیط‌زیست باشد.



شکل ۷-۷-چارچوب به‌کارگیری روش‌ها در مزرعه (Magdoff, 2007)

۷-۱۴-هدف‌گذاری اتحادیه اروپا و چین برای پایداری کشاورزی

در این بخش به برخی از هدف‌گذاری‌هایی که بعضی از کشورهای مهم شامل اتحادیه‌ی اروپا، چین و آمریکا برای کشاورزی پایدار انجام داده‌اند، اشاره می‌شود. اتحادیه‌ی اروپا که در زمینه‌ی

محیط‌زیست قوی عمل می‌کند، در سال ۲۰۲۰ برای سال ۲۰۳۰ یک‌سری اهدافی را اعلام کرده است که برخی از آن‌ها عبارتند از:

۱- ۲۵ درصد کشاورزی از نوع کشاورزی ارگانیک باشد (به فصل ۱۴ رجوع شود).

۲- استفاده از آفت‌کش‌ها ۵۰ درصد کاهش یابد.

۳- استفاده از کودهای شیمیایی ۲۰ درصد کاهش یابد.

۴- تلفات عناصر غذایی ۵۰ درصد کاهش یابد.

۵- استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها یا آنتی‌میکروب‌ها در کشاورزی و آبزی‌پروری ۵۰ درصد کاهش یابد.

۶- برچسب‌زنی[1] پایدار ایجاد کنند که در اثر آن تلفات همه چیز شامل تلفات نهاده‌ها (کود، عناصر غذایی، سموم) کاهش یابد.

۷- تلفات محصولات و مواد غذایی ۵۰ درصد کاهش یابد.

۸- مبلغ ۱۰ میلیارد یورو را برای تحقیق و توسعه اختصاص یابد.

کشور چین نیز هدف‌گذاری کرده است که ۵۰ درصد مصرف گوشت را کاهش دهد. آمریکا نیز برنامه‌های منظمی در این زمینه دارد شامل کمک‌های فنّی و مالی برای کسانی که قصد دارند همراه با کشاورزی، فعالیت‌های حفاظت از محیط‌زیست را نیز داشته باشند.

ممکن است سؤال شود کاهش ۵۰ درصدی تلفات مواد غذایی در هدف‌گذاری اتحادیه‌ی اروپا و کاهش ۵۰ درصدی مصرف گوشت در کشور چین چه ارتباطی به کشاورزی پایدار دارد؟ یا این‌که گوشت کمتر یا بیشتر مصرف شود و یا این‌که مواد غذایی کمتر و یا بیشتر تلف شوند، چگونه در پایداری کشاورزی تأثیر دارد؟ در فصل ۸ به این دو مورد پرداخته می‌شود.

[1] Labeling

۷-۱۵-خلاصه

کشاورزی پایدار روش یا رهیافتی است که بتوان با آسیب کم یا بدون آسیب رساندن به محیط‌زیست و یا حتی بهتر کردن کیفیت محیط‌زیست، تولید انجام داد. مهم‌ترین اقدامات عبارتند از: (۱) نهاده‌های کمتری مصرف شود (نهاده‌های بیرونی که از خارج مزرعه می‌آید)، (۲) نقاط قوت سیستم‌های طبیعی به کشاورزی وارد گردد، (۳) از چرخه‌ها و کنترل‌های بیولوژیک و (۴) یا از آن مکانیسم‌هایی که به‌صورت طبیعی وجود دارد استفاده شود و در نهایت عملکرد مطلوب با کیفیت مناسب از طریق افزایش اثرات مثبت زیست‌محیطی و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی به دست آورده شود.

تکلیف درسی

۱- برای این فصل یک خلاصه نموداری تهیه کنید.

فصل هشتم
کاهش فشار بر کشاورزی

در بخش دوم کتاب به راه‌ها و سیستم‌هایی که به پایداری کشاورزی کمک می‌کنند پرداخته می‌شود. یک دسته از این راه‌ها مبتنی بر کاهش فشار بر کشاورزی می‌باشند که در این فصل توضیح داده خواهند شد.

همان‌گونه که قبلاً بیان شد مشکلات زیست‌محیطی در اثر افزایش جمعیت و بهبود رفاه اتفاق افتاده است طوری که در اثر این دو عامل نیاز به تولیدات گیاهی زیاد شده است و این نیاز بیشتر به تولیدات گیاهی فشار بر کشاورزی را تشدید نموده و در پی آن کشاورزی تولیدات خود را افزایش داده است که این باعث فشار بیشتر بر محیط‌زیست شده است و در نتیجه پایداری دچار اختلال شده و زیر سؤال قرار گرفته است. یکی از راه‌حل‌های رفع این مشکل این است که به جای افزایش تولیدات کشاورزی، نیاز و تقاضا برای این تولیدات کاهش یابد. چراکه وقتی تقاضا برای محصولات کشاورزی کاهش می‌یابد، نیاز به منابع (مثل زمین و آب) و نهاده‌ها (مثل کودها، سموم و بذور) نیز کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه از محیط برداشت کمتری صورت گرفته و آلودگی‌های کمتری به محیط‌زیست رها می‌شود.

اکنون سؤال این است که چگونه می‌توان این تقاضا را کم کرد؟ در پاسخ باید گفت که این کاهش تقاضا دو راه‌حل اصلی دارد:

(۱) تلفات[1] و ضایعات[2] محصولات کشاورزی کاهش داده شود.

---

[1] Loss
[2] Waste

(۲) رژیم غذایی[1] به سمت گیاه‌خواری بیشتر تغییر یابد.

بایستی به این نکته اشاره شود که مبحثی که در این فصل بیان می‌شود، بخشی در خود کشاورزی صورت می‌گیرد ولی بخش دیگری در بیرون از کشاورزی باید انجام پذیرد. بخشی از تلفات-ضایعات در کشاورزی صورت می‌گیرد و بخش دیگری از آن در سایر بخش‌ها رخ می‌دهد. ممکن است گفته شود امکان تغییر رژیم غذایی مردم توسط کشاورزی وجود ندارد که این امری صحیح است ولی از آن‌جایی که موضوع مهمی است بهتر است که از آن اطلاع و آگاهی داشت و در این جا مطرح می‌شود.

۸-۱-تلفات-ضایعات

کاهش در کیفیت و یا کمیت مواد غذایی که برای مصرف در نظر گرفته شده در هر جای زنجیره تأمین غذا[2] را تلفات و ضایعات می‌گویند (زنجیره تأمین غذا در همین فصل توضیح داده خواهد شد). این کاهش در کمیت و کیفیت ممکن است تصادفی باشد یعنی دست بشر نباشد و یا خودبه‌خود صورت پذیرد. در برخی موارد نیز توسط بشر رخ می‌دهد یعنی به صورت عمدی انجام می‌گیرد (به عنوان مثال آن مقدار غذایی که خورده نمی‌شود و دور ریخته می‌شود). این تلفات-ضایعات به هر صورتی که رخ دهد (یعنی چه به‌صورت عمدی و چه تصادفی) باعث کاهش میزان عرضه یا تأمین می‌گردد. به عبارت بهتر، برای این‌که آن تلفات و ضایعات جبران شده و پوشش داده شود، بایستی مقدار بیشتری تولید انجام گیرد که پس از وقوع تلفات-ضایعات، مقدار لازم به دست مصرف‌کننده برسد.

اکنون این سؤال مطرح می‌شود که تلفات و ضایعات چه فرقی با یکدیگر دارند؟ تلفات-ضایعات تعاریف متعددی دارند که در اینجا به آن اشاره نمی‌گردد ولی برای روشن شدن تفاوت بین تلفات و ضایعات، یک مثال ارائه می‌شود. به عنوان مثال، فرض کنید یک کارتن موز که بار کامیون شده است به صورت تصادفی از ماشین به پایین می‌افتد و راننده نیز متوجه آن نمی‌شود و از بین می‌رود. این را تلفات می‌گویند. اما یک کارتن موز که فروشنده مشاهده می‌کند که سیاه و یا

[1] Diet
[2] Food supply chain

خال‌دار شده است و آن را به خاطر این که مشتری‌پسند نیست در سطل زباله می‌اندازد، این را ضایعات یا دورریز می‌گویند. با این مثال سعی شد که تفاوت بین تلفات و ضایعات روشن گردد ولی در حالت کلی این دو از یکدیگر مجزا نیستند و یک‌جا در نظر گرفته می‌شوند یعنی هر چیزی که می‌توانست خورده شود و خورده نشده است را تلفات-ضایعات می‌گویند که از برداشت در مزرعه تا زمان مصرف سر سفره ممکن است اتفاق بیافتد. تلفات-ضایعات در تمامی این مراحل که به آن زنجیره تأمین غذا گفته می‌شود، روی می‌دهد. حدود یک میلیارد نفر در دنیا دچار سوءتغذیه و گرسنگی هستند. این در حالی است که یک سوم غذایی که تولید می‌گردد، تلف شده و هدر می‌رود. بنابراین، تلفات-ضایعات یک موضوع مهم می‌باشد. یک میلیارد نفر یک سوم جمعیت دنیا نیست اما میزان غذایی که تلف می‌شود یک‌سوم غذای تولیدی است یعنی اگر تلفات و ضایعات کاهش می‌یافت، مشکل گرسنگی این یک میلیارد نفر رفع می‌شد.

۸-۱-۱-تلفات-ضایعات در زنجیره تأمین/ عرضه غذا

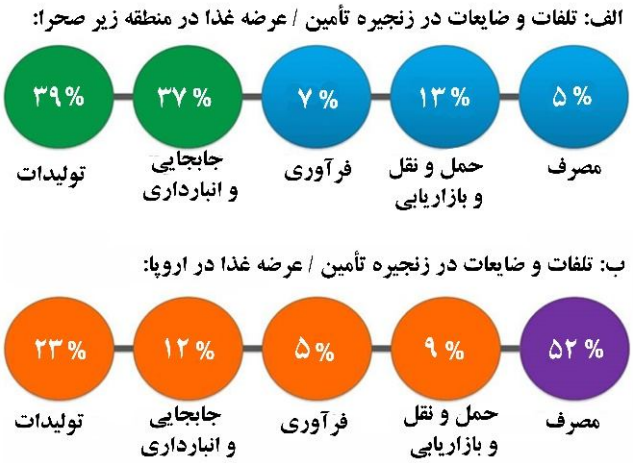
زنجیره تأمین غذا شامل مراحلی است که در شکل ۸-۱ نشان داده شده‌اند که شامل (۱) مرحله تولید است که در دامداری‌ها یا مزارع انجام می‌گیرد. (۲) مرحله جابجایی و انبارداری تولیدات یا محصولات است. (۳) مرحله فرآوری محصولات است. (۴) مرحله حمل و توزیع محصولات است. (۵) مرحله عرضه محصولات در فروشگاه‌ها و خرده‌فروشی‌ها است. (۶) مرحله مصرف محصولات می‌باشد.

شکل ۸-۱- زنجیره تأمین یا عرضه غذا

همان‌گونه که بیان شد در طول زنجیره تأمین یا عرضه غذا تلفات-ضایعات صورت می‌گیرد که مقدار این تلفات-ضایعات متفاوت است و اطلاع و آگاهی از آن برای کاهش این هدرروی بسیار اهمیت دارد. در شکل ۸-۲ میزان تلفات-ضایعات در دو منطقه با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته است. قسمت الف شکل ۸-۲ درصد تلفات-ضایعات در زنجیره تأمین غذا در منطقه‌ی آفریقای زیر صحرا نشان داده شده است. در شمال قاره‌ی آفریقا صحرای بزرگ آفریقا قرار دارد که به منطقه زیر آن، آفریقای زیر صحرا[1] گفته می‌شود. در قسمت ب شکل ۸-۲ درصد تلفات-ضایعات در زنجیره تأمین غذا در قاره اروپا نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد تلفات-ضایعات در منطقه آفریقای زیر صحرا به صورت ۳۹ درصد در هنگام برداشت، ۳۷ درصد در جابجایی و انبارداری، ۷ درصد در فرآوری، ۱۳ درصد در توزیع و ۵ درصد در هنگام مصرف رخ می‌دهد. چون امکانات این منطقه کم می‌باشد، در موقع برداشت، جابجایی و انبارداری تلفات زیادی صورت می‌گیرد. در مقابل در اروپا میزان تلفات-ضایعات به صورت ۲۳ درصد در برداشت، ۱۲ درصد در جابجایی و انبارداری، ۵ درصد در فرآوری، ۹ درصد در توزیع و ۵۲ درصد در هنگام مصرف اتفاق می‌افتد.

در بیشتر موارد کل تلفات-ضایعات در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته مشابه است ولی محل وقوع آن متفاوت می‌باشد. در کشورهای در حال توسعه (مثل منطقه آفریقای زیر صحرا)، تلفات-ضایعات در مراحل ابتدایی زنجیره تأمین غذا (یعنی برداشت و جابجایی و حمل نقل اتفاق) بیشتر است، درحالی که کشورهای توسعه‌یافته (مثل اروپا) این بخش را مدیریت کرده‌اند و در مرحله مصرف (در خانه‌ها و رستوران‌ها) تلفات-ضایعات زیادی صورت می‌پذیرد. بررسی‌ها نشان داده است که در کشورهای درحال توسعه ۴۰ درصد تلفات-ضایعات در مراحل برداشت و فرآوری صورت می‌گیرد در حالی که در کشورهای توسعه‌یافته ۴۰ درصد تلفات-ضایعات در مراحل توزیع و بازار (خرده‌فروش‌ها) و مصرف اتفاق می‌افتد؛ یعنی میزان تلفات یکسان است ولی مرحله‌ای که روی می‌دهد متفاوت است.

[1] Sub-Sahran Africa



شکل ۸-۲- مقایسه تلفات و ضایعات زنجیره تولید در الف: منطقه آفریقای زیرصحرا و ب: اروپا

در جدول ۸-۱ دلایل تلفات-ضایعات در مراحل مختلف زنجیره تأمین و راه‌کارهای کاهش آن نشان داده شده است که البته در این جا به جزئیات پرداخته نمی‌شود. دلیل تلفات-ضایعات در برداشت شامل چه مواردی است یا چرا اتفاق می‌افتد؟ می‌توان پاسخ داد که ممکن است بیش از نیاز کشت صورت گرفته باشد؛ مثلاً در یک سال سیب‌زمینی و در سال دیگر پیاز زیاد کشت می‌گردد و این افزایش عرضه محصولات، قیمت آن‌ها را کاهش می‌دهد که انگیزه کشاورز جهت برداشت محصول از بین می‌رود و آن را برداشت نمی‌کند در نتیجه بخش زیادی از محصول هدر می‌رود یا دور ریخته می‌شود. علاوه بر مسائل اقتصادی، ممکن است که دستگاه‌های برداشت مانند کمباین تنظیم نباشند و یا دستگاه فرسوده و مستهلک باشد و یا ممکن است دستگاه وجود داشته باشد ولی افراد فنّی وجود نداشته باشند که بتوانند با آن وسایل کار کنند و در نتیجه در این مرحله تلفات-ضایعات رخ دهد. همچنین در جابه‌جایی و انبارداری ممکن است که جاده‌های مناسبی در دسترس نباشد و مزارع دور از محل مصرف و یا انبار واقع شده باشند. ممکن است تولیدات در مسیر جابجایی آسیب ببیند و یا انبار مناسبی برای آن‌ها وجود نداشته باشد و دچار خسارت شوند. راه‌های کاهش این تلفات-ضایعات در مراحل مختلف در زنجیره تأمین نیز در جدول ۸-۱ ذکر شده است.

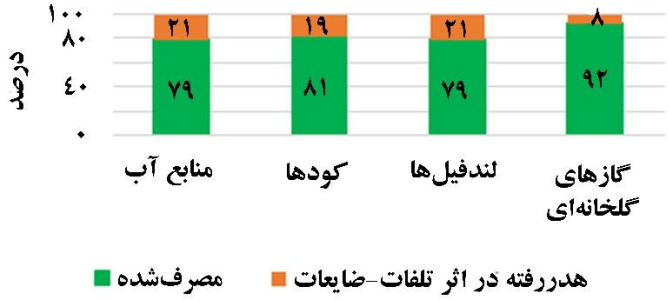
در اینجا ذکر این نکته اهمیت دارد که برآوردهایی که تاکنون انجام گرفته نشان داده است که حداکثر می‌توان ۵۰ درصد تلفات-ضایعات را کاهش داد؛ یعنی نباید تصور شود که امکان حذف کامل تلفات-ضایعات وجود دارد.

جدول ۸-۱- دلایل تلفات و ضایعات در مراحل مختلف زنجیره تأمین و راه‌کارهای کاهش آن

مراحل زنجیره تأمین	دلایل تلفات و ضایعات	راهکارهای کاهش تلفات و ضایعات
مصرف: در منزل یا محل کار شامل رستوران‌ها و مراکز تهیه غذا	خورده نشدن فقدان آگاهی	راه‌اندازی چالش‌های آموزش مصرف‌کنندگان بهبود مهارت‌های پخت‌وپز توسط مصرف‌کنندگان کاهش اندازه قطعات مواد غذایی خوردن مواد غذایی «نازیبا»
توزیع و بازار: در جریان توزیع به بازار شامل عمده و خرده‌فروش‌ها	برچسب‌های تاریخ مصرف (غیردقیق)	تسهیل اعطای کالاهای فروش نرفته به نیازمندان ارائه اطلاعات روش‌های ذخیره و مهیاسازی به مصرف‌کنندگان تجدیدنظر در برچسب‌های تاریخ مصرف تغییر تبلیغات فروشگاهی
فرآوری و بسته‌بندی: در جریان آماده‌سازی و فرآوری صنعتی و یا بسته‌بندی	استانداردهای غیرضروری آسیب در فرآوری و بسته‌بندی	مهندسی مجدد فرآیندهای ساخت بهبود مدیریت زنجیره عرضه بهبود بسته‌بندی برای نگهداری تازه‌تر و طولانی‌تر
جابه‌جایی و ذخیره‌سازی: بعد از ترک مزرعه و در جریان جابه‌جایی، ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل	انبارداری نامناسب یا به مدت طولانی‌مدت آسیب در حمل‌ونقل و انبارداری	بهبود تکنولوژی انبارداری (مثل سردکن‌های تبخیری، کیسه‌های ذخیره‌سازی، سیلوهای فلزی، جعبه) استفاده از زنجیره سرد با کربن پایین بهبود روش‌های جابه‌جایی بهبود زیرساخت‌ها (جاده و حمل‌ونقل)
برداشت: در حین یا بلافاصله پس از برداشت	کشت بیش از نیاز بازار عدم برداشت به دلیل اقتصادی ریزش یا آسیب در برداشت	ترویج روش‌های استفاده از محصولات فاقد بازار فروش بهبود خدمات ترویج کشاورزی بهبود دسترسی به زیرساخت‌ها بهبود زمان و روش برداشت

۸-۱-۲-تلفات - ضایعات: هدر رفتن منابع به ازای آلودگی‌های رخداده

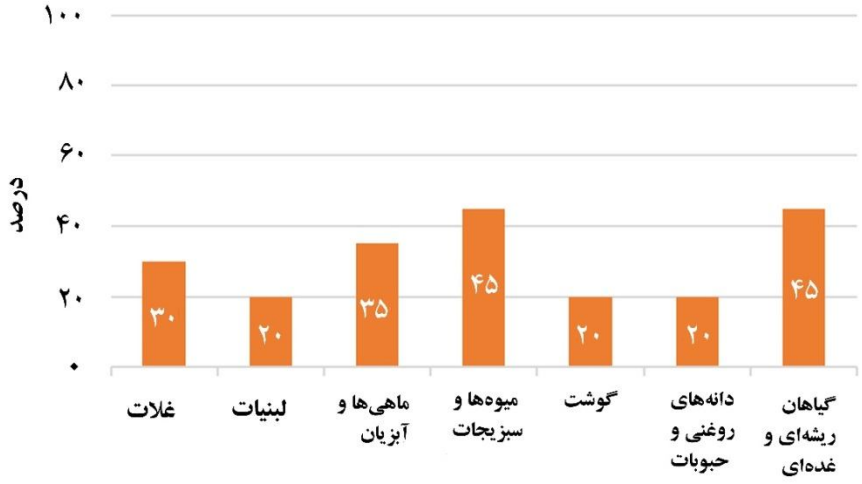
نکته دیگری که اهمیت بسیار زیادی دارد این است که وقتی تلفات یا ضایعات اتفاق می‌افتد، بدان معنی است که منابعی که برای تولید استفاده شده است، هدر رفته‌اند. به عنوان مثال، برای تولیدات کشاورزی منابع (مثل آب و زمین) و نهاده (مثل سم و کود و بذر) استفاده می‌شود و در مراحل تولید آن‌ها آلاینده‌هایی (مانند گازهای گلخانه‌ای) به محیط انتشار می‌یابند. بنابراین، وقتی که تولیدات کشاورزی هدر می‌روند، در واقع منابع و نهاده‌ها بیهوده مصرف شده‌اند و انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها نیز بدون این‌که چیزی نتیجه‌ای به دست آید، صورت گرفته است. در همین راستا مطالعاتی در سطح دنیا صورت گرفته که در شکل ۸-۳ خلاصه شده است. این مطالعات بیان می‌کنند که ۲۱ درصد از آب‌هایی که در آبیاری در کشاورزی استفاده می‌شود، ۱۹ درصد از کودهایی که در کشاورزی به کار برده می‌شود، ۱۸ درصد از زمین‌هایی که مورد کشت و کار قرار می‌گیرند و همچنین ۲۱ درصد از مکان‌هایی که زباله در آن‌ها دفن می‌شوند (لندفیل)، صرف تلفات-ضایعات می‌شوند، یعنی بیهوده انجام می‌شوند. به عبارت دیگر، ۲۱ درصد منابع آب صرف تولیدی شده است که هدر رفته است، ۱۹ درصد کود صرف تولیدی شده که تلف گردیده است و همچنین ۲۱ درصد از آن محل‌هایی که به دفن زباله اختصاص یافته، می‌توانست اصلاً وجود نداشته باشد، اگر از تلفات-ضایعات جلوگیری به عمل می‌آمد. علاوه بر این، مطالعات نشان داده است که ۸ درصد از گازهای گلخانه‌ای برای تولیداتی انتشار می‌یابند که بعداً هدر می‌رود.



شکل ۸-۳- مقایسه منابع هدر رفته در اثر تلفات / ضایعات و مصرف‌شده توسط بشر

۸-۱-۳-درصد تلفات/ضایعات برای محصولات مختلف

درصد تلفات-ضایعات برای محصولات مختلف کشاورزی در مطالعاتی در سطح دنیا مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج این مطالعات در شکل ۸-۴ خلاصه شده است: ۳۰ درصد غلات، ۲۰ درصد فرآورده‌های لبنی، ۳۵ درصد ماهی‌ها و آبزیان، ۴۵ درصد سبزی و میوه‌جات، ۲۰ درصد گوشت، ۲۰ درصد دانه‌های روغنی و حبوبات و ۴۵ درصد گیاهان ریشه‌ای و غده‌ای هدر می‌روند. یادآوری می‌گردد نکته مهم این است که اگر میزان تلفات-ضایعات کاهش پیدا کند، نیاز به تولید و مصرف منابع و نهاده‌ها و رها شدن آلاینده‌ها به محیط کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، بخشی از نیاز به تولید را می‌توان با کاهش تلفات-ضایعات جبران نمود که در نتیجه به منابع طبیعی و محیط‌زیست نیز فشار کمتری وارد خواهد شد.



شکل ۸-٤- برآورد درصد تلفات-ضایعات برای محصولات مختلف در سطح جهان

۸-۱-٤-تلفات و ضایعات در کشور

سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) با مطالعه‌ای بر روی تلفات و ضایعات محصولات مختلف کشاورزی در سطح کشور نشان دادند که سالیانه حدود ۳۰ میلیون تن از محصولات کشاورزی (گیاهی و دامی) تولید شده در داخل کشور به دلیل تلفات-ضایعات از دسترس خارج می‌شود که

معادل ۲۴ درصد از کل سطح زیر کشت دیم و آبی در کشور (۳/۳۹ میلیون هکتار سطح زیر کشت)، ۲۹ درصد از کل آب برداشت‌شده برای بخش کشاورزی در کشور (۲۵ میلیارد مترمکعب در سال) و معادل غذای ۱۸ میلیون نفر است. لازم به یادآوری است که با تکنولوژی امروز، حداکثر ۵۰ درصد از این تلفات-ضایعات قابل صرفه‌جویی است.

یکی از راه‌های خوب برای بازیابی این تلفات-ضایعات استفاده از آن‌ها عنوان علوفه است. به عنوان مثال نان خشک‌شده، میوه‌جات و سبزیجات را می‌توان به عنوان علوفه استفاده کرد و یا آن‌ها را به کمپوست تبدیل کرده و به عنوان کود از آن استفاده نمود. بنابراین، اگر نتوان تلفات-ضایعات را کاهش داد، استفاده از آن‌ها به عنوان کود و علوفه می‌تواند از جمله راهکارهایی باشد که بخشی از تلفات-ضایعات بازیابی شوند. جدول ۸-۲ برآوردی از درصد تلفات محصولات مختلف در کشور را نشان می‌دهد. تلفات-ضایعات در گندم ۱۵ درصد، برنج ۱۰ درصد، روغن ۱۲ درصد، میوه‌جات ۴۶ درصد، سبزیجات ۳۶ درصد، گوشت ۱۱ درصد، مرغ ۱۲ درصد، شیر ۹ درصد و ماهی ۳ درصد روی می‌دهد. لازم به ذکر است که تلفات ماهی بیشتر می‌باشد ولی از آن استفاده می‌گردد؛ یعنی تلفات ماهی حدود ۳۰ درصد است که بخش زیادی از آن به منظور خوراک دام و ماهیان استفاده می‌گردد.

جدول ۸-۲- برآورد درصد تلفات/ضایعات محصولات مختلف در کشور (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸)

محصول	تلفات/ضایعات (درصد)	محصول	تلفات/ضایعات (درصد)
گندم	۱۵	سبزی‌جات	۳۶
برنج	۱۰	گوشت قرمز	۱۱
حبوبات	۱۰	گوشت مرغ	۱۲
سیب‌زمینی	۲۰	تخم‌مرغ	۱۲
روغن	۱۲	شیر	۹
قند و شکر	۲۴	ماهی	۳
میوه‌جات	۴۶		

۸-۲-رژیم غذایی، سبد غذایی و یا الگوی غذایی

رژیم غذایی نیز در کاهش تقاضا برای محصولات کشاورزی و فشار بر محیط‌زیست نقش دارد. رژیم غذایی چگونه می‌تواند در کاهش تقاضا کمک کند و باعث پایداری کشاورزی شود؟ این‌که انسان هر روز چه اقلام غذایی و از هر کدام چقدر مصرف می‌کند را رژیم غذایی می‌گویند. در جدول ۸-۳ نوع و مقدار اقلام غذایی که روزانه در کشور ما مصرف می‌شود، نشان داده شده است. به عنوان مثال، در کشور ما روزانه به ازای هر نفر آرد گندم ۳۳۷ گرم، برنج ۹۱ گرم، قند و شکر ۶۶ گرم، سبزی ۲۲۸ گرم، تخم‌مرغ ۲۵ گرم و ماهی ۱۸ گرم مصرف می‌شود. البته این برآورد بر اساس داده‌ها از ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ صورت گرفته است و از سال ۱۳۹۶ به بعد ممکن است دچار تغییراتی شده باشد. وزارت بهداشت که متولی این بخش است، توصیه‌هایی را ارائه داده است که به آن رژیم غذایی مطلوب گفته می‌شود (جدول ۸-۳). به عنوان مثال، بر اساس رژیم مطلوب مورد توصیه وزارت بهداشت، میزان مصرف روزانه آرد گندم به ازای هر نفر بایستی به میزان ۷ گرم کاهش یابد و یا گوشت قرمز که ۲۸ گرم است به میزان ۱۰ گرم افزایش یابد تا به ۳۸ گرم به ازای هر نفر در روز برسد. در موارد دیگری مثل گوشت مرغ که مصرف کنونی روزانه هر نفر ایرانی ۶۴ گرم است بایستی به ۴۶ گرم کاهش پیدا کند، تخم‌مرغ از ۲۵ به ۳۵ گرم افزایش یابد و همچنین در مورد مصرف شیر که میزان آن ۱۹۰ گرم به ازای هر نفر در روز است بایستی به ۲۵۰ گرم به ازای هر نفر در روز افزایش پیدا کند. رژیم غذایی مطلوب با این هدف ارائه شده است که افراد جامعه از سلامتی بهتری برخوردار باشند.

باید توجه داشت که رژیم غذایی مورد استفاده تعیین‌کننده محصولاتی است که باید در کشاورزی تولید شوند و اگر تولید نمی‌شوند بایستی از خارج کشور وارد شوند. البته، تولیدات کشاورزی هم بر روی رژیم غذایی تأثیرگذار است به عبارتی تأثیر دوطرفه بر روی یکدیگر دارند. برای مثال، اگر تولید گوشت قرمز کمتر باشد ممکن است توسط گوشت سفید جایگزین شود.

جدول ۸-۳- نوع و میزان مصرف مواد غذایی بر حسب گرم بر نفر در روز برای رژیم‌های غذایی کنونی و مطلوب وزارت بهداشت در کشور ایران (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸)

سرانه مصرف مواد	فعلی	مطلوب وزارت بهداشت
آرد گندم	۳۳۷	۳۳۰
برنج	۹۱	۹۵
حبوبات	۱۸	۲۶
سیب‌زمینی	۱۹۰	۷۰
روغن	۴۶	۳۵
قند و شکر	۶۶	۴۰
میوه‌ها	۲۱۲	۲۸۰
سبزی‌ها	۲۲۸	۳۰۰
گوشت قرمز	۲۸	۳۸
گوشت مرغ	۶۴	۴۶
تخم‌مرغ	۲۵	۳۵
شیر	۱۹۰	۲۵۰
ماهی	۱۸	۱۸

این‌که چه محصولاتی باید تولید شوند تا پاسخگوی نیاز جامعه از نظر رژیم غذایی باشند، تعیین می‌کند که چه نوع و چه مقدار منابع و نهاده مختلف نیاز خواهد بود. همچنین تعیین‌کننده آلاینده‌هایی (مثل گازهای گلخانه‌ای) است که به محیط رها می‌شوند. بنابراین، اثرات زیست‌محیطی کشاورزی به رژیم غذایی مردم مرتبط است.

برای رژیم‌های غذایی، تقسیم‌بندی‌های مختلفی ارائه شده است. یکی از این دسته‌بندی‌ها به‌صورت خلاصه به شرح زیر است:

۱- رژیم غذایی وگان[1]: در این رژیم غذایی فقط از گیاهان استفاده می‌شود و از هرگونه مواد غذایی که از حیوانات مشتق شده باشد، استفاده نمی‌گردد و حتی فراتر از رژیم غذایی، از هر چیزی که از حیوانات به دست آمده باشد مانند لباس، کمربند و نظیر این‌ها استفاده نمی‌شود؛

[1] Vegan

یعنی رژیم غذایی وگان نه تنها یک رژیم غذایی است بلکه فراتر از آن می‌باشد و به سایر جنبه‌ها نیز می‌پردازد.

۲- رژیم غذایی گیاه‌خواری[1]: در این رژیم غذایی از گیاهان، قارچ‌ها، جلبک، مخمر و نمک استفاده می‌شود. اما از اقلامی که حاصل کشتار حیوانات باشند مانند گوشت قرمز، طیور، ماهی، صدف و محصولات جانبی کشتار دام‌ها استفاده نمی‌شود. این رژیم غذایی خود دو حالت دارد: (الف) بعضی از گیاه‌خواران از لبنیات، تخم‌مرغ و عسل استفاده می‌کنند و (ب) برخی دیگر استفاده نمی‌کنند.

۳- رژیم غذایی انعطاف‌پذیر[2]: به این رژیم غذایی نیمه‌گیاه‌خواری نیز گفته می‌شود. در این رژیم سعی می‌شود که گوشت کم‌تر و گیاه بیشتر استفاده گردد. بنابراین، در این رژیم استفاده از گوشت ممنوع نیست ولی سعی می‌گردد که کمتر استفاده شود.

۴- رژیم غذایی پسکارین[3]: این رژیم غذایی مشابه گیاه‌خواری است. در این رژیم غذایی از گوشت استفاده نمی‌شود و به جای گوشت از ماهی استفاده می‌گردد. منشأ این رژیم غذایی مدیترانه و ایتالیا می‌باشد.

در ارائه رژیم غذایی باید اصول و دستورالعمل‌هایی رعایت شود. سازمان بهداشت جهانی برای رژیم غذایی توصیه‌های کلی را ارائه نموده است که در جدول ۸-۵ نشان داده است. پروتئینی که مصرف می‌شود ۱۰ تا ۱۵ درصد، چربی ۱۵ تا ۳۰ درصد، کربوهیدرات ۵۵ تا ۷۵ درصد و قندهای آزاد کمتر از ۱۰ درصد انرژی سبد غذایی را تشکیل دهند و همچنین میوه و سبزی نیز بایستی روزی ۴۰۰ گرم مصرف گردد.

[1] Vegetarian
[2] Flexitarian
[3] Pescatarian

جدول ۸-۵- توصیه‌های سازمان بهداشت جهانی برای ترکیب و محدودیت‌های مواد غذایی اصلی.

شاخص	توصیه
کل پروتئین	۱۰ تا ۱۵ درصد از انرژی
کل چربی	۱۵ تا ۳۰ درصد از انرژی
کل کربوهیدرات	۵۵ تا ۷۵ درصد از انرژی
قندهای آزاد	کمتر از ۱۰ درصد از انرژی
میوه و سبزی	حداقل ۴۰۰ گرم در روز

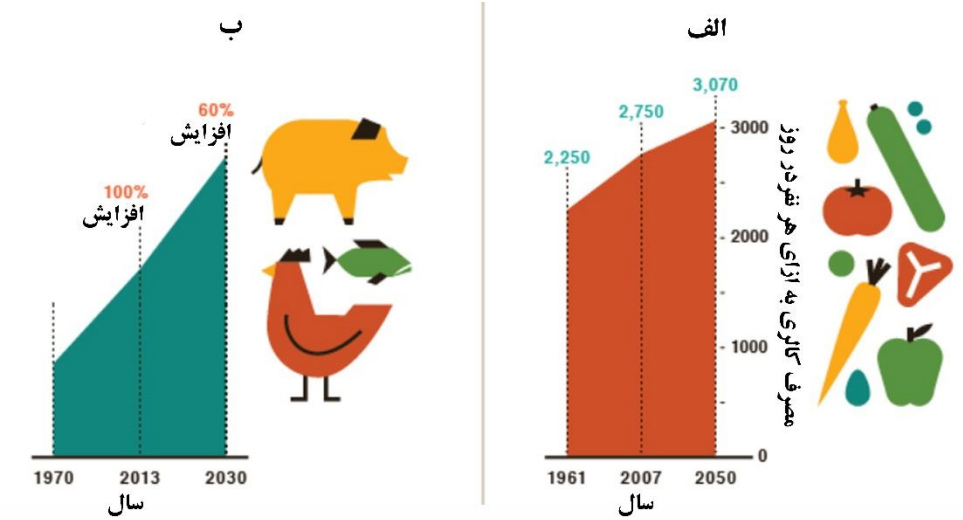
توصیه‌های سازمان بهداشت جهانی را باید در هر رژیم غذایی رعایت نمود. اما ذکر این نکته ضروری است که رژیم غذایی ایده‌آل وجود ندارد و هر رژیمی که تعریف شود کمبودهایی را خواهد داشت. رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت کشور نیز کمبودهایی از نظر کلسیم و آهن دارد. بنابراین، در کنار رژیم غذایی معمولاً نیاز است که برای رفع کمبودهای احتمالی از مکمل‌ها استفاده شود یا مواد غذایی غنی‌سازی گردند، یعنی چیزهایی (مثل ید یا روی) به مواد غذایی اضافه شود.

۸-۲-۱-تغییر رژیم غذایی در طول زمان (رفاه)

رژیم غذایی بشر در طول زمان دچار تغییر شده است و انتظار می‌رود که در آینده نیز تغییرات دیگری را به خود ببیند. یکی از این تغییرات این است که انرژی رژیم غذایی زیاد شده است که در شکل الف ۸-۵ نشان داده شده است. انرژی دریافتی هر فرد از غذا در روز در سال ۱۹۶۱ به‌طور متوسط ۲۲۵۰ کالری بوده است که در سال ۲۰۰۷ به ۲۷۵۰ کالری رسیده است و پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۰ به ۳۰۷۰ کالری نیز برسد. انرژی بیشتر از رژیم غذایی باعث مسائل و مشکلاتی همچون چاقی و اضافه وزن در درصد قابل توجهی از افراد جامعه می‌گردد.

مشکل دوم این است که استفاده از فراورده‌های دامی یا حیوانی (پروتئین حیوانی) افزایش یافته است که در شکل ب ۸-۵ نشان داده شده است. استفاده از فرآورده‌های دامی از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳ به میزان ۱۰۰ درصد افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌گردد که تا سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۳ نیز ۶۰ درصد افزایش پیدا کند که این با رفاه ارتباط دارد. وقتی وضعیت اقتصادی و مالی

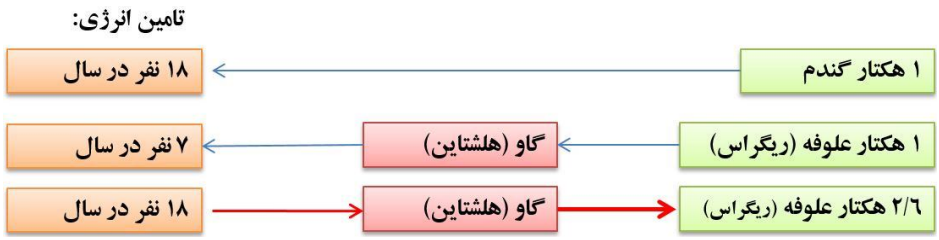
مردم بهبود پیدا می‌کند، فرآورده‌های دامی، پروتئینی، گوشت و شیر بیشتری مصرف می‌کنند.



شکل ۸-۵- الف: میانگین جهانی مصرف کالری به ازای هر نفر و ب: افزایش در مصرف جهانی پروتئین

۸-۲-۲-نحوه تأثیر رژیم غذایی بر منابع و نهاده‌ها در کشاورزی

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که رژیم غذایی چه تأثیری بر بخش کشاورزی دارد؟ برای پاسخ به این پرسش به شکل ۸-۶ توجه کنید که یک مثال تیپیک از کتاب‌های اکولوژی می‌باشد: اگر یک هکتار گندم کشت شود تا از طریق آن انرژی افراد تأمین گردد، می‌تواند انرژی ۱۸ نفر را برای یک سال تأمین نماید. حال اگر از گندم برای تأمین انرژی افراد استفاده نشود و مثلاً به جای آن از یک محصول دامی مانند شیر استفاده گردد و این یک هکتار صرف کشت و تولید علوفه مانند ریگراس شود و سپس علوفه به تغذیه دام (گاو هلشتاین) برسد و سپس از شیر آن استفاده گردد، می‌تواند انرژی ۷ نفر را برای یک سال تأمین نماید. بنابراین، یک هکتار زمین که انرژی ۱۸ نفر را به صورت دانه‌گندم تأمین می‌کرد حالا فقط می‌تواند انرژی ۷ نفر را به صورت شیر تأمین کند، ۱۱ نفر کمتر. چنان‌چه بخواهیم انرژی همان ۱۸ نفر را از طریق شیر گاو هلشتاین تأمین گردد بایستی ۲/۶ هکتار زمین، یعنی نزدیک به سه برابر گندم، علوفه ریگراس کشت شود و سپس به تغذیه گاو هلشتاین برسد تا شیر کافی برای تأمین انرژی ۱۸ نفر در یک سال تولید گردد.



شکل ۸-٦- تفاوت تأمین انرژی از محصول گیاهی و دامی

همان‌طور که مشاهده می‌شود هنگامی که محصول حیوانی مثل شیر جایگزین محصول گیاهی مانند گندم می‌گردد به جای یک هکتار باید نزدیک به سه هکتار کشت شود که نیازمند منابع آبی بیشتری است، برق زیادتری استفاده می‌شود (برای پمپاژ آب)، سطح بزرگ‌تری نیاز به شخم دارد که مصرف سوخت را افزایش می‌دهد و همچنین نهاده‌های (مثل کود، سم و بذر) بیشتری لازم خواهد بود. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز از سه هکتار زمین بیشتر از یک هکتار است. علاوه بر این، از دستگاه گوارش گاوها متان منتشر می‌شود. بنابراین، جایگزینی ۳ هکتار به جای یک هکتار زمین به منظور تغییر رژیم غذایی از گندم به شیر اثرات چشمگیری به دنبال خواهد داشت. به همین سبب یکی از توصیه‌ها برای حفظ محیط‌زیست این است که به‌جای استفاده از حیوانات، مستقیماً از گیاهان استفاده شود که در این صورت زمین، منابع آب، انرژی، نهاده‌ها (کود، سم و بذر)، کارگر و نظیر این‌ها به میزان کمتری مورد نیاز خواهد بود و آلاینده‌های (مثل گازهای گلخانه‌ای) کمتری نیز به محیط رها می‌گردد.

برای توضیح بیشتر این موضوع و دلیل وقوع آن به شکل ۸-۷ توجه شود. اگر دام از علوفه‌ای که ۱۰۰ کالری انرژی دارد تغذیه کند، شیر حاصل از آن فقط ۴۰ کالری دارد؛ یعنی ۱۰۰ کالری به ۴۰ کالری تبدیل شده و ۶۰ کالری دیگر آن ناپدید گردیده است. همچنین اگر مرغ با ۱۰۰ کالری علوفه تغذیه شود، تخم‌مرغ حاصله حاوی ۲۲ کالری است و مابقی ناپدید شده است. این مقدار برای گوشت مرغ ۱۲ کالری و برای گوشت گاو تنها ۳ کالری می‌باشد. بنابراین، کارایی تبدیل انرژی علوفه به محصول دامی پایین است. همین قضیه برای تبدیل پروتئین علوفه به پروتئین در محصول دامی نیز صادق است: اگر دام با ۱۰۰ گرم پروتئین به صورت علوفه تغذیه شود، شیر حاصل از آن حاوی ۴۳ گرم پروتئین است. برای مثال، اگر ۱۰۰ گرم پروتئین به صورت یونجه به

دام داده شود، ۴۳ گرم پروتئین به صورت شیر به دست می‌آید. این میزان برای تخم‌مرغ ۳۵ گرم، گوشت مرغ ۴۰ گرم و گوشت گاو ۵ گرم می‌باشد. به همین دلیل توصیه شده است که تا حد امکان بایستی سعی شود که از غذاهای گیاهی استفاده گردد تا منابع و نهاده کمتری برای تولیدات کشاورزی نیاز باشد و آلودگی کمتری نیز منتشر گردد و در نتیجه فشار به طبیعت کاهش یابد.

محصول دامی	کالری تولیدی	پروتیین تولیدی
لبنیات (شیر)	٤٠	٤٣
تخم مرغ	٢٢	٣٥
گوشت مرغ	١٢	٤٠
گوشت گاو	٣	٥

شکل ۸-۷- تفاوت کارایی تبدیل انرژی در تولید محصولات دامی

مقادیر آب و زمین لازم برای تولید هر تن وزن تر برای محصولات کشاورزی در شرایط اقلیمی، الگوی کشت و مدیریت کنونی تولید در کشور در جدول ۸-۶ نشان داده شده است. برای نمونه، برای تولید یک تن گندم باید ۰/۵۵ هکتار زمین و ۹۲۰ مترمکعب آب جهت آبیاری صرف شود. اگر میزان آب مورد نیاز گندم با برنج مقایسه گردد مشاهده می‌شود که برای برنج ۵۵۱۲ مترمکعب آب آبیاری لازم است تا یک تن برنج حاصل گردد. حال اگر نیاز باشد که در شرایط کم آبی برای تأمین انرژی از بین این دو گیاه یکی انتخاب شود، قطعاً گندم که به آب کمتری نیاز دارد، انتخاب می‌شود. به عنوان مثالی دیگر، پروتئین را در نظر بگیرید. اگر حبوبات استفاده شود، برای تولید هر تن حبوبات ۱۶۸۴ تن آب نیاز می‌باشد و اگر گوشت قرمز استفاده گردد برای تولید هر تن گوشت قرمز ۲۲۷۱۵ تن آب لازم است، برای تولید ماهی نیز ۹۸۴۴ تن آب احتیاج می‌باشد و برای تولید هر تن گوشت مرغ ۵۶۲۰ تن آب نیاز می‌باشد. بنابراین، اگر از حبوبات برای تولید پروتئین استفاده گردد آب کمتری نیاز خواهد بود و پس از آن به ترتیب تخم‌مرغ، گوشت مرغ، ماهی و در انتها نیز گوشت قرمز قرار می‌گیرد. باید توجه داشت که این اعداد و ارقام مربوط به داخل کشور است. حال اگر فرض شود که این محصولات از خارج وارد می‌شوند باید بررسی

شود که در کشور مبدأ چه میزان زمین و آب مصرف شده است. باید توجه شود که نمی‌توان مثلاً تمام پروتئین مورد نیاز را از گوشت مرغ یا تخم‌مرغ فراهم کرد. این جایگزین‌ها تا یک حدی امکان‌پذیر است و باید به نفع محصول با نیاز کمتر به منابع و نهاده‌ها صورت گیرد: می‌توان برنج را کاهش و به جای آن گندم استفاده نمود یا گوشت قرمز را کمتر مصرف نموده و به جای آن گوشت مرغ یا حبوبات استفاده کرد. این چنین جابجایی‌هایی را می‌توان انجام داد که منابع و نهاده‌ی کمتری مصرف گردد تا به محیط‌زیست کشور و یا دنیا فشار کمتری وارد شود.

جدول ٦-٨- مقادیر آب و زمین لازم برای تولید هر تن وزن تر برای محصولات کشاورزی در شرایط اقلیمی فعلی و مدیریت کنونی تولید محصولات کشاورزی کشور

محصول	زمین (هکتار برای هر تن)	آب آبیاری (مترمکعب برای هر تن)
گندم	۰/۵۵	۹۲۰
برنج سفید	۰/۳۴	۵۵۱۲
حبوبات	۱/۴۰	۱۶۸۴
سیب‌زمینی	۰/۰۳	۳۵۴
روغن	۰/۹۶	۷۰۰۱
قند و شکر	۰/۱۰	۲۰۹۰
میوه‌جات	۰/۱۱	۱۴۲۳
سبزیجات	۰/۰۳	۲۹۵
گوشت قرمز	۴/۷۹	۲۲۷۱۵
گوشت مرغ	۰/۵۳	۵۶۰۲
تخم‌مرغ	۰/۴۹	۴۸۶۸
گوشت ماهی	۰/۱۱	۹۸۴۴
شیر	۰/۳۴	۱۸۰۰
جو	۰/۵۵	۹۳۴
ذرت دانه‌ای	۰/۱۴	۱۹۹۷
ذرت سیلویی	۰/۰۲	۲۹۹
علوفه بقولات	۰/۰۸	۹۹۸
کاه	۰/۱۷	۴۰۰
سبوس	۰/۲۱	۷۲۷
کنجاله	۰/۴۲	۲۹۳۱

(مثال) مقدار آب به کار رفته در تولید مواد مورد نیاز برای تهیه نهار سه نفر در یک پیک نیک به قرار زیر است (با فرض این که همه مواد تولید داخل باشند):

- اگر نهار کباب گوشت قرمز باشد: ۳۸۰۰۰ لیتر (مواد مصرفی: گوشت ۱۶۵۰ گرم، گوجه‌فرنگی ۳ عدد، پیاز ۳ عدد، لیمو کوچک ۳ عدد، نان بربری ۱/۵ قرص، دوغ ۱/۵ لیتر)
- اگر نهار جوجه‌کباب باشد: ۸۶۰۰ لیتر (مواد مصرفی: مرغ ۱۲۰۰ گرم، گوجه‌فرنگی ۳ عدد، پیاز ۳ عدد، لیمو کوچک ۳ عدد، نان بربری ۵/۱ قرص، دوغ ۱/۵ لیتر)
- اگر نهار املت گوجه‌فرنگی باشد: ۴۰۰۰ لیتر (مواد مصرفی: گوجه‌فرنگی ۱۲۰۰ گرم، پیاز ۳ عدد، لیمو کوچک ۳ عدد، نان بربری ۲ قرص، روغن ۱۰۰ گرم، تخم‌مرغ ۳ عدد، دوغ ۱/۵ لیتر)

مقدار زیادی آب صرف تولید مواد غذایی می‌شود که همه روزه مصرف می‌گردد. با دقت در انتخاب نوع غذا و جلوگیری از دور زیر آن به صرفه‌جویی در استفاده از منابع آب کمک می‌شود.

مقادیر آب فوق فقط عبارتند هستند از مقدار آبی که از منابع سطحی و زیر سطحی برداشت‌شده و در تولید محصولات کشاورزی در *داخل کشور* استفاده شده است. استفاده از آب برای سایر موارد مثل فرآوری محصولات کشاورزی به مواد غذایی در برآوردها لحاظ نشده است که البته سهم ناچیزی خواهد داشت.

در جدول ۸-۷ اختصاص تولیدات گیاهی به غذا، علوفه یا سایر موارد بر حسب کالری، پروتئین و وزن در کشورهای مهم جهان نشان داده شده است. از نظر کالری (انرژی)، ۵۵ درصد از تولیدات گیاهی جهان برای غذا، ۳۶ درصد برای علوفه و ۹ درصد برای سایر مصارف مورد استفاده قرار می‌گیرد. از نظر پروتئین گیاهی ۴۰ درصد جهان برای غذا، ۵۳ درصد برای علوفه و ۷ درصد برای سایر مصارف استفاده می‌شود. از نظر وزنی ۶۷ درصد تولیدات گیاهی جهان برای غذا، ۲۴ درصد برای علوفه و ۹ درصد برای سایر مصارف به کار می‌رود. در کشور هندوستان از نظر کالری ۸۹ درصد تولیدات گیاهی برای غذا، ۶ درصد علوفه و ۵ درصد برای سایر مصارف مورد استفاده قرار می‌گیرد. علت این موضوع نیز این است که مردم هندوستان رژیم غذایی گیاه‌خواری دارند و جمعیت افراد غیر گیاهخوار کم است. در کشور چین نیز از نظر کالری ۵۸ درصد برای غذا، ۳۳ درصد برای علوفه و ۹ درصد برای سایر مصارف به کار می‌رود. همچنین در

کشور آمریکا از نظر کالری، ۲۷ درصد برای غذا، ۶۷ درصد برای علوفه و ۶ درصد برای سایر موارد مورد استفاده قرار می‌دهند؛ یعنی در کشور آمریکا گیاهان بیشتر به مصرف دام‌ها می‌رسند و سپس از دام‌ها برای تغذیه انسان‌ها استفاده می‌شود.

مواردی که بیان شد یک تصویر کلی از وضعیت رژیم غذایی در دنیا بود. نهایت رژیم غذایی گیاهخواری که می‌توان به آن دست یافت شبیه کشور هند می‌باشد. ولی در این‌جا منظور این نیست که به‌طور کلی گیاه‌خواری صورت گیرد، بلکه می‌توانیم در رژیم غذایی محصولات گیاهی بیشتری استفاده کنیم و سهم محصولات دامی را کم کنیم، مثل جایگزینی نسبی گوشت قرمز با گوشت مرغ یا گوشت مرغ با حبوبات که در این صورت در کاهش فشار بر محیط‌زیست بسیار تأثیرگذار خواهد بود.

جدول ۸-۷- اختصاص تولیدات گیاهی به غذا، علوفه یا سایر موارد بر حسب کالری، پروتئین و وزن در کشورهای مهم جهان

کشور	تولیدات گیاهی بر حسب کالری/ پروتئین/ وزن (٪)								
	غذا			علوفه			سایر		
	کالری	پروتئین	وزن	کالری	پروتئین	وزن	کالری	پروتئین	وزن
هند	۸۹	۷۷	۹۲	۶	۱۸	۴	۵	۵	۴
چین	۵۸	۵۰	۶۷	۳۳	۴۲	۲۶	۹	۸	۷
آمریکا	۲۷	۱۴	۳۷	۶۷	۸۰	۵۷	۶	۶	۶
برزیل	۴۵	۱۶	۳۹	۴۱	۷۹	۱۴	۱۴	۵	۲۷
جهان	۵۵	۴۰	۶۷	۳۶	۵۳	۲۴	۹	۷	۹

۸-۲-۳-رژیم غذایی انعطاف‌پذیر برای مقابله با تغییر اقلیم و افزایش سلامتی

در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ مطالعات جالب و جامعی توسط گروهی از دانشمندان صورت گرفت که در آن معیارهایی برای رژیم غذایی انعطاف‌پذیر[1] معرفی گردید. نتایج این مطالعات در مجله لنست[2] منتشر شده است. این دانشمندان بر این عقیده هستند که برای نجات کره‌ی زمین از

[1] Flexitarian
[2] Lancet EAT Commission

گرمایش جهانی و همچنین به منظور سلامتی بشر بایستی از این رژیم غذایی استفاده کرد. جدول ۸-۸ راهنمایی برای رژیم غذایی انعطاف‌پذیر یا نیمه گیاهخواری است.

در این رژیم غذایی استفاده از گیاهان اصلی مثل گندم، برنج، ذرت و نظیر این‌ها در حد ۸۶۰ کالری در روز لحاظ شده است. در کشور ما گندم غالب است، در برخی از کشورهای آسیایی برنج، کشورهای آفریقایی ذرت و در برخی نقاط دیگر نیز ممکن است گیاهان ریشه‌ای غالب باشند. همچنین توصیه شده است که روزانه حداقل ۵۰ گرم بقولات، ۲۵ گرم سویا، ۵۰ گرم خشکبار و دانه‌ها، ۳۰۰ گرم سبزی و ۲۰۰ گرم میوه استفاده شود. توصیه شده است که روزانه حداکثر ۳۱ گرم قند، ۸۰ گرم روغن گیاهی، انواع گوشت قرمز حداکثر ۱۴ گرم، گوشت مرغ حداکثر ۲۹ گرم، تخم‌مرغ حداکثر ۱۳ گرم و شیر حداکثر ۲۵۰ گرم مصرف شود یعنی بیشتر از این میزان در رژیم غذایی استفاده نگردد. نتایج این پژوهش در مجلات، مطبوعات، اخبار و ... در سراسر جهان منعکس شده است.

جدول ۸-۸- دامنه‌های غذایی مورد استفاده بر اساس رژیم غذایی انعطاف‌پذیر(Springmann *et al.* 2018)

ماده غذایی	حداقل (گرم بر روز)	حداکثر (گرم بر روز)
گندم برنج دانه‌های دیگر ریشه‌ها		در مجموع تا ۸۶۰ کیلوکالری بر روز انرژی برای همه گیاهان غذاهای اصلی[1]
بقولات	۵۰	
سویا	۲۵	
خشکبار	۵۰	
سبزیجات	۳۰۰	
میوه‌جات	۲۰۰	
قند		۳۱
روغن پالم		۶/۸

[1] Staple crops

روغن گیاهی	۸۰
گوشت گاو	در مجموع ۱۴ گرم بر روز برای گوشت قرمز
گوشت گوسفند	
طیور	۲۹
تخم‌مرغ	۱۳
شیر	۲۵۰
صدف	در مجموع ۲۸ گرم برای انواع ماهی‌ها و غذاهای دریایی
ماهی (آب شیرین)	
ماهی (صخره‌ای)	
ماهی (دریایی)	

رژیم غذایی انعطاف‌پذیر بر اساس معیارهای جدول ۸-۸ برای کشور ما برآورد شده است که در جدول ۸-۹ نشان داده شده است. بر این اساس میزان مصرف ماهی و شیر در رژیم غذایی انعطاف‌پذیر مشابه رژیم غذایی فعلی خواهد بود. اما مصرف تخم‌مرغ از ۲۵ فعلی به ۱۳ گرم، مرغ از ۶۴ به ۲۹ گرم، گوشت گاو از ۲۸ به ۱۴ گرم، قند و شکر از ۶۶ به ۳۱ گرم، روغن از ۴۶ به ۳۲ گرم، سیب‌زمینی از ۱۰۹ به ۵۰ گرم، حبوبات از ۱۸ به ۵۰ گرم، برنج از ۹۱ به ۳۰ گرم و نان و ماکارونی و مشابه آن‌ها که از غلات به دست می‌آید از ۳۳۷ به ۴۸۱ گرم تغییر پیدا کند. میزان مصرف میوه در حد کنونی مناسب است اما مصرف سبزی بایستی بیشتر شود. این رژیم غذایی انعطاف‌پذیر مثل این است که هفته‌ای یک‌بار ماهی خورده شود که الآن نیز همین میزان است. هفته‌ای دو بار گوشت مرغ خورده شود که در رژیم غذایی فعلی چهار بار است و یا اینکه هفته‌ای یک‌بار گوشت قرمز استفاده شود که در رژیم فعلی به‌طور متوسط دو بار می‌باشد (گوشت قرمز از ۲ به ۱ بار در هفته، گوشت مرغ از ۴ به ۲ بار در هفته و تخم‌مرغ از ۲ به ۱ بار در هفته تغییر می‌کند و مصرف ماهی نیز همان یک‌بار در هفته باقی می‌ماند). توجه شود که آن‌چه در جدول ۸-۹ ارائه شده است یک نمونه از تغییر به رژیم انعطاف‌پذیر است و نمونه‌های دیگری نیز قابل تعریف می‌باشد.

جدول ۸-۹- میزان مصرف مواد غذایی مختلف بر حسب گرم در روز بر نفر در رژیم غذایی فعلی و رژیم غذایی انعطاف‌پذیر (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸)

ماده غذایی	رژیم غذایی فعلی	رژیم غذایی انعطاف‌پذیر
نان، ماکارونی و مشابه	۳۳۷	۴۸۱
برنج	۹۱	۳۰
حبوبات	۱۸	۵۰
سیب‌زمینی	۱۰۹	۵۰
روغن	۴۶	۳۲
قند و شکر	۶۶	۳۱
میوه‌ها	۲۱۲	۲۰۰
سبزی‌ها	۲۲۸	۳۰۰
گوشت قرمز	۲۸	۱۴
مرغ	۶۴	۲۹
تخم‌مرغ	۲۵	۱۳
شیر	۱۹۰	۱۹۰
ماهی	۱۸	۱۸

اگر همین امروز رژیم غذایی فعلی کشور به رژیم غذایی انعطاف‌پذیر تغییر کند فواید و اثراتی دارد که به شرح زیر است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸):

۱- رژیم غذایی گیاهی محور برای سلامت جامعه مفید است:

- ❖ خطر ابتلا به حمله قلبی، دیابت و برخی سرطان‌ها را کاهش می‌دهد.
- ❖ فشار خون و کلسترول را کاهش می‌دهد.
- ❖ جذب عناصر معدنی و ویتامین‌ها بیشتر می‌شود.
- ❖ حفظ وزن مناسب راحت‌تر می‌شود.

۲- در رژیم غذایی گیاهی محور برای تولید مواد غذایی مورد نیاز، به منابع کمتری نیاز است:

- ❖ ۲۴ درصد منابع آب آبی کمتر نیاز است.
- ❖ ۷ تا ۱۱ درصد کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم کمتر نیاز است.

❖ ۱۴ درصد انرژی (سوخت و الکتریسیته) کمتر نیاز است.

۳- رژیم غذایی گیاهی محور برای محیط‌زیست اثرات منفی کمتری دارد: رژیم غذایی گیاهی محور باعث ۱۲ درصد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از مزارع، باغات و گلخانه‌ها می‌شود.

۴- رژیم غذایی گیاهی‌محور ارزان‌تر است: هزینه خرید اقلام غذایی از خرده‌فروشی‌ها بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۹۸ با رژیم گیاهی محور ۲۱ درصد کمتر است.

اما این تغییر و یا جایگزینی رژیم غذایی فعلی به رژیم غذایی انعطاف‌پذیر موانع و مشکلاتی دارد که عبارتند از:

❖ تناقض با رفاه: رفاه بیشتر با مصرف بیشتر مواد غذایی حیوانی هماهنگ است.

❖ عادات غذایی که از گذشته جا افتاده و رایج است و تغییر آن دشوار می‌باشد.

❖ از فواید رژیم غذایی انعطاف‌پذیر آگاهی و اطلاعات مناسبی در اختیار افراد قرار ندارد.

❖ از غذاهای جایگزین و نحوه پخت آن‌ها در رژیم غذایی انعطاف‌پذیر اطلاعات مناسب در دست نیست.

در جدول ۸-۱۰ رژیم غذایی فعلی کشور با رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت، رژیم غذایی انعطاف‌پذیر و رژیم غذایی B30 مورد مقایسه قرار گرفته‌اند، یعنی بررسی شده است که اگر رژیم غذایی فعلی با سه رژیم غذایی ذکر شده جایگزین گردد چه نتایج و پیامدهایی را به دنبال خواهد داشت (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸). در رژیم غذایی B30 فرض شده است که ۳۰ درصد گوشت قرمز با گوشت مرغ، ۳۰ درصد گوشت مرغ با حبوبات و ۳۰ درصد برنج با گندم جایگزین شود که این تغییرات ساده‌ای است که در رژیم غذایی کشور می‌تواند رخ دهد. رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت ۱۰ درصد آب بیشتری نیاز دارد یعنی به کاهش مصرف آب در کشور کمک نمی‌کند. رژیم غذایی B30 حدود ۱۰ درصد آب کمتری احتیاج دارد و رژیم غذایی انعطاف‌پذیر ۲۴ درصد آب کمتری نیاز دارد. بدین ترتیب، با جایگزینی رژیم غذایی فعلی با رژیم غذایی B30 و یا انعطاف‌پذیر، فشار بر منابع آب کشور کاهش پیدا خواهد کرد. مقایسه این رژیم‌های غذایی از نظر کودها نشان داد که میزان مصرف کود نیتروژن که می‌تواند محیط‌زیست را آلوده کند در رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت ۹ درصد افزایش می‌یابد، در حالی که در

رژیم غذایی B30 و انعطاف‌پذیر به ترتیب به میزان ۷ و ۱۱ درصد کاهش می‌یابد و در نتیجه فشار به محیط‌زیست و آلودگی آن نیز کاهش خواهد یافت. این رژیم‌های غذایی از نظر تولیدات گیاهی، زمین، انرژی و هزینه نیز با یکدیگر مقایسه شده‌اند که در جدول ۸-۱۰ نشان داده شده است. یکی دیگر از مواردی که در اثر تغییر رژیم غذایی دچار تغییر می‌شود انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد: اگر از رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت استفاده شود، ۱۰ درصد افزایش می‌یابد در حالی که در رژیم غذایی B30 و انعطاف‌پذیر به ترتیب ۶ و ۱۲ درصد کاهش پیدا می‌کند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت که برای کشور طراحی شده است، اثرات منفی بیشتری بر محیط‌زیست و منابع طبیعی کشور دارد و این گونه به نظر می‌رسد که به اثرات زیست‌محیطی آن توجه نداشته است. درحالی که جایگزینی رژیم غذایی انعطاف‌پذیر تأثیر مثبت زیادی بر محیط‌زیست کشور خواهد داشت. با اعمال این رژیم غذایی به ترتیب ۲۴، ۱۲ و ۱۱ درصد مصرف آب، انتشار گاز گلخانه‌ای و مصرف کود کاهش پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان در کشور ما این رژیم غذایی یا مشابه آن را پیاده‌سازی کرد تا فشار کمتری به کشاورزی و محیط‌زیست وارد شود. حتی رژیم غذایی B30 که تغییرات ساده‌ای را نیاز دارد مؤثر می‌باشد.

جدول ۸-۱۰- درصد تغییرات در منابع مورد نیاز در رژیم‌های غذایی مختلف نسبت به رژیم غذایی کنونی در کشور

رژیم غذایی	تولیدات گیاهی	زمین	آب آبی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	انرژی	انتشار گازهای گلخانه‌ای	هزینه
مطلوب وزارت بهداشت	+۹/۰۳	+۱۰/۵۴	+۱۰/۱۹	+۸/۶۳	+۱۰/۳۱	+۱۳/۶۵	+۱۰/۰۷	+۱۰/۱۳	+۱۳/۰۴
B30	−۶/۴۴	−۱/۳۳	−۹/۰۷	−۶/۹۷	−۶/۱۴	−۶/۲۴	−۶/۵۱	−۵/۹۹	−۱۰/۳۳
انعطاف‌پذیر	−۱۸/۲۷	+۵/۸۰	−۲۳/۵۲	−۱۰/۶۳	−۷/۵۸	−۶/۹۶	−۱۴/۰۸	−۱۱/۸۷	−۲۱/۳۳

B30: جایگزینی ۳۰٪ گوشت قرمز + جایگزینی ۳۰ درصد گوشت مرغ + جایگزینی ۳۰٪ برنج با گندم

۸-۲-٤-جایگزین‌ها

برای تغییر رژیم غذایی و کاهش فشار بر کشاورزی و محیط‌زیست چشم‌اندازهایی وجود دارد. ممکن است گوشت و فراورده‌های دامی که اثرات زیست‌محیطی زیادی دارند در آینده جایگزین شوند. به عنوان مثال، گوشت‌های سنتزی که از طریق تکثیر بافت دام در آزمایشگاه تولید می‌شوند و این روزها در بازار موجود است یکی از راه‌های جایگزینی گوشت قرمز می‌باشد. نتایج مطالعه‌ای که بر روی تولید گوشت سنتزی برای شرایط اروپا انجام‌گرفته نشان داد که ۳۵ تا ۶۰ درصد انرژی کمتر، ۸۰ تا ۹۰ درصد گاز گلخانه‌ای کمتر و ۹۸ درصد نیز زمین کمتر نیاز می‌باشد. علاوه بر اینکه زمین برای تولید علوفه و تغذیه دام‌ها نیاز نمی‌باشد، انتشار گاز متان از دام‌ها نیز صورت نمی‌گیرد و در نتیجه فشار بر کشاورزی و آلودگی‌های زیست‌محیطی کاهش می‌یابد. البته برای تولید این گوشت‌های سنتزی در آزمایشگاه، هنوز به محیط کشت، انرژی، محلول غذایی و نظیر این‌ها نیاز می‌باشد ولی فشار بر کشاورزی و آلودگی زیست‌محیطی کمتری در پی دارد.

مورد دیگری که قابلیت جایگزینی با فرآورده‌های دامی و گوشت قرمز دارد، گوشت‌های گیاهی هستند مانند همبرگر گیاهی و شیر گیاهی که به بازار آمده‌اند که در این‌ها عمدتاً از سویا استفاده می‌کنند. استفاده از حشرات امکان بعدی است. از حشرات می‌توان برای تغذیه دام‌ها و یا انسان استفاده کرد. در بخشی که برای دام استفاده می‌شود به کاهش تولید علوفه کمک می‌کند که باعث کاهش فشار بر کشاورزی و محیط‌زیست می‌گردد. این مواردی که بیان شد چشم‌اندازهایی هستند که در آینده ممکن است برای بشر عادی شوند.

۸-۳-خلاصه

به‌طور خلاصه دو راه‌کار بسیار مهم برای کاهش فشار به کشاورزی و آسیب کمتر به محیط‌زیست وجود دارد:

(۱) کاهش تلفات-ضایعات که بخش قابل توجهی از آن در کشاورزی رخ می‌دهد و می‌توان آن را کاهش داد.

(۲) تغییر رژیم غذایی به سمت رژیم غذایی انعطاف‌پذیر (نیمه گیاهخواری) که در نتیجه گوشت

کمتر یا فرآورده‌های دامی کمتر تولید و مصرف می‌شود و یا با مواردی مثل گوشت سنتزی، گوشت گیاهی و حشرات جایگزین می‌گردد.

تکلیف درسی

۱- در حد یک صفحه مطلب در رابطه جایگزینی‌های احتمالی آینده تهیه کنید.

فصل نهم
کاهش ردپای کربن (تغییر اقلیم)

در این فصل به روش‌هایی اشاره می‌شود که می‌توان در کشاورزی استفاده نمود و ردپای کربن در محصولات و سیستم‌های کشاورزی را کاهش داد. از آن جا که تغییر اقلیم مبتنی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای یا کربن است، بنابراین این روش‌ها تغییر اقلیم را کاهش می‌دهند و باعث تخفیف در اثرات آن می‌شوند. در فصل سوم کتاب گفته شد که تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی پیش‌روی بشراست، به‌ویژه این که میزان انتشار گازهای از حد ایمن عبور کرده و در منطقه‌ی خطرناک قرار گرفته است که در واقع زندگی ایمن روی کره‌ی زمین را تهدید می‌کند. به همین دلیل در چند دهه‌ی اخیر توجه زیادی جلب شده است به این‌که:

۱- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر کالا یا خدمت یا سیستم (کشاورزی و یا صنعت) چقدر است؟

۲- چگونه می‌توان میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر بخش (از جمله کشاورزی) را کاهش داد؟

برای این که پاسخ این دو پرسش داده شود، مفهوم ردپای کربن[1] ایجاد شده است و از آن استفاده می‌کنند.

۹-۱-ردپای کربن

ردپای کربن عبارت از کل گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته به اتمسفر به صورت معادل دی‌اکسید کربن ناشی از یک فرد، سازمان، خدمت[2]، محصول[3] و نظیر این‌ها در کل دوره حیاتش می‌باشد.

---

[1] Carbon footprint
[2] Service
[3] Product

برای این منظور، کل گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته بر حسب معادل دی‌اکسید کربن ناشی از یک فرد، خدمت و یا محصول را از ابتدا (نقطه شروع) تا انتها تعیین می‌کنند که اصطلاح زگهواره تا گور (از استخراج مواد خام تا مدیریت ضایعات) خوانده می‌شود. به عنوان مثال، در تولید گندم از اولین اقدام مانند شخم برای تهیه زمین شروع می‌شود با عملیات داشت مثل آبیاری، کود دهی و مدیریت آفات ادامه می‌یابد و با تحویل درب مزرعه یا سیلو پایان می‌پذیرد. اگر محصول نان مد نظر باشد این مراحل با حمل‌ونقل، فرآوری برای تهیه آرد و نان تا مصرف آن و دفع ضایعات احتمالی ادامه خواهد داشت. امروزه بر روی بسیاری از محصولاتی که در دنیا تولید می‌شوند برچسب‌هایی زده می‌شود که نشان می‌دهد برای آن کالا یا خدمت، چه میزان دی‌اکسید کربن به اتمسفر انتشار یافته است (شکل ۹-۱). کشورهای توسعه‌یافته سعی کرده‌اند که انتشار دی‌اکسید کربن را برای کالا و خدمات مختلف محاسبه کنند و جهت اطلاع و آگاهی مصرف‌کننده‌ها و تولیدکننده‌ها به کار می‌برند این امر در حال تبدیل شدن به یک اتفاق جاافتاده در آن جوامع است. همچنین این کشورها با اطلاع از مقدار آلودگی (گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن) و علت انتشار آن، برنامه‌ریزی‌هایی را برای کاهش آن در نظر می‌گیرند. طبیعی است که برای کاهش هر چیزی باید ابتدا بدانید که اصلاً به چه میزان است و یا ناشی از چه عواملی می‌باشد تا بتوانید آن را به شیوه‌ای درست و به میزان مشخص کاهش دهید.

شکل ۹-۱- برچسب ردپای کربن بر محصولات غذایی

ردپای کربن برای محصولات کشاورزی را با استفاده از معادله ۹-۱ محاسبه می‌کنند:

معادله ۹-۱

$$\text{ردپای کربن} = \frac{\text{تغییرات کربن آلی خاک} \pm \text{جمع انتشارات}}{\text{عملکرد}}$$

که عبارت از مجموع گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته به اتمسفر از ابتدا تا انتهای تولید محصول به صورت مستقیم و غیرمستقیم منها یا به اضافه (مثبت یا منفی) تغییرات کربن خاک تقسیم بر عملکرد محصول می‌باشد. انتشار مستقیم و غیر مستقیم با مثالی توضیح داده می‌شود: انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت در مزرعه انتشار مستقیم است ولی انتشار سوخت در خارج مزرعه مثلاً برای ساخت و حمل‌ونقل کود شیمیایی تا مزرعه از نوع غیرمستقیم می‌باشد.

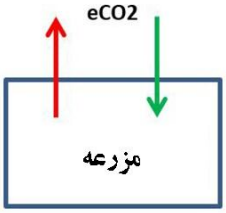
منفی یا مثبت بودن مقدار تغییرات کربن خاک بستگی به مدیریت مزرعه دارد مثلاً در جریان تولید گندم در یک مزرعه اگر ماده‌ی آلی خاک افزایش یابد به‌صورت منفی در صورت کسر ظاهر می‌شود و بنابراین از مجموع گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته کسر می‌گردد و صورت کسر و ردپای کربن را کاهش می‌دهد. برعکس، اگر در جریان تولید گندم ماده آلی خاک کاهش یابد (مثلاً در اثر عدم کود دهی)، در این‌جا به‌صورت مثبت در صورت کسر ظاهر می‌شود و به مجموع گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته به اتمسفر اضافه می‌گردد و صورت کسر و ردپای کربن را افزایش می‌دهد.

با تقسیم صورت کسر بر میزان محصول تولیدی (عملکرد)، ردپای کربن به‌صورت میزان انتشار به ازای هر واحد محصول تولیدشده، محاسبه می‌گردد. به این ترتیب، در تولید گندم به ازای یک هکتار زمین مورد کشت محاسبه نمی‌شود بلکه به ازای هر تن گندم تولیدشده، حساب می‌گردد یا مثلاً در تولید شیر، به ازای هر لیتر یا کیلوگرم آن محاسبه می‌شود.

با توجه به رابطه‌ای که در بالا بیان شد، به منظور کاهش ردپای کربن در تولید محصولات کشاورزی بایستی انتشار گازهای گلخانه‌ای به صورت مستقیم و غیر مستقیم کاهش یابد یا این‌که میزان قابل توجهی کربن در خاک رسوب داده شود و به خاک اضافه شود، یعنی ماده آلی خاک افزایش پیدا کند که به آن ترسیب کربن[1] گفته می‌شود. در این صورت می‌توان ردپای کربن در

[1] Carbon sequestration

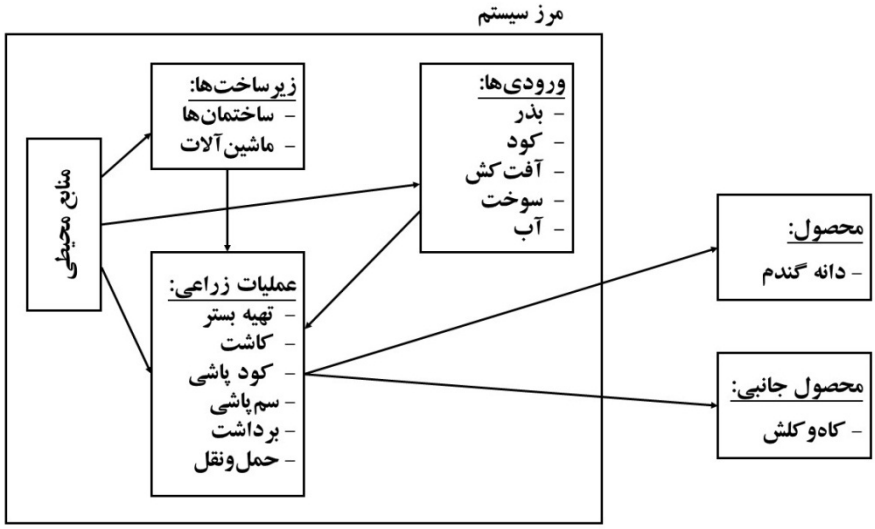
تولیدات کشاورزی را کاهش داد. در یک مزرعه گندم، با اضافه کردن ماده‌ی آلی خاک می‌توان کربن را از اتمسفر به خاک اضافه نمود و تا حدی ردپای کربن را در تولید گندم کاهش داد (با توجه به شکل ۹-۲ باید فلش سبز را که اضافه کردن کربن به خاک است پیگیری نمود و فلش قرمز را که انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد، کاهش داد). همچنین کاهش ردپای کربن را می‌توان هم برای محصولات و هم برای سیستم‌های کشاورزی (مثل یک مزرعه، کشت و صنعت و یا کل کشاورزی در سطح استان، کشور و یا حتی جهان) مورد پیگیری قرار داد.



شکل ۹-۲- نحوه‌ی مدیریت ردپای کربن در مزرعه. فلش قرمز انتشار گازهای گلخانه‌ای (معادل کربن) به اتمسفر را نشان می‌دهد و فلش سبز افزایش ماده آلی خاک (ترسیب کربن) را نشان می‌دهد.

یک مرحله مهم در تعیین ردپای کربن در محصولات کشاورزی تعریف سیستم تولید و مرزهای آن است که در شکل ۹-۳ نشان داده شد است. اگر یک مزرعه را در نظر گرفته بگیریم، در این مزرعه زیرساخت‌هایی نظیر ماشین‌آلات، ساختمان‌ها مثل انبار و پارکینگ ماشین‌آلات و نظیر این‌ها وجود دارد که برای ساخت آن‌ها کربن به اتمسفر رها شده است و وقتی‌که از آن‌ها استفاده می‌شود تا زمانی که عمرشان به پایان برسد، آن کربنی که در ساخت آن‌ها به‌کار رفته است به تدریج به اتمسفر انتشار می‌یابد. برای مثال، اگر در ساخت یک ابزار کشاورزی مثل سم‌پاش ۱۰۰۰ کیلوگرم معادل CO_2 گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته باشد و طول عمر مفید این ابزار مثلاً ۱۵۰۰۰ ساعت باشد، به نسبت تعداد ساعاتی که از این ابزار برای تولید هر محصول استفاده می‌کنیم، باید بخشی از انتشار مرحله ساخت را به حساب محصول مورد تولید منظور کنیم. فرض کنید از این ابزار ۲۰ ساعت در یک هکتار مزرعه گندم استفاده شده باشد. در این صورت ۲۰:۱۵۰۰۰ (یعنی ۰/۰۰۱۳۳۳) از ۱۰۰۰ کیلوگرم معادل CO_2 گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته در

تولید این سم‌پاش (یعنی ۱/۳۳۳ کیلوگرم) به حساب انتشار غیر مستقیم برای محصول تولیدی در آن یک هکتار مزرعه منظور خواهد شد و در صورت کسر ردپای کربن خواهد آمد. همین رویه برای سایر زیرساخت‌ها و ماشین‌آلات مثل انبار یا تراکتور یا پمپ آب یا کمباین استفاده می‌شود.



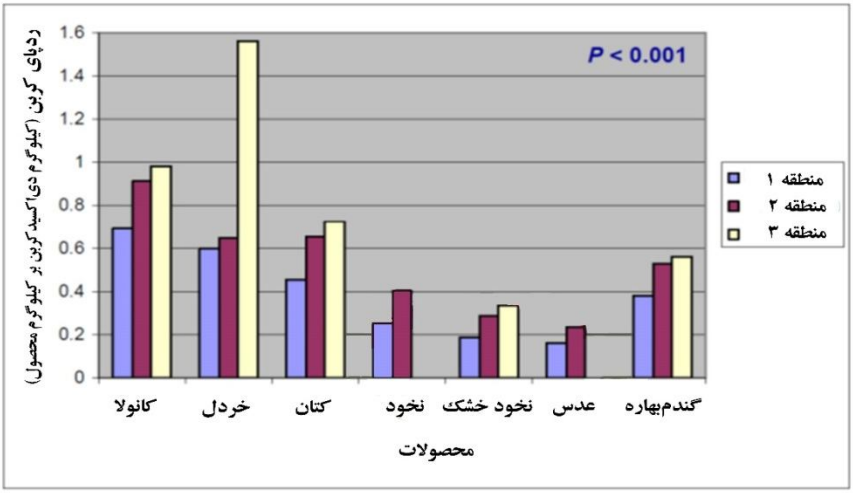
شکل ۹-۳- تعیین ردپای کربن در سیستم کشاورزی

ورودی‌های دیگری به مزرعه وجود دارند (مانند بذر، کود، آفت‌کش، سوخت، آب و مشابه این‌ها) که برای تولید آن‌ها گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر منتشر شده است و وقتی از آن‌ها در مزرعه استفاده می‌کنیم، این انتشار را باید به حساب محصول تولیدی در مزرعه قرار دهیم. مثلاً سوخت را در نظر بگیرید، در فرآیند تولید و حمل‌ونقل آن به مزرعه گاز گلخانه‌ای آزاد می‌شود (غیر مستقیم). در موقع کاربرد آن در ماشین‌آلات در مزرعه مثل تراکتور نیز گازهای گلخانه‌ای منتشر می‌شوند (مستقیم) که هر دوی این‌ها را باید در ردپای کربن محصول تولیدی منظور کرد.

همه مواردی که گفته شد به ازای تولید محصول صورت می‌گیرد که می‌تواند محصول اصلی (مثل دانه‌ی گندم) و یا محصول فرعی (مانند کاه‌وکلش) باشد. بنابراین، تمامی فعالیت‌هایی که در مزرعه انجام می‌شود به صورت مستقیم و غیرمستقیم گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر منتشر می‌کنند. این نکته از آن جهت اهمیت دارد که باید توجه داشت که انتشار گازهای گلخانه‌ای از مزرعه تنها

به صورت مستقیم صورت نمی‌گیرد بلکه مقدار بسیار زیادی نیز به صورت غیرمستقیم به اتمسفر انتشار می‌یابد. کاربرد کود شیمیایی، به ویژه نیتروژن، یکی از مهمترین راه‌های غیر مستقیم انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات کشاورزی است.

در شکل ۹-۴ ردپای کربن برای تعدادی از گیاهان مختلف مثل کانولا، نخود، لوبیا، عدس و گندم بهاره که در ۳ منطقه‌ی کانادا محاسبه شده است، آورده شده است. برای مثال، ردپای کربن در تولید هر کیلوگرم دانه کانولا برای منطقه ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۰/۷، ۰/۹ و ۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به ازای هر کیلوگرم دانه است. ردپای کربن را برای محصولات گوناگون و در سیستم‌های مختلف اندازه‌گیری و محاسبه می‌کنند، سپس منشأ و علت آن را مورد بررسی قرار می‌دهند و این‌که چگونه می‌توان آن را کاهش داد. همان‌طور که در شکل ۹-۴ مشاهده می‌شود میزان ردپای کربن برای سه محصول نخود، لوبیا و عدس نسبت به سایر محصولات کمتر است، علت آن نیز تثبیت بیولوژیک نیتروژن توسط این گیاهان می‌باشد که در نتیجه برای تولید این گیاهان کود نیتروژن استفاده نمی‌شود و یا این‌که کم استفاده می‌شود، بنابراین انتشار گاز گلخانه‌ای آن‌ها نسبت به سایر محصولات کمتر است.



شکل ۹-٤- مقایسه ردپای کربن در تولید هر کیلوگرم دانه محصولات زراعی در سه منطقه از کانادا

سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) ردپای استفاده از سوخت (لیتر بر تن)، الکتریسیته (کیلووات ساعت بر تن) و انرژی (گیگا ژول بر تن) در تولید محصولات کشاورزی در شرایط اقلیمی، مدیریتی و الگوی کشت فعلی در کشور به همراه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای تولید هر تن (کیلوگرم معادل CO_2 بر تن) از این محصولات را محاسبه نموده‌اند که در جدول ۹-۱ نشان داده شده است. به عنوان مثال به ازای هر تن گندم که تولید می‌شود ۷۷۶ کیلوگرم گاز گلخانه‌ای به اتمسفر رها می‌شود و یا برای برنج، سیب‌زمینی و ذرت به ترتیب ۸۵۰، ۱۵۳ و ۶۶۷ کیلوگرم گاز گلخانه‌ای به ازای هر تن محصول به اتمسفر منتشر می‌گردد. شایان ذکر است که برای محصولات دامی شاخص‌ها فقط بر اساس تولیدات گیاهی لازم برای تولید این محصولات محاسبه شده‌اند و مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه در مرحله تولید آن‌ها در مراکز تولید و نیز انتشار متان از دام‌ها، لحاظ نشده است.

جدول ۹-۱- تخمین ردپای استفاده از سوخت، الکتریسیته و انرژی در تولید محصولات کشاورزی در کشور (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸)

محصول	سوخت (لیتر بر تن)	الکتریسیته (کیلووات ساعت بر تن)	انرژی (گیگا ژول بر تن)	انتشار (کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن بر تن)
گندم	۹۹	۲۳۰	۹/۵۵	۷۷۶
برنج	۸۴	۵۳۴	۱۲/۱۵	۸۵۰
حبوبات	۱۷۵	۴۴۵	۱۵/۱۵	۱۲۴۱
سیب‌زمینی	۱۲	۸۹	۲/۱۸	۱۵۳
دانه‌های روغنی	۱۵۶	۱۱۰۹	۲۳/۱۶	۱۶۲۵
گیاهان قندی	۷	۶۳	۱/۲۸	۸۶
میوه‌ها	۳۸	۳۵۵	۶/۶۳	۴۶۳
سبزی-صیفی	۸	۵۴	۱/۲۶	۹۵
جو	۹۸	۲۷۹	۱۰/۰۶	۷۹۶
ذرت دانه‌ای	۵۷	۴۰۵	۹/۵۵	۶۶۷
ذرت سیلویی	۱۰	۷۵	۱/۶۷	۱۱۴
علوفه (بقولات)	۲۷	۲۱۵	۴/۲۶	۲۹۶
گوشت قرمز	۶۷۸	۴۱۹۴	۹۶/۶۸	۶۹۳۱
گوشت مرغ	۱۸۱	۱۲۷۴	۲۸/۴۲	۱۹۹۲
تخم‌مرغ	۱۵۵	۱۰۸۷	۲۴/۴۵	۱۷۱۶
شیر	۷۳	۴۰۸	۹/۸۴	۷۱۵

۹-۲-راه‌های مشارکت کشاورزی در کاهش ردپای کربن و تخفیف[1] تغییر اقلیم

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که کشاورزی چگونه می‌تواند در کاهش ردپای کربن و تخفیف تغییر اقلیم کمک کند؟ از یک سو با کاهش تقاضا برای محصولات کشاورزی (از طریق کاهش تلفات-ضایعات و تغییر رژیم غذایی به سمت استفاده بیشتر از محصولات گیاهی؛ فصل ۸) می‌توان این کار را انجام داد و از سوی دیگر در بخش تولید کشاورزی می‌توان اقداماتی را صورت داد. کاهش ردپای کربن و تغییر اقلیم در بخش تولید محصولات کشاورزی به روش‌های مختلفی قابل انجام است که می‌توان آن‌ها را به دو بخش تقسیم کرد:

۱- روش‌هایی که انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر واحد محصول تولیدی را کاهش می‌دهد، شامل:

- فشرده‌سازی پایدار یا فشرده‌سازی اکولوژیک[2] یا افزایش بهره‌وری[3]
- بهبود تولید و مدیریت کود نیتروژن
- مدیریت کودهای دامی و آلی
- کاهش مصرف سوخت
- کاهش انتشار متان از کشت برنج
- کاهش انتشار متان از تخمیر در دستگاه گوارش دام‌ها

۲- روش‌هایی که باعث جذب دی‌اکسید کربن از اتمسفر به داخل خاک می‌شوند، شامل:

- افزایش ترسیب کربن درون خاک
- افزایش ترسیب کربن روی خاک

هر یک از موارد بالا در ادامه توضیح داده می‌شوند.

---

[1] Mitigation
[2] Ecological intensification
[3] Productivity

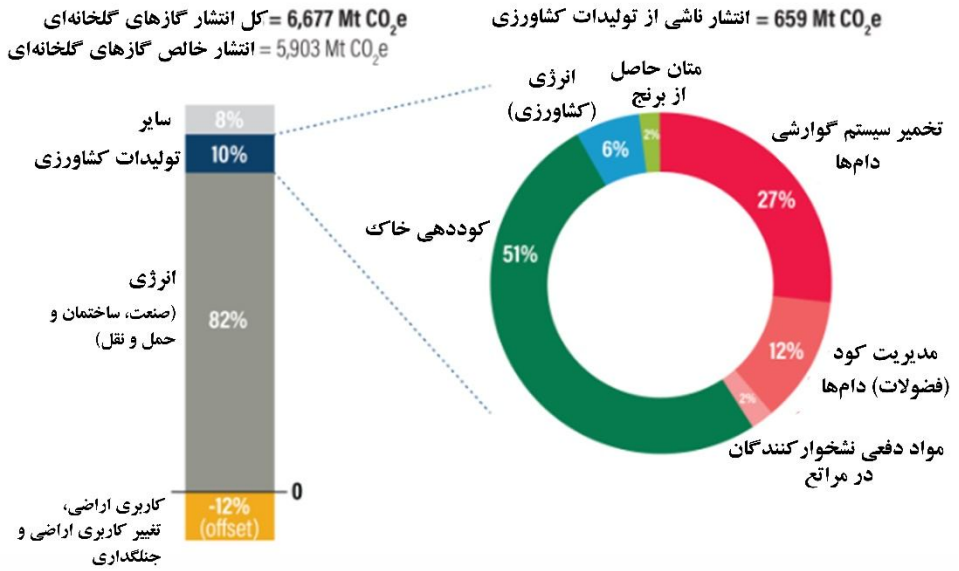
۹-۳-فشرده‌سازی پایدار[1]، فشرده‌سازی اکولوژیک یا افزایش بهره‌وری

فشرده‌سازی اکولوژیک، فشرده‌سازی پایدار و افزایش بهره‌وری هر سه تقریباً به یک مفهوم هستند. فشرده‌سازی در برابر گسترش مطرح می‌گردد: یعنی به جای این‌که برای تأمین نیاز بشر زمین‌های بیشتری با از بین بردن جنگل‌ها و مراتع زیر کشت برده شود و گسترش اراضی کشاورزی صورت پذیرد، تولید در واحد سطح افزایش یابد. بنابراین، برای تأمین غذای جمعیت در حال افزایش فشرده‌سازی صورت پذیرد و گسترش و احداث زمین جدید متوقف شود. فشرده-سازی علاوه بر کمک به کاهش ردپای کربن فواید دیگری هم دارد که با توجه به اهمیت این موضوع در فصل ۱۳ جداگانه به آن پرداخته شده است.

۹-٤-بهبود تولید و مدیریت کود نیتروژن

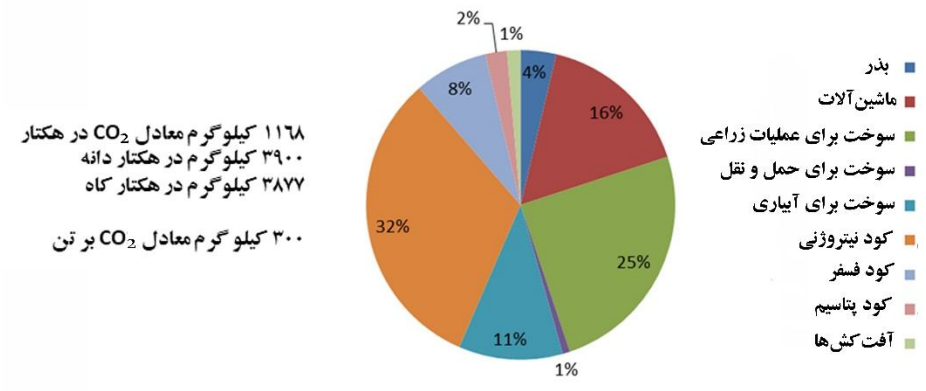
مورد دیگری که به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند، بهبود تولید کودهای نیتروژنی و مدیریت آن در مزرعه است. لازم است اشاره شود که کودهای نیتروژنی سهم زیادی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی دارند. به عنوان مثال، تولیدات کشاورزی کشور آمریکا حدود ۱۰ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای این کشور را در بر دارد (شکل ۹-۵). سهم بخش‌های مختلف کشاورزی از این میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (۱۰ درصد) در شکل ۹-۵ نشان داده شده است که ۵۱ درصد آن به علت استفاده از کودهای نیتروژنی می‌باشد؛ یعنی تقریباً بیش از نیمی از انتشار گازهای گلخانه‌ای کشاورزی در اثر کاربرد این کودها است. (توجه شود که ۲۷ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تخمیر در سیستم گوارشی دام‌ها و ۱۲ درصد نیز از فضولات دامی به اتمسفر رها می‌شود؛ بنابراین، دام‌ها در انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی آمریکا و همچنین سایر کشورها نقش مهمی دارند در بخش ۹-۸ همین فصل بیشتر توضیح داده خواهد شد.) به‌طورکلی کودهای نیتروژنه در انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولیدات کشاورزی (انواع زراعت‌ها) در سراسر جهان سهم بسیار زیادی دارد.

[1] Sustainable intensification



شکل ۹-۵- سهم بخش‌های مختلف در انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور آمریکا

شکل ۹-۶ سهم فعالیت‌های مختلف در انتشار گازهای گلخانه‌ای در زراعت گندم در گرگان را نشان می‌دهد: سهم بذر مورد استفاده ۴ درصد، ماشین‌آلات ۱۶ درصد، سوخت برای عملیات زراعی ۲۵ درصد، سوخت برای حمل‌ونقل (کودها و محصولات) ۱ درصد، سوخت برای آبیاری ۱۱ درصد و کودهای نیتروژنه ۳۲ درصد می‌باشد. همانطور که مشخص است کودهای نیتروژنی ۳۲ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم در گرگان را در بردارند که شامل تولید کود نیتروژنی و حمل آن به مزرعه (غیرمستقیم) و تلفات آن در مزرعه (مستقیم) می‌باشد. توجه شود که سوخت مصرفی تراکتور برای کاربرد این کودهای نیتروژنی در مزرعه در بخش سوخت برای عملیات (۲۵٪) محاسبه شده است. کود نیتروژنی نقش بسیار زیادی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد که باید به آن توجه داشت.



شکل ۹-٦- سهم فعالیت‌های مختلف در انتشار گازهای گلخانه‌ای در زراعت گندم در گرگان

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که چگونه می‌توان تولید و مدیریت کود نیتروژن را بهبود داد به‌طوری‌که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش یابد؟ در پاسخ بایستی گفت که در دو قسمت (۱) تولید و (۲) مصرف کودهای نیتروژنی امکان‌پذیر است که در ادامه توضیح داده خواهد شد:

۱- *تولید*:

- خود تولید کود در انتشار گازهای گلخانه‌ای نقش بسیار زیادی دارد که در مزرعه صورت نمی‌گیرد؛ یعنی مربوط به کشاورزی نیست.
- معمولاً تولید کودهای نیتروژنی در کارخانه‌ها یا پتروشیمی‌ها انجام می‌گیرد که در برخی موارد ممکن است از زغال سنگ استفاده شود که در مقایسه با دیگر سوخت‌ها آلودگی انتشار گازهای گلخانه‌ای به مراتب بیشتری را ایجاد می‌کند.
- اگر کارخانه‌ها کوچک باشند در مقایسه با کارخانه‌های بزرگ‌تر کارایی کمتری دارند و میزان بیشتری گازهای گلخانه‌ای منتشر می‌کنند.
- انرژی مصرفی کارخانه‌ها متغیر می‌باشد. در برخی موارد انرژی مصرفی کم و در برخی دیگر زیاد است که در نتیجه آلودگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتری نیز تولید می‌کند.

۲- مصرف: در کشاورزی کود مصرف می‌شود اما این‌که چگونه می‌توان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی کودهای نیتروژنی را کاهش داد، نکاتی به شرح زیر قابل بیان است:

- بایستی سعی شود که کوددهی با کارایی بیشتری صورت پذیرد. چگونه؟ باید بدانیم کودی که

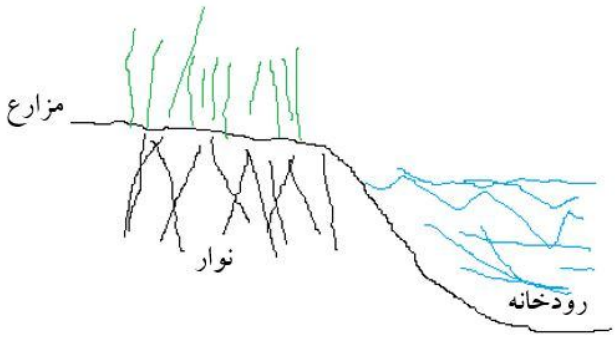
استفاده می‌شود دو سرنوشت دارد: (۱) گیاه آن را جذب می‌کند یا (۲) جذب گیاه نمی‌شود و به صورت تبخیر، آبشویی، نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون به هدر می‌رود. باید سعی شود هدرروی کود مورد استفاده کاهش و جذب آن افزایش یابد که این کار را می‌توان با تطبیق نیاز گیاه به کود و کاربرد کود انجام داد؛ یعنی باید بدانیم که گیاه در چه مرحله‌ای چقدر کود نیاز دارد و منطبق با آن کود را مصرف کنیم. به عبارتی دیگر، کود در زمانی مصرف شود که منطبق با نیاز گیاه و جذب نیتروژن در گیاه باشد. یعنی باید روند جذب نیتروژن در گیاه در طی فصل رشد را بشناسیم و مطابق با آن از مقدار دقیق کود استفاده کنیم؛ به اندازه‌ای کوددهی انجام گیرد که توسط گیاه جذب می‌شود که این کار را می‌توان بر اساس آزمون گیاه و خاک انجام داد؛ یعنی ببینیم گیاه چقدر به کود نیاز دارد و بر اساس آن مصرف کنیم نه این‌که بدون اندازه‌گیری و به دلخواه مصرف کنیم. آزمون خاک ممکن است که کار پرخرجی باشد، اگر نمی‌تواند برای هر مزرعه انجام شود می‌تواند برای یک منطقه و یا شهرستان به طور منظم انجام پذیرد که این کار بهتر از این است که انجام نگیرد. زمان دقیق مصرف کود نیز اهمیت دارد: اولاً کود زمانی استفاده شود که گیاه به آن نیاز دارد و دوماً می‌توان آن را در چند قسمت و مطابق با جذب نیتروژن در گیاه استفاده کرد تا علاوه بر کاهش تلفات (مانند آبشویی)، میزان جذب آن نیز افزایش یابد؛ چراکه وقتی کود نیتروژن به صورت یک‌جا مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقدار بیشتری از آن در دسترس میکروب‌ها (تجزیه مواد آلی و تولید N_2O) قرار می‌گیرد، اما اگر به تدریج اضافه گردد به میزان کمتری در معرض تلفات قرار می‌گیرد. نوع کود مصرفی نیز مهم می‌باشد: کودهای با تکنولوژی بالا و رهاسازی کُند نیتروژن بهتر هستند. علاوه بر این، در برخی مواقع می‌توان از بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون نیز استفاده کرد یعنی موادی به کودها اضافه می‌کنند که مانع از تبدیل آمونیوم موجود در کود به نیترات می‌شود چرا که نیترات دچار نیتریفیکاسیون و آبشویی می‌گردد ولی آمونیوم خیر. علاوه بر این، جایگذاری کود نیز اهمیت دارد یعنی اگر بتوانیم کود را با خاک مخلوط کنیم و یا کود را به صورت ترکیب با آب به درون خاک منتقل کنیم، می‌توانیم از بخش زیادی از تلفات کود به صورت تبخیر جلوگیری کنیم. این نکته را باید در نظر داشت که حداقل بخشی از کودی که

تلف می‌شود به شکل گاز گلخانه‌ای به اتمسفر منتشر می‌شود و سبب تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین می‌گردد.

- از بقولات (مثل یونجه، سویا، بادام زمینی و نظیر این‌ها) در تناوب زراعی استفاده شود چون این گیاهان نیتروژن را تثبیت می‌کنند و نیاز به کاربرد کود نیتروژنی ندارند یا میزان نیاز بسیار اندکی دارند. عدم مصرف کود خود به کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای کمک می‌کند.
- می‌توان از گیاهان پوششی در بین محصولات استفاده کرد (به فصل ۱۱ رجوع شود) و از آیش لخت زمین اجتناب نمود. گیاهان پوششی نیترات موجود در محلول خاک را جذب کرده و آن را از آبشویی و سپس راهیابی به اتمسفر باز می‌دارند. با از بین رفتن گیاه پوششی، نیتروژنی که جذب کرده‌اند به خاک بازمی‌گردد.
- از کودهای آلی (دامی، کمپوست، کود سبز به ویژه بقولات) بیشتر استفاده شود که در کاهش مصرف کود شیمیایی اهمیت دارند.
- از ابزارهای مختلف برای مدیریت کود (نرم‌افزار، ابزارهایی که از طریق رنگ برگ کمبود نیتروژن را نشان می‌دهند و نظیر این‌ها) استفاده گردد.
- تلفات نیتروژن در مزرعه کاهش داده شود (مثل تلفات نیتروژن از طریق نیتریفیکاسیون، دنیتریفیکاسیون، رواناب و آبشویی)
- از سلامت گیاه مراقبت شود: گیاهان بیمار یا آفت‌زده از عناصر غذایی به خوبی استفاده نمی‌کنند و نیتروژن خاک بیشتر در معرض هدرروی و راهیابی به اتمسفر به شکل N_2O قرار می‌گیرد.
- می‌توان از کشاورزی دقیق استفاده نمود (به فصل ۱۴ رجوع شود): در این سیستم کشاورزی، از مقادیر دقیق نهاده‌ها از جمله کودهای نیتروژنی مطابق نیاز گیاه و شرایط خاک استفاده می‌شود و بنابراین تلفات نیتروژن و تبدیل‌شدن به گاز گلخانه‌ای کاهش می‌یابد.
- استفاده از به‌نژادی برای افزایش جذب کود که باعث می‌شود نیاز به کود کاهش یابد. یعنی ارقامی در به‌نژادی تولید شوند که مقدار جذب بیشتری داشته باشند و از آن مقادیر کودی که می‌توانست تلف شود، استفاده کنند و در نتیجه کود کمتری برای آن‌ها استفاده می‌گردد و

انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر می‌شود.

- در سیستم‌های کشاورزی از نوارهای فیلترکننده در نزدیکی نهرها و جویبارها و رودخانه‌ها استفاده شود (شکل ۹-۷): برای این منظور بین مزارع و رودخانه‌ها یک سری گیاهان، درختان و یا سایر گیاهان دائمی (ترجیحاً بومی) کشت می‌کنند. اگر کود نیتروژن آبشویی شده باشد و از زیرزمین به سمت رودخانه حرکت کند توسط ریشه‌های این گیاهان گرفته شده و جذب می‌گردد؛ بنابراین این کودها وارد آب نمی‌شوند و محیط‌زیست را آلوده نمی‌کنند و به اتمسفر انتشار نمی‌یابند. از طرف دیگر، اگر این مزارع دچار فرسایش شوند، حرکت خاک فرسایش یافته که حاوی نیتروژن است توسط این گیاهان متوقف شده و وارد رودخانه نمی‌گردد و در نتیجه نیتروژن به اتمسفر آزاد نمی‌شوند؛ چرا که این نوار گیاهان، خاکی که از مزارع فرسایش پیدا کرده را نگه می‌دارند. به این صورت به رشد گیاهان نیز کمک می‌شود و این گیاهان سازنده نوار به پناهگاه و منبع غذایی برای سایر موجودات تبدیل می‌شوند و به افزایش تنوع زیستی کمک می‌کنند. به طور خلاصه: نوارهایی که در حاشیه روخانه‌ها و جویبارها کشت می‌شود نیتروژنی که از مزرعه تلف می‌شود و می‌تواند به گاز گلخانه‌ای تبدیل گردد (N_2O) را جذب می‌کنند و صرف تولید مفیدی می‌کنند که علاوه بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث بهبود و افزایش تنوع زیستی نیز می‌گردد.



شکل ۹-۷- نوارهای فیلترکننده در نزدیکی رودخانه، نهرها و جویبارها

۹-۵-مدیریت کودهای دامی[1]

برآورد شده است که یک چهارم انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی ناشی از ادرار و مدفوع دام‌ها است. از فضولات دامی که در چراگاه به زمین می‌افتند، یا در کشاورزی به عنوان کود مصرف می‌شوند یا در شرایط خشک انبار می‌شوند، گاز اکسید نیتروژن (N_2O) متصاعد می‌شود. علاوه بر این زمانی که کود دامی در شرایط رطوبت زیاد و اکسیژن کم انبار و ذخیره می‌شود، در اثر تخمیر آن گاز متان (CH_4) آزاد می‌شود. در چراگاه امکان تخفیف در انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فضولات دامی دشوار است و کار خاصی را نمی‌توان انجام داد ولی در انبارداری کودهای دامی امکان تخفیف در انتشار گازهای گلخانه‌ای میسر می‌باشد که به صورت زیر است:

۱- از فضولات دامی به عنوان کود یا برای تولید انرژی استفاده شود:

- اگر به عنوان کود آلی استفاده شود باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی (به ویژه کودهای نیتروژنی) می‌شود که در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر می‌گردد. ضمن این‌که وقتی از کود دامی استفاده می‌شود فواید دیگری مانند افزایش ماده آلی و بهبود ساختمان خاک را نیز انتظار داریم.
- فضولات دامی را می‌توان به کمپوست تبدیل نمود که فرم پایدارتر و با ارزش‌تری برای زمین است.
- در برخی موارد از دستگاه‌هایی استفاده می‌گردد که متان ناشی از کودهای دامی را جمع‌آوری می‌کند که برای تولید الکتریسیته و گرما قابل استفاده است ولی در حال حاضر روش‌هایی که در این زمینه وجود دارند، اقتصادی نمی‌باشند.

۲- در جایی که کود دامی انبار یا نگهداری شده است می‌توان روش‌هایی استفاده کرد که انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2 و N_2O) کاهش پیدا کند:

- زمان انبارداری کاهش داده شود
- کودهای انبارشده پوشانده شوند و با کاه و کلش مخلوط نشوند به دلیل این که کاه و کلش به

[1] Manure

منبع کربن میکروب‌های موجود در کودهای دامی تبدیل می‌شوند و این باعث انتشار اکسید نیتروژن و متان به اتمسفر می‌گردد.

- ❖ استفاده از انبارهای مجهز که امکان مدیریت بهتر فراهم است مانند انبارهایی که آب به درون و زیر آن نفوذ نمی‌کند، به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از کودهای دامی کمک می‌کند.

۳- رژیم غذایی دام‌ها تغییر داده شود: این اقدام احتمالاً اصولی‌ترین روش در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کودهای دامی است؛ یعنی در غذای دام‌ها تغییراتی ایجاد شود تا به طور کلی از فضولاتی که از دام‌ها خارج می‌گردد گاز گلخانه‌ای کمتری منتشر شود. این کار را می‌توان با تغییر حجم و ترکیب غذای دام‌ها انجام داد. به عنوان مثال، مقدار و ترکیب پروتئین‌ها در غذای دام را تغییر داد. یکی از زمینه‌های تحقیقاتی جدید مرتبط با کشاورزی پایدار همین موضوع است، یعنی چه رژیم غذایی در تغذیه دام‌ها به کار گرفته شود تا باعث کاهش نیتروژن در فضولات آن‌ها گردد و در نتیجه گازهای گلخانه‌ای کمتری به اتمسفر آزاد شود.

۴- زراعت و دام با یکدیگر تلفیق شوند: تلفیق زراعت و دام باعث می‌شود که فضولات دام‌ها در زراعت استفاده گردد. این مورد نقطه مقابل عدم استفاده از فضولات و ضایعات دامی است؛ یعنی به جای دفن و دپوی بدون استفاده فضولات و ضایعات دام‌ها، در زراعت مورد استفاده قرار گیرند. وقتی کود دامی در زراعت استفاده می‌شود حداقل بخشی از گازهای گلخانه‌ای منتشرشده به اتمسفر صرف کار مفیدی شده است و یا این‌که در ازای آن کودی مصرف نمی‌شود که به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند.

۹-۶-کاهش مصرف سوخت

مورد دیگری که باید در کشاورزی انجام شود کاهش مصرف سوخت است که در این ارتباط استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی مهم‌ترین اقدامی است که بایستی صورت پذیرد (به فصل ۱۴ رجوع شود). خاک‌ورزی حفاظتی یعنی طوری خاک را دست‌کاری کرده، شخم و دیسک زده و سایر کارهای مربوط به آماده‌سازی را انجام دهیم که بخشی از بقایای گیاه روی خاک باقی بماند

(حداقل ۳۰ درصد). در خاک‌ورزی حفاظتی چون دست‌کاری خاک یعنی زیر و رو نمودن آن کم می‌شود در نتیجه رفت‌وآمد ماشین‌آلات در مزرعه نیز کاهش پیدا می‌کند، بنابراین سوخت کمتری مصرف می‌شود. در کشاورزی حفاظتی چون بقایای گیاه روی سطح خاک باقی می‌ماند، کربن کمتری از خاک تلف می‌شود که باعث حفظ و افزایش کربن و ماده‌ی آلی خاک می‌گردد. علاوه بر این، خاک‌ورزی حفاظتی باعث بهبود خصوصیات خاک و افزایش نفوذ آب در آن می‌شود که در نتیجه فرسایش خاک کاهش پیدا می‌کند که در اتلاف کمتر کربن خاک مؤثر است. افزایش ماده‌ی آلی خاک در خاک‌ورزی حفاظتی علاوه بر اثرات مفید فراوانی که دارد در افزایش کیفیت آب و تصفیه‌ی آن نیز نقش زیادی دارد. لازم است که برای استفاده بیشتر از خاک‌ورزی حفاظتی، برنامه‌های آموزشی و تشویقی صورت پذیرد، به ویژه در کشور ما که امری مهم و ضروری به نظر می‌رسد. فواید خاک‌ورزی حفاظتی به مواردی که در بالا اشاره شد منحصر نمی‌گردد و فواید متعدد دیگری نیز دارد که کاهش مصرف سوخت و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یکی از آن‌ها مرتبط با موضوع این فصل است. علاوه بر خاک‌ورزی حفاظتی سایر اقدامات دیگری که در جهت کاهش مصرف سوخت می‌تواند صورت پذیرد، عبارتند از:

- برداشت علوفه از طریق چرای دام انجام شود یعنی به جای اینکه به وسیله‌ی ماشین‌آلات مکانیکی برداشت صورت گیرد و سپس به مصرف دام‌ها برسد، خود دام‌ها به طور مستقیم علوفه را چرا و استفاده کنند.
- خشک کردن دانه در مزرعه صورت پذیرد که این روش در مناطق مرطوب اهمیت زیادی دارد. به عنوان مثال، در بخش‌هایی در اروپا، آمریکای شمالی و مناطق مشابه که مناطق مرطوبی هستند دانه‌ها بعد از برداشت به تأسیساتی منقل می‌شوند و با صرف انرژی و سوخت رطوبت دانه‌ها را کاهش می‌دهند. در اینجا منظور این است که طوری کشاورزی انجام شود که دانه در همان مزرعه بدون این‌که انرژی مصرف شود، خشک گردد که البته در کشور ما معمولاً نیاز نیست (به دلیل گرم و خشک بودن هوا در زمان برداشت).
- پمپاژ آب کاهش داده شود که در کشور ما اهمیت زیادی دارد چون در کشور ما که اقلیم خشک و نیمه خشک دارد، مقدار زیادی آبیاری انجام می‌گیرد و در آبیاری سوخت در

دستگاه‌های پمپاژ آب مصرف می‌شود و سهم قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. بنابراین، اگر آبیاری به‌خوبی مدیریت شود و تلفات آب کاهش پیدا کند، استخراج آب از چاه‌ها نیز کاهش می‌یابد که به دنبال آن سوخت کمتری مصرف می‌شود.

- در تناوب زراعی از بقولات استفاده شود: وقتی در تناوب از بقولات استفاده می‌گردد، کود نیتروژن یا استفاده نمی‌شود و یا مقدار مصرف آن کاهش زیادی پیدا می‌کند. از طرف دیگر، از ماشین‌آلات نیز برای انتقال کود به مزرعه و یا پخش آن در مزرعه استفاده نمی‌شود که از این طریق نیز به کاهش مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند هر چند که مقدار این کاهش چشم‌گیری نمی‌باشد.

۹-۷-کاهش انتشار متان در کشت برنج

مورد دیگری که در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای اهمیت دارد، کاهش انتشار متان در کشت برنج است. در دنیا ۱۴۰ میلیون هکتار برنج کشت می‌شود که ۹۰ درصد آن در شرایط غرقاب انجام می‌گیرد. اگر این غرقاب از اول تا آخر فصل رشد باشد آن را غرقاب کامل می‌نامند و یا ممکن است مزرعه در بخش‌هایی (کم یا زیاد) از فصل رشد غرقاب باشد که آن را غرقاب ناقص می‌گویند. برآورد شده است که ۱۱ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کشاورزی دنیا در اثر انتشار گاز متان در کشت برنج است و همچنین یک سوم گازهای گلخانه‌ای که از تولید گیاهان زراعی منتشر می‌شود ناشی از انتشار متان است. منظور از کشاورزی، کل کشاورزی شامل دام، گیاه، باغ و ... است. علاوه بر این، در کشت برنج از کود زیادی استفاده می‌شود که بخشی از آن به صورت N_2O به اتمسفر منتشر می‌گردد. بنابراین، اگر انتشار N_2O از کود مصرفی لحاظ شود نقش برنج در انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتر می‌شود. همچنین برنج آب زیادی مصرف می‌کند. به عنوان مثال، ۴۰ درصد آب آبیاری که در دنیا استفاده می‌شود و ۳۰ درصد منابع آبی که ایجاد می‌گردد (مثل احداث سد و چاه) برای برنج است. در نتیجه برنج از طریق انتشار متان، N_2O و مصرف زیاد آب سهم زیادی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی دارد.

در این قسمت فقط به انتشار متان در برنج که یک موضوع پر اهمیت است، پرداخته می‌شود.

وقتی مزرعه برنج را غرقاب می‌کنند، ماده‌ی آلی موجود در خاک در شرایط کمبود و یا نبود اکسیژن تجزیه می‌شود. در اثر تجزیه ماده‌ی آلی در این شرایط کمبود اکسیژن، متان آزاد می‌گردد. اکنون این سوال مطرح می‌شود که چه کار می‌توان کرد تا متان کمتری آزاد شود؟ مهم‌ترین اقدام در کاهش انتشار متان این است که در کشت برنج مدیریت آبیاری تغییر یابد طوری که خاک غرقاب نشود. به عنوان مثال، برنج به صورت هوازی (یعنی شبیه سایر گیاهان) کشت شود که در این صورت دیگر گاز متان منتشر نمی‌شود. علاوه بر این، نوع خاک، نوع خاک‌ورزی، بقایا، روش‌های کوددهی و نظیر این‌ها در کاهش انتشار متان، تأثیر دارند. اما همان‌طور که گفته شد مهم‌ترین عامل مدیریت آبیاری است چراکه متان زمانی انتشار پیدا می‌کند که خاک غرقاب باشد. در برخی موارد توصیه می‌شود که در کشت برنج از غرقاب کردن محدود استفاده شود، یعنی یک مدت غرقاب شود و سپس از حالت غرقاب خارج گردد و بعد دوباره غرقاب شود. بایستی توجه داشت که اگر چنین اقدامی انجام گیرد ممکن است اثرات معکوسی روی دهد. چگونه؟ به این صورت که وقتی خاک غرقاب نیست یعنی خاک دارای تهویه است در اثر نیتریفیکاسیون، آمونیوم در خاک به نیترات تبدیل می‌شود و سپس زمانی‌که خاک غرقاب می‌شود این نیترات به N_2O تبدیل و به اتمسفر آزاد می‌شود. پس این‌که خاک متناوباً غرقاب شود و از غرقاب خارج گردد باعث انتشار N_2O می‌شود. درست است که انتشار متان یک مقدار کاهش می‌یابد اما انتشار N_2O ممکن است افزایش می‌یابد که این اقدام در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای احتمالاً مفید نباشد. مورد دیگری که در کاهش انتشار متان می‌توان انجام داد، بهبود مدیریت بقایای برنج است. وقتی که محصول برنج برداشت می‌شود هنوز بقایای آن در مزرعه باقی می‌ماند. بایستی توجه داشت که در این شرایط پس از برداشت نیز خاک غرقاب نباشد چرا که آن بقایا در شرایط کم هوازی یا بی‌هوازی تجزیه شده و متان آزاد می‌گردد. مدیریت دقیق‌تر عناصر غذایی (استفاده و تولید کود) نیز در کاهش انتشار متان مؤثر است. علاوه بر این ارقامی در دست اصلاح می‌باشند که استفاده از آن‌ها انتشار متان کمتری به دنبال دارد. به‌طور خلاصه مهم‌ترین راه برای کاهش انتشار متان در برنج این است که زمین غرقاب نشود و به جای آن کشت هوازی صورت گیرد.

۹-۸-کاهش انتشار متان در تخمیر در دستگاه گوارش دام‌ها

انتشار متان در دستگاه گوارش دام‌ها در کشاورزی بسیار مهم است. قبلاً در مورد انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند متان و اکسید نیتروژن از فضولات دام‌ها و دستگاه گوارش آن‌ها توضیح داده شد (به فصل سوم رجوع شود). در این بخش به راه‌های کاهش آن پرداخته می‌شود که به صورت زیر است:

۱- تغذیه دام‌ها بایستی بهبود یابد یعنی کیفیت علوفه‌ای که استفاده می‌کنند باید به گونه‌ای باشد که هضم راحت‌تر باشد و یا بر روی علوفه کارهایی انجام گیرد مثلاً فرآوری شوند تا عملیات هضم آسان‌تر باشد و یا همچنین می‌توان به علوفه کنسانتره‌هایی اضافه کرد که از دانه ساخته شده باشند که به آن‌ها کنسانتره‌های مبتنی بر دانه[1] می‌گویند. از طریق این سه روش تغذیه دام بهتر می‌شود و در نتیجه زمانی که دام غذا را هضم می‌کند متان کمتری منتشر می‌شود.

۲- به غذای دام‌ها یک سری مکمل‌ها و افزودنی‌ها اضافه می‌گردد که باعث تغییر میکروبیولوژی دستگاه گوارش می‌شود یعنی فعالیت متابولیکی باکتری‌های دستگاه گوارش دچار تغییر شده و متان کمتری تولید می‌کنند (این موضوع در فاز تحقیقاتی است). علاوه بر این، نسبت مواد مختلف را با برخی مکمل‌ها و یا افزودنی‌ها تغییر می‌دهند که زمان کمتری طول بکشد تا غذای دام هضم شود که این نیز کمک می‌کند که متان کمتری به اتمسفر منتشر شود.

۳- مدیریت و اصلاح نژاد گله نیز مورد دیگری است که به کاهش انتشار گاز متان کمک می‌کند به این صورت که بایستی از سلامت دام‌ها و تولید مثل آن‌ها مراقبت شود. چون دام‌هایی که سالم نیستند، غذا مصرف و متان آزاد می‌کنند اما به ازای آن رشد مناسبی صورت نمی‌گیرد؛ یعنی علوفه بیشتری استفاده می‌گردد تا همان تولید حاصل شود و در نتیجه انتشار گاز متان از دستگاه گوارش دام‌ها افزایش می‌یابد. یا ممکن است به دلیل عدم مدیریت مناسب، دام‌های بیشتری برای تولید نگهداری شوند به عنوان مثال، اگر ۵۰ گوساله برای تولید لازم باشد به دلیل ضعف مدیریتی بایستی بیش از ۵۰ گوساله نگهداری شود تا تولیدی معادل ۵۰ گوساله حاصل گردد که در نتیجه مصرف علوفه افزایش می‌یابد و متان بیشتری نیز به اتمسفر منتشر می‌شود.

---

[1] Grain-based

این‌جا نیز مثل فشرده‌سازی است (به فصل ۱۳ رجوع شود)؛ یعنی با حفظ سلامتی و بهینه‌سازی تولید و تولید مثل دام‌ها به ازای علوفه‌ای که مصرف می‌کنند، تولید افزایش می‌یابد و در نتیجه متان کمتری منتشر می‌شود. به عبارت دیگر، از تعداد دام کمتر برای تولید معین استفاده می‌شود (یعنی بهره‌وری بالاتر) که در نتیجه انتشار متان کاهش پیدا می‌کند. باید از دام‌ها مراقبت گردد که بیمار نشوند چون دام بیمار تلفات متان بیشتری دارد. همچنین باید از پناهگاه برای نگهداری دام‌ها استفاده شود چون دام‌هایی که در محیط‌های مناسب نگهداری می‌شوند طبیعتاً تنش کمتری می‌بینند که بر مقدار مصرف علوفه و مدت زمان هضم مؤثر است و باعث کاهش انتشار متان می‌گردد. مدت زمان نگهداری دام‌ها نیز بسیار مهم است: مثلاً اگر دامی بیشتر از ۶ ماه که برای پرواربندی لازم است نگهداری شود، علوفه بیشتری مصرف کرده و متان بیشتری تولید می‌کند. گفته شده است که در مراکز پرورشی مکانیزه و صنعتی که نگهداری و مراقبت‌ها از دام بهتر انجام می‌گیرد، بیماری‌ها کمتر می‌باشد و مدیریت غذای دام نیز بهینه‌تر صورت می‌گیرد، انتشار متان کمتر است.

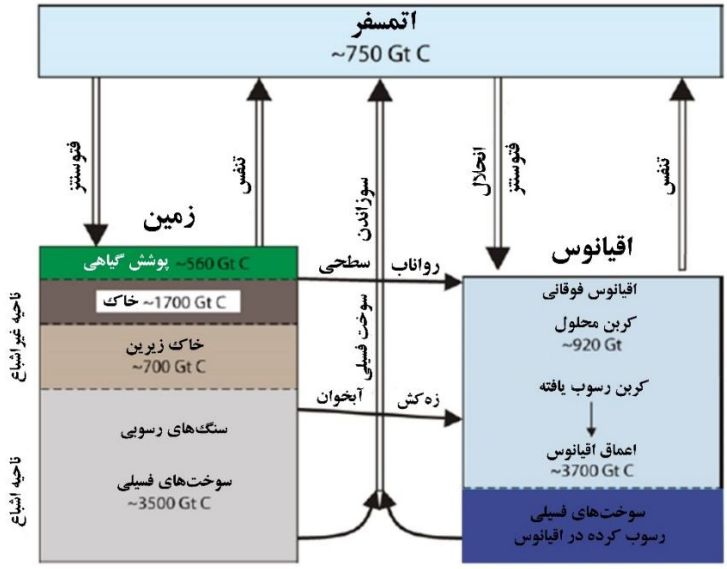
۴- کاهش جمعیت دام‌ها بهترین روش برای کاهش انتشار متان از دام‌ها است که برای دستیابی به آن باید محصولاتی دامی کمتری در رژیم غذایی بشر مصرف شود.

۹-۹-افزایش ترسیب کربن[1] در سیستم‌های کشاورزی

افرایش ترسیب کربن در سیستم‌های کشاورزی یکی دیگر از موارد مهمی است که در کاهش ردپای کربن نقش دارد: یعنی در سیستم‌های کشاورزی اقداماتی انجام گیرد که کربن از اتمسفر به خاک منتقل شده و در آن حبس شود یا رسوب داده شود. برآوردها نشان داده است که در کره زمین، کربن موجود در اتمسفر ۷۵۰ گیگا تن، پوشش‌های گیاهی ۵۶۰ گیگا تن، لایه فوقانی خاک ۱۷۰۰ گیگا تن، لایه زیرین خاک ۷۰۰ گیگا تن، در سوخت‌های فسیلی موجود در اعماق زمین ۳۵۰۰ گیگا تن، محلول در اقیانوس‌ها ۹۲۰ گیگا تن و در اعماق اقیانوس‌ها نیز ۳۷۰۰ گیگا تن می‌باشد (شکل ۹-۸). با استخراج نفت از زمین یا اقیانوس و سوزاندن آن‌ها، کربن ذخیره‌شده در

[1] Carbon sequestration

آن‌ها به اتمسفر آزاد می‌شود. چنان‌چه ملاحظه می‌شود میزان کربن در خاک فوقانی بیش از دو برابر کربن اتمسفر است و کربن موجود در پوشش‌های گیاهی اندکی کمتر از کربن اتمسفر است. بنابراین، یکی راه مناسب برای کاهش تغییر اقلیم از طریق کشاورزی، خارج کردن کربن از اتمسفر و اضافه کردن و حبس آن در پوشش‌های گیاهی و خاک فوقانی مزارع است. کربن از اتمسفر طی فرآیند فتوسنتز توسط گیاهان به پوشش‌های گیاهی و توسط فیتوپلانکتون‌ها به درون آب منتقل می‌گردد. برعکس، طی فرآیند تنفس، کربن از پوشش‌های گیاهی یا تجزیه مواد آلی خاک به اتمسفر رها می‌شود. ترسیب کربن فرآیندی است که طی آن کربن اتمسفر به پوشش‌های گیاهی دائمی و مواد آلی روی و درون خاک انتقال یابد و در آن‌ها به صورت طولانی‌مدت ذخیره و محبوس شود؛ یعنی کربن اتمسفر کاهش یابد. ترسیب کربن یک روش امیدبخش و کمک کننده در کاهش گازهای گلخانه‌ای است که از طریق کشاورزی قابل انجام است.



شکل ۹-۸- چرخه کربن در جهان

روش‌های افزایش ترسیب کربن عبارتند از:

۱- مهم‌ترین راه ترسیب کربن، خاک‌ورزی حفاظتی و کشاورزی حفاظتی می‌باشد (به فصل ۱۱ و ۱۴ رجوع کنید): در این روش خاک کمتر دست‌کاری می‌شود و بقایا به مقدار و زمان بیشتری در خاک باقی می‌مانند، کمتر تجزیه می‌شوند و خاک به میزان کمتری فرسایش پیدا می‌کند که در نتیجه کربن بیشتری به صورت ماده‌ی آلی در خاک باقی می‌ماند.

۲- دیگر راه‌ها عبارتند از:

- استفاده از گیاهان پوششی (به فصل ۱۱ رجوع کنید)
- مدیریت بقایا و فضولات دامی
- استفاده از تناوب زراعی متنوع که در آن استفاده از گیاهان چندساله (چراگاه، درخت‌کاری) منظور شده باشد؛ چون وقتی درخت کشت می‌کنیم مثلاً در مقایسه با گندم، در تنه و شاخه‌های درخت کربن گیر می‌افتد و سال‌ها در آن باقی می‌ماند اما گندم در مدت کوتاهی برداشت شده و مصرف می‌گردد و کربن آن به اتمسفر باز می‌گردد.
- اگروفارستری (به فصل ۱۱ و ۱۴ رجوع کنید)
- آیش لخت کشاورزی حذف شود یعنی در زمان‌هایی که زمین کشاورزی توسط گیاهان اصلی کشت نمی‌گردد به جای اینکه بدون گیاه باشد در آن گیاه (گیاهان پوششی) حضور داشته باشد. وجود گیاه باعث می‌شود که کربن از اتمسفر گرفته شود و به گیاه و ماده‌ی آلی آن و خاک منتقل گردد که به کاهش کربن اتمسفر کمک می‌کند.

۳- با بهبود ذخیره کربن در چراگاه‌ها و مراتع نیز می‌توان نسبت به کاهش کربن اتمسفر اقدام نمود. منظور این است که چه تعداد دام، در چه زمانی و به صورت متناوب به مراتع و چراگاه‌ها وارد شوند. همچنین گونه‌های گیاهی از گراس‌ها و بقولات در مراتع و چراگاه‌ها کشت شوند که تولید بیشتری دارند و بنابراین کربن بیشتری نیز در خود جذب می‌کنند. علاوه بر این، در برخی مواقع نیز می‌توان با کوددهی و آب دادن به گیاهان، بیوماسی که در ریشه و تاج آن‌ها تشکیل می‌شود را افزایش داد که در واقع در این بخش‌های گیاهی کربن اتمسفر به دام افتاده و در آن‌ها رسوب کرده است.

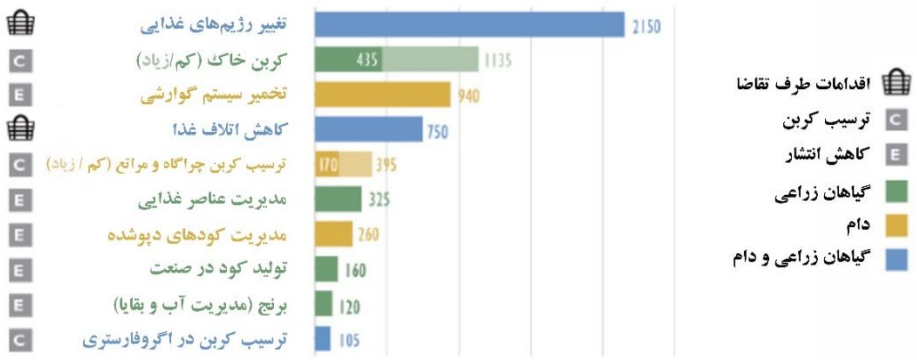
در مجموع راه‌هایی که برای افزایش ترسیب کربن استفاده می‌شود را می‌توان در دو دسته قرار داد:

۱- اقداماتی که سرعت تجزیه ماده آلی خاک را کاهش می‌دهند مثل کمتر برهم زدن خاک.

۲- اقداماتی که باعث افزایش مقدار ماده آلی می‌شوند.

۹-۱۰-مقایسه اثربخشی روش‌های کاهش تغییر اقلیم

در شکل ۹-۹ اثر بخشی روش‌های تخفیف تغییر اقلیم تا سال ۲۰۳۰ در سطح دنیا مقایسه شده‌اند. مؤثرترین راه کاهش تغییر اقلیم و اثرات ناشی از آن تغییر رژیم غذایی به سمت استفاده بیشتر از گیاهان (در مقابل دام‌ها) است (در فصل ۸ توضیح داده شد)، پس از آن به ترتیب افزایش کربن خاک یا ترسیب کربن، کاهش تخمیر از سیستم گوارش دام‌ها در جهت کاهش انتشار متان، کاهش تلفات-ضایعات محصولات کشاورزی و غذا، ترسیب کربن در خاک‌های مراتع و چراگاه‌ها، مدیریت کودها و عناصر غذایی در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدیریت کود دامی دپو یا انبارشده، تولید کود شیمیایی در صنعت، مدیریت آب و بقایای برنج و در نهایت ترسیب کربن در اگروفارستری قرار دارند. میزان اثربخشی این روش‌ها در مدیریت و برنامه‌ریزی و همچنین زمینه‌های تحقیقاتی جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تخفیف اثرات تغییر اقلیم بسیار اهمیت دارد. مثلاً ممکن است بسیاری از افراد تصور این را نداشته باشند که انتشار متان از دستگاه گوارش دام چقدر مهم است و با کاهش آن می‌توان بخش زیادی از اثرات تغییر اقلیم را تخفیف داد.



شکل ۹-۹- مقایسه اثر بخشی روش‌های تخفیف تا سال ۲۰۳۰ در سطح دنیا (Dickie *et al.*, 2014)

۹-۱۱-خلاصه

مهم‌ترین اقداماتی که می‌توان در سیستم‌ها و محصولات کشاورزی به منظور کاهش رد پای کربن انجام داد عبارتند از:

- ❖ تبدیل اراضی طبیعی به کشاورزی متوقف شود.
- ❖ گوشت قرمز کمتر مصرف شود و تعداد دام‌ها به ویژه گاوها کاهش یابد تا انتشار متان و N_2O از فضولات و دستگاه گوارش این دام‌ها کاهش پیدا کند.
- ❖ برنج کمتر مصرف شود و کشت آن نیز کاهش یابد تا انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند متان کاسته شود.
- ❖ به‌کارگیری خاک‌ورزی حفاظتی هر جا که ممکن باشد.
- ❖ وارد کردن بقولات (تثبیت بیولوژیک نیتروژن) در تناوب زراعی تا مصرف کودهای شیمیایی کاهش یافته و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر شود.
- ❖ کاشت گیاهان پوششی هر زمان و مکان که ممکن باشد.
- ❖ مدیریت کودهای نیتروژنی بسیار بهتر شود و در زمان، مقدار و روش مصرف آن‌ها دقت زیادی اعمال گردد تا گازهای گلخانه‌ای کمتری به اتمسفر آزاد شوند.
- ❖ به مصرف سوخت در مزرعه و مدیریت آن توجه شود (در کشور ما آبیاری سوخت و الکتریسیته زیادی مصرف می‌کند) و میزان مصرف سوخت ناشی از رفت‌وآمدها در مزرعه کاهش پیدا کند تا انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش یابد.
- ❖ به‌طورکلی مدیریت مزرعه بهتر شود یعنی کارایی یا بهره‌وری‌ها در مزرعه و مراکز تولید دام افزایش پیدا کند که این از طریق فشرده‌سازی حاصل می‌شود و بر کاهش ردپای کربن تأثیر دارد.

تکلیف درسی

۱- برای این بخش درس خلاصه‌ای نیم تا یک‌صفحه‌ای تهیه کنید.

۲- از اقدامات یا کارهایی که در کشاورزی انجام می‌شود یک لیست طلایی و یک لیست قرمز تهیه کنید.

- ✓ لیست طلایی: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین مزیت یا اثر مثبت است، دارای هزینه کم و پذیرش اجتماعی می‌باشد
- ✓ لیست قرمز: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین عیب یا اثر منفی است.

فصل دهم
مدیریت پایدار تنوع زیستی و آفات

در این فصل به دسته‌ای دیگر از روش‌های پایدارسازی در کشاورزی تحت عنوان مدیریت پایدار تنوع زیستی و آفات پرداخته می‌شود. از آن‌جا که مدیریت پایدار آفات به تنوع زیستی وابسته است، این دو مورد در یک فصل توضیح داده می‌شوند. بنابراین، این فصل شامل دو بخش است: در بخش نخست به روش‌هایی اشاره می‌شود که به حفظ و بهبود تنوع زیستی کمک می‌کنند و در بخش دوم روش‌های مورد استفاده برای مدیریت پایدار آفات توضیح داده خواهند شد.

۱۰-۱-مدیریت تنوع زیستی در کشاورزی

چگونه می‌توان تنوع زیستی را در سیستم‌های کشاورزی حفظ کرد و یا بهبود داد؟ برای پاسخ به این پرسش بایستی توجه داشت که تنوع زیستی را هم در داخل یک مزرعه، هم در بین مزارع و هم در یک چشم‌انداز (منطقه بزرگ) می‌توان بررسی کرده و برای حفظ و یا بهبود آن برنامه‌ریزی کرد. علاوه بر این، تنوع زیستی از نظر مقیاس زمانی نیز اهمیت دارد یعنی ممکن است که فاصله‌ی زمانی کوتاه یا طولانی‌مدت مدنظر باشد. در این قسمت روش‌های بهبود و حفظ تنوع زیستی در داخل مزارع، بین مزارع و چشم‌انداز (منطقه) توضیح داده خواهند شد و سپس به صورت مختصر به بانک ژن یا بانک بذر اشاره می‌گردد.

۱۰-۱-۱-افزایش یا حفظ تنوع زیستی در چشم‌انداز، بین مزارع و مزرعه

روش‌های بهبود و حفظ تنوع زیستی در چشم‌انداز (منطقه)، بین مزارع و درون مزرعه به شرح زیر است:

- بهره‌برداری «به اندازه» یا «به قاعده» یا «متوازن» از منابع آب و خاک: وقتی که بدون توازن (تعادل) از منابع آب و خاک استفاده می‌کنیم، در واقع آن چیزی که سهم سایر موجودات زنده (مثل موجودات بزرگ شامل حیوانات، پرندگان و یا موجودات کوچک شامل حشرات، میکروب‌ها و نظیر این‌ها) است را مصرف می‌کنیم و در واقع غذا، پناهگاه، آب و سایر منابعی که در اختیار داشته‌اند و مورد نیاز آن‌ها می‌باشد را از بین می‌بریم. طبیعتاً این موجودات دچار آسیب می‌شوند و از بین می‌روند. بنابراین، مهم‌ترین راه بهبود و حفظ تنوع زیستی استفاده «به قاعده یا به اندازه» از منابع آب و خاک است. همچنین اگر از خاک بهره‌برداری شود و از طریق افزودن کود جبران نگردد، به تدریج ماده‌ی آلی خاک کاهش می‌یابد و در نتیجه ریزموجودات، باکتری‌ها و میکروب‌های ساکن در خاک، غذا و پناهگاهشان را از دست می‌دهند و از بین می‌روند و تنوع زیستی خاک کاهش می‌یابد (اهمیت تنوع زیستی خاک در فصل دوم توضیح داده شده است). از طرف دیگر، برداشت بیش از حد از منابع آب سبب کاهش آب رودخانه‌ها و تالاب‌ها می‌گردد و بسیاری از موجودات (مثل حشرات، پرندگان، خفاش‌ها و غیره) که حیات آن‌ها به این منابع آبی وابسته است، از بین می‌روند. بنابراین، بهره‌برداری به اندازه از منابع آب و خاک بسیار مهم است. در این‌جا بایستی به این نکته اشاره شود که اگر بخواهیم با بهره‌برداری «به اندازه» غذای کافی تولید کنیم باید بهره‌وری را افزایش دهیم یعنی به ازای هر واحد زمین و یا آب تولید بیشتری داشته باشیم که به مبحث فشرده‌سازی ارتباط دارد و در فصل ۱۳ به آن پرداخته شده است. به‌طور کلی، مدیریت ضعیف یکی از دلایل اصلی است که باعث می‌شود به سهم طبیعت از منابع آب و خاک دست‌درازی کنیم: چون نمی‌توانیم از مقدار محدود منابع آب و خاک که سهم بشر است غذای کافی و مناسب تولید کنیم، منابع بیشتری از طبیعت برمی‌داریم تا کمبود تولید جبران گردد.

- گسترش کشاورزی متوقف گردد (منظور ایجاد سطح زیرکشت جدید است) و بایستی سعی شود در همان زمین‌هایی که موجود است با افزایش بهره‌وری غذای کافی تولید کنیم (به فصل ۱۳ رجوع شود). گسترش زمین‌های کشاورزی از عوامل اصلی کاهش و زوال تنوع زیستی می‌باشد که بایستی متوقف شود. در کشور ما تقریباً دیگر امکان تبدیل اراضی و گسترش کشاورزی وجود ندارد ولی در کشورهای دیگری مانند برزیل، کشورهای جنوب آسیا مانند اندونزی، مالزی و برخی از کشورهای قاره آفریقا این تبدیل اراضی و گسترش کشاورزی روی می‌دهد.
- احیای زمین‌های کشاورزی رهاشده، حاشیه‌ای و کم تولید و تبدیل آن‌ها به زمین‌های زیر پوشش‌های طبیعی: زمین‌های کشاورزی که کیفیت خوبی ندارند و محصول کافی تولید نمی‌کنند را زمین‌های حاشیه‌ای می‌گویند. به عنوان مثال، زمین‌هایی که در آن‌ها کشت دیم انجام می‌گیرد و یا زمین‌هایی که دارای خاک شور هستند که یک سال محصول داده و چند سال محصول نمی‌دهند. در برخی موارد نیز ممکن است زمینی چند سال کشت شده باشد و چون محصول کافی تولید نکرده، رها شده باشد که به آن‌ها زمین‌های رهاشده گفته می‌شود. در این روش بایستی این زمین‌های حاشیه‌ای و رهاشده که تولید کافی ندارند را احیاء نمود؛ یعنی سعی شود که با یک سری دست‌کاری‌ها (خیلی زیاد نباشد) در این اراضی گیاهان طبیعی رشد داده شود تا دوباره احیا گردند. به عنوان مثال، فرض کنید پوشش گیاهی طبیعی یک خاک با شوری اندک (لب شور) را از بین برده‌اند و در آن جو کشت نموده‌اند که یک سال محصول داده و چند سال محصول نمی‌دهد. در این حالت باید آن زمین را با بذور گیاهان قبلی که در آن منطقه وجود داشته‌اند، کشت کرده و احیا نمود. بایستی این زمین‌ها را به طبیعت اختصاص داد تا به دنبال آن سایر موجوداتی که از گیاهان استفاده می‌کنند به آن منطقه بازگردند و در نتیجه این زمین‌ها دوباره احیا گردند. در این راه ممکن است که شخم، کوددهی و آبیاری نیز نیاز داشته باشد. به دنبال احیا این زمین‌ها تنوع زیستی افزایش پیدا می‌کند.

- در مزرعه خودمان و بین مزارع همسایه‌ها و یا به طورکلی در چشم‌انداز یا منطقه بزرگ، لکه‌ها، پرچین‌ها و یا راهروهایی را درست کنیم و در آن‌ها گیاهان طبیعی رشد داده شوند: یعنی مرز بین مزارع و یا جاهایی در داخل خود مزارع جزایری از گیاهان طبیعی باشند. همچنین بهتر است این مناطق به طریقی به هم وصل شوند. در این مناطق گیاهان طبیعی کشت می‌شوند مثل گیاهان گل‌دار که حشرات را جذب می‌کنند، یا گیاهان چند ساله که غذا و پناهگاه برای سایر موجودات فراهم می‌کنند و به تکثیر آن‌ها کمک می‌کنند و در نتیجه تنوع زیستی حفظ می‌شود و یا افزایش پیدا می‌کند. این‌که مساحت‌های زیادی از زمین‌ها را یک دست زیرکشت ببریم به لحاظ پایداری نادرست است و باید به فکر این باشیم تا جزایری از گیاهان طبیعی درست کنیم که این‌ها از طریق راهروها یا پرچین‌ها به هم وصل شوند. باید به این نکته نیز اشاره کرد که این مناطق به آبگیر و یا آب‌بند نیز نیاز دارند چون یکی از نیازهای پرندگان و یا سایر موجودات آب است.
- تلفیق تولید گیاه و دام: یعنی دام را به سیستم‌های کشاورزی اضافه کنیم. برای مثال، اگر علوفه، جو، ذرت و نظیر این‌ها تولید می‌شود، دام نیز در کنار آن باشد. این اضافه کردن دام به افزایش تنوع زیستی کمک می‌کند یا حتی در برخی مواقع باعث می‌شود که گیاهان دیگری در مزرعه کشت کنیم. از آنجایی که برخی یک سری گیاهان علوفه‌ای چند ساله هستند و در مزرعه در یک قطعه زمین باقی می‌مانند که این امر به بهبود و افزایش تنوع زیستی کمک می‌کند.
- تبدیل تک‌کشتی به چندکشتی: در کشاورزی مدرن کشاورزان یاد گرفته‌اند تنها یک یا تعداد اندکی گیاه بکارند، برای مثال گندم، سویا و یا ذرت می‌کارند و در کشت همان گیاه یا گیاهان متخصص شده‌اند. این‌ها باید به چندکشتی تبدیل شوند و برای این کار باید از تناوب زراعی و کشت مخلوط استفاده گردد (در همین فصل بیشتر توضیح داده می‌شود). به‌طور کلی، با تبدیل تک‌کشتی به چندکشتی هم گیاهانی که کشت می‌کنیم بیشتر می‌شود و هم همراه آن‌ها سایر جانداران به صورت غیرمستقیم وارد مزارع می‌شوند. همین طور باید سعی شود که از ارقام متعدد و متنوع یک گیاه در یک منطقه کشت شود. برای مثال، این‌طور نباشد

که در یک استان فقط گندم بکاریم آن هم تنها از یک رقم استفاده کنیم. بلکه باید سعی کنیم هم گیاهان متفاوت کشت کنیم و هم اینکه از هر گیاه ارقام متفاوتی کشت کنیم.

- ❖ کاشت بخشی از زمین با درختان و گیاهان زراعی دائمی: بخشی از سیستم کشاورزی را به کاشت درختان و گیاهان زراعی دائمی اختصاص دهیم که چند سال در زمین می‌مانند بدون این‌که نیاز به خاک‌ورزی داشته باشند. در تناوب باید از گیاهان دائمی مثل درختان و یا گیاهان علوفه‌ای (چندساله هستند) و یا اگروفارستری (به فصل ۱۴ رجوع شود) استفاده کنیم.
- ❖ اگر مراتع و یا کشت گیاهان علوفه‌ای وجود دارد، سعی شود در آن‌ها گیاهان متنوع کشت شوند.
- ❖ در خارج فصل و بین گیاهان زراعی اصلی، گیاهان پوششی کشت شوند (به فصل ۱۱ رجوع شود)
- ❖ عملیات خاک‌ورزی کاهش پیدا کند که به بهبود و حفظ تنوع زیستی کمک می‌کند (به فصل ۱۱ رجوع شود)
- ❖ ماده آلی خاک افزایش پیدا کند که این نیز باعث افزایش تنوع زیستی در خاک می‌شود (به فصل ۱۱ رجوع شود)

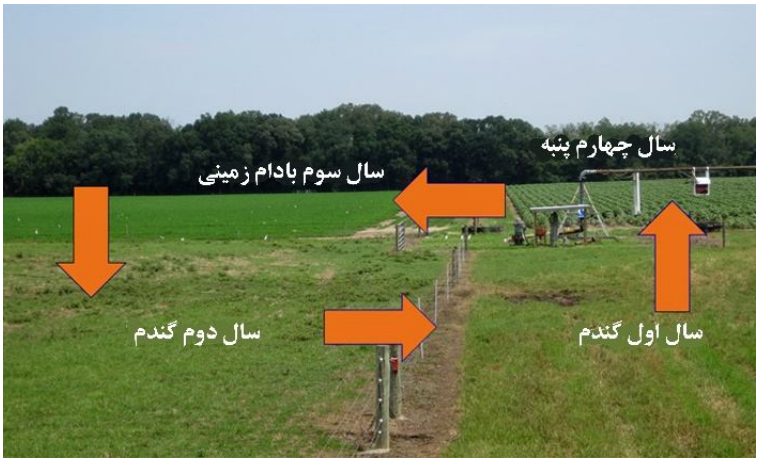
۱۰-۱-۲-تناوب زراعی[1] یا کشت مخلوط[2]

در تناوب زراعی زمین را به قطعاتی تقسیم می‌کنند (شکل ۱۰-۱) و در هر سال گیاهان مختلفی در این قطعات کشت می‌گردد و هر سال جای گیاهان در هر قطعه نیز عوض می‌شود. مثلاً گیاهی که در قطعه یک بوده به قطعه دو، دو به سه و سه به چهار منتقل می‌شود؛ یعنی به صورت چرخشی گیاهان هر قطعه در هر سال تغییر می‌کند.

[1] Crop rotation
[2] Mixed cropping

استفاده از تناوب علاوه بر اینکه باعث می‌شود گیاهان بیشتری وارد مزرعه شود، در ورود سایر موجودات به مزرعه نیز نقش مؤثری دارد که باعث افزایش تنوع زیستی خواهد شد. تناوب زراعی فواید بسیار زیادی دارد که برخی از آن‌ها عبارتند از:

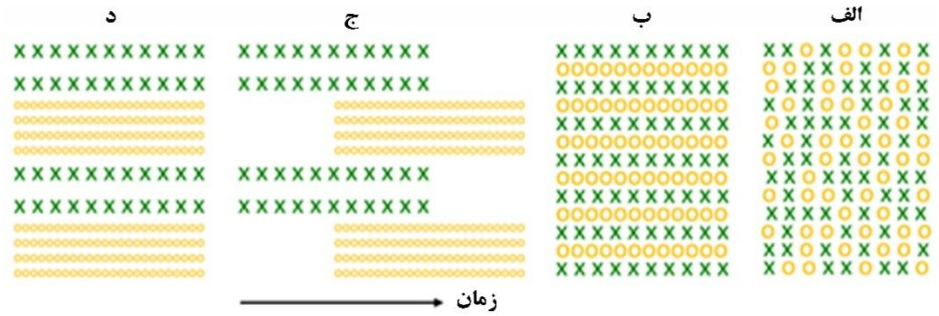
- اگر از بقولات (که تثبیت زیستی نیتروژن انجام می‌دهند) در تناوب استفاده شود نیاز به کود شیمیایی کاهش می‌یابد که روی سلامتی و حاصلخیزی خاک نیز تأثیر مثبت فراوانی دارد.
- با استفاده از تناوب زراعی چرخه‌ی زیستی برخی از آفات و بیماری‌ها شکسته می‌شود و بسیاری از مشکلات ناشی از آفات و بیماری‌ها توسط تناوب قابل کنترل است.
- تراکم و تنوع بسیاری از علف‌های هرز در اثر تناوب زراعی کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، وقتی در تناوب علف‌کشی در یک گیاه زراعی در تناوب استفاده می‌شود و برخی علف‌های هرز از بین می‌روند، گیاه بعدی نیز از این سود می‌برد.
- در تناوب زراعی توزیع نیروی کار بهتر صورت می‌گیرد و سایر تجهیزات و ادوات زراعی نیز در طول سال مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱۰-۱- تناوب زراعی (داگ مایو: دانشگاه کالیفرنیا، ۲۰۱۵)

کشت مخلوط راه دیگری است که تنوع را سیستم‌های زراعی افزایش می‌دهد. در شکل ۱۰-۲ چند نمونه از روش‌های کشت مخلوط نشان داده شده است. ممکن است بذر دو گیاه مختلف را با

هم ترکیب کرده و در زمین بپاشند و در مزرعه کشت کنند که به آن مخلوط درهم[1] گفته می‌شود (شکل ۱۰-۲ الف). در حالتی دیگر ممکن است یک ردیف از یک گیاه و ردیف بعدی از گیاه دیگری را کشت کنند که به آن مخلوط نواری[2] می‌گویند (شکل ۱۰-۲ ب)، در مواردی نیز ممکن ممکن است در ابتدا چند ردیف از یک گیاه و سپس چند ردیف از گیاه بعدی در مزرعه کشت شود که به آن کشت مخلوط ردیفی[3] گفته می‌شود (شکل ۱۰-۲ د) و در روشی دیگر ممکن است که کشت مخلوط ردیفی دو گیاه، با فاصله زمانی از یکدیگر کشت شوند که به آن کشت مخلوط ردیفی با فاصله زمانی گفته می‌شود (شکل ۱۰-۲ ج). در تمامی حالت‌هایی که بیان شد تنوع زیستی می‌تواند حفظ و یا افزایش پیدا کند.



شکل ۱۰-۲- روش‌های مختلف کشت مخلوط (دایره و ضربدر نماد گیاهان مختلف هستند)؛ الف: کشت مخلوط درهم، ب: کشت مخلوط نواری، ج: کشت مخلوط ردیفی با فاصله زمانی و د: کشت مخلوط ردیفی.

باید به این نکته توجه شود که اگر در کشت مخلوط ردیفی تعداد ردیف‌ها مقداری افزایش داده شود، کشت مخلوط به تناوب تبدیل می‌گردد. یعنی وقتی قطعات بزرگ‌تری از گیاهان کشت شود کشت مخلوط ردیفی به تناوب تبدیل می‌شود پس می‌توان گفت که این‌ها با هم ارتباط دارند. کشت مخلوط اغلب در مناطقی با شرایط زیر قابل توصیه است:

- ❖ حاصلخیزی خاک پایین باشد یعنی خاک‌ها فقیر باشند.

---

[1] Mixed intercropping
[2] Strip intercropping
[3] Row intercropping

❖ خاک قادر به ایجاد پوشش کامل نباشد، به دلیل فقر خاک گیاهان با فاصله زیاد از هم کشت می‌شوند و پوشش زمین کامل نمی‌شود.
❖ امکان استفاده از کودهای شیمیایی کم باشد.
❖ بیماری‌ها و آفات خاک‌زی شیوع نداشته باشند.

اگر مجموعه شرایط بالا وجود داشته باشد معمولاً کشت مخلوط خوب است و در غیر این صورت فایده‌ی زیادی نخواهد داشت. معمولاً شرایط بالا در مناطق گرمسیری آفریقا و هند وجود دارد. بنابراین، در کشور ما به‌طور معمول کشت مخلوط مناسب نیست و فوایدی را در پی نخواهد داشت به استثنای کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای ولی تناوب از اهمیت بیشتری برخوردار است.

مجموعه اقداماتی که به منظور افزایش تنوع در بعد زمانی و مکانی در سطح مزرعه تا چشم‌انداز انجام می‌گیرد در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است. هنگامی‌که در مزرعه فقط یک گیاه مثل پنبه کشت شده است، به منظور افزایش تنوع می‌توان به‌جای یک رقم، چند رقم پنبه را کشت نمود و یا حتی به غیر از آن، مثلاً سویا را نیز به مزرعه اضافه کرد. علاوه بر این، با گذر زمان می‌توان گیاهان دیگری مانند گیاهان پوششی را نیز به مزرعه اضافه نمود. به این ترتیب، با افزودن ارقام و سایر گیاهان (تناوب)، تنوع زیستی افزایش می‌یابد. در ادامه به منظور افزایش بیشتر تنوع زیستی در سطح مزرعه می‌توان اگروفارستری یا جنگل‌زراعی (فصل ۱۴) را نیز به اجرا گذاشت.

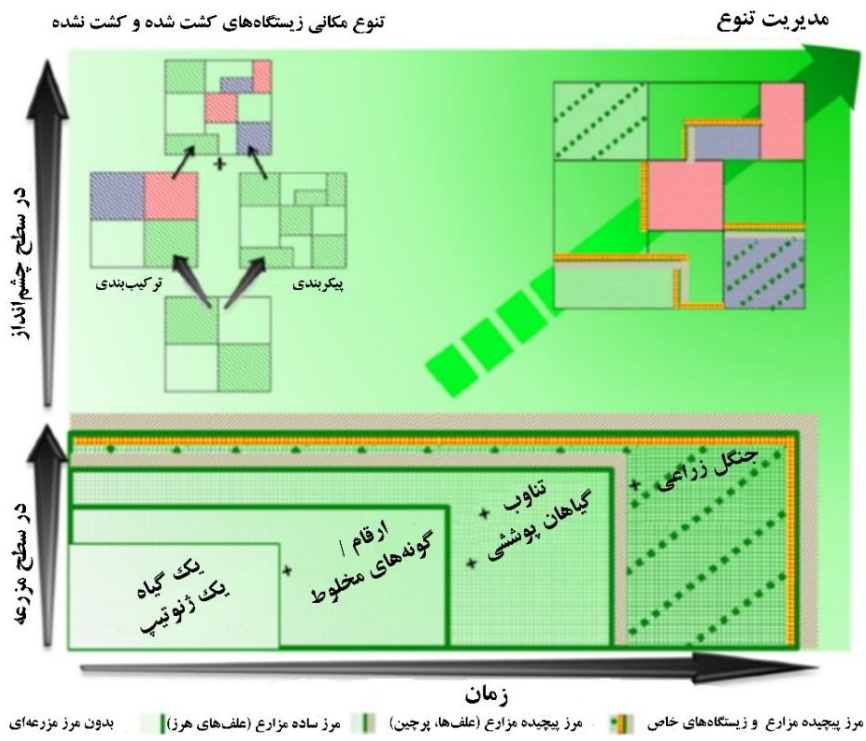
همچنین در مسیر افزایش تنوع در سطح مزرعه و بالاتر و در گذر زمان باید به مرزهای بین قطعات زمین و مزارع هم توجه شود. با توجه به شکل ۱۰-۳ در ابتدا وقتی یک گونه درون مزرعه کشت شده مرزی وجود ندارد (نوار سبز کم رنگ در شکل ۱۰-۳)، با افزایش ارقام و گیاهان مرزها توسعه داده می‌شوند که ابتدا شامل علف‌های هرز، چمن و نظیر این‌ها است و به آن مرز ساده گفته می‌شود (نوار سبز پر رنگ در شکل ۱۰-۳). پس از آن با افزودن گیاهان پوششی و تناوب، مرزهای پیچیده‌تر دیگری ایجاد می‌شود (نوار سبز پر رنگ ضخیم به همراه نوار خاکستری در شکل ۱۰-۳) و در نهایت با توسعه اگروفارستری در مزرعه، مرزی شامل زیستگاه‌های خاص و مرز پیچیده مزارع تشکیل می‌شود که ضخامت این مرزها با گذر زمان افزایش می‌یابد (نوار سبز پر رنگ ضخیم به همراه نوار خاکستری و زرد رنگ در شکل ۱۰-۳). در این‌جا گیاهان بیشتری

اضافه شده‌اند و عرض مرزها افزایش پیدا کرده است که به حفظ و بهبود تنوع زیستی کمک می‌کند.

اما مجموعه اقداماتی که در سطح چشم‌انداز در بعد زمانی و مکانی انجام می‌گیرد به این صورت است که مثلاً یک مزرعه از چهار قطعه تشکیل شده است (شکل ۱۰-۳). ممکن است که دو قطعه از آن زیر کشت یک گیاه (رقم) و دو قطعه دیگر آیش باشد. می‌توان با تغییر در بعد مکانی مزرعه شامل تغییر در (۱) پیکربندی[1] و (۲) ترکیب‌بندی[2] آن، تنوع زیستی را افزایش داد. در پیکربندی مزرعه می‌توان تعداد و اندازه قطعات آن را تغییر داد که به بهبود تنوع زیستی کمک می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است تعداد قطعات در مزرعه بیشتر و اندازه آن‌ها کوچک‌تر گردیده است که در افزایش تنوع زیستی مؤثر است. در ترکیب‌بندی مزرعه نیز می‌توان ترکیب و تعداد گیاهان کشت شده را تغییر داد. همان‌طور که در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است در ابتدا ترکیب قطعات مزرعه از کشت یک نوع گیاه و آیش تشکیل شده است که می‌توان با تغییر تعداد ارقام و یا کشت گیاهان پوششی به جای آیش در مزرعه، تنوع زیستی را افزایش داد. ترکیب این دو حالت که روش بهتری است افزایش تنوع زیستی بیشتری را به دنبال دارد.

در اینجا بایستی به این نکته توجه شود که در کشور ما متأسفانه قطعات مزارع بسیار کوچک می‌باشند و توصیه‌ای مبنی بر کوچک کردن قطعات مزرعه نبایستی صورت پذیرد. در نهایت پس از تغییر در اندازه قطعات مزرعه و نوع گیاهان کشت شده در آن، می‌توان به منظور افزایش تنوع در سطح چشم‌انداز در گذر زمان اگروفارستری را نیز به قطعات مزرعه اضافه نمود که به افزایش تنوع زیستی کمک فراوانی می‌کند.

[1] Configuration
[2] Composition



شکل ۱۰-۳- مکانیسم‌های کلیدی روش‌های اگرواکولوژیکی برای افزایش تنوع زیستی در بعد زمانی و مکانی.

۱۰-۱-۳-نوارهای گیاهی در حاشیه رودخانه‌ها

یکی دیگر از اقداماتی که جهت افزایش تنوع در مزرعه می‌توان انجام داد، کشت نوارهایی از گیاهان در کنار رودخانه است (در فصل ۹ توضیح داده شد). در این روش بین مزارع و آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و یا تالاب‌ها نواری از گیاهان را کشت می‌کنند تا نیتروژنی که از مزارع آبشویی شده توسط این گیاهان جذب شود و از حرکت خاک فرسایش یافته حاوی عناصر غذایی به سمت رودخانه ممانعت به عمل آورند و از آن استفاده کنند. این نوارهای گیاهی پناهگاه و غذای بسیاری از جانداران را تأمین کرده و به افزایش تنوع زیستی کمک می‌کنند. این روش هم به کاهش تغییر اقلیم و هم به مدیریت خاک کمک می‌کند (به فصل ۹ و ۱۱ مراجعه شود).

۱۰-۱-٤-نگرانی‌ها و مشکلات مرتبط با تنوع زیستی

افزایش تنوع باعث ایجاد نگرانی‌هایی می‌شود، به عنوان مثال ممکن است گیاهانی که در مرزها و حاشیه‌های مزارع به منظور افزایش تنوع زیستی کشت می‌شوند باعث شیوع بیماری‌ها و آفات در مزرعه گردند. این اتفاق در موارد روی داده است و ممکن است در موارد دیگری نیز رخ دهد. چراکه که گیاهان جدید، آفات و بیماری‌های جدیدی نیز به همراه دارند که ممکن است که به گیاهان مجاور و درون مزرعه خسارت وارد کنند. از آن‌جا که تنوع زیستی گیاهان افزایش یافته است، ممکن است تنوع آفات و بیماری‌های آن‌ها نیز بیشتر شود که می‌توانند در گیاهان متفاوت و در سال‌های مختلف ایجاد خسارت کنند و این نگرانی به‌جایی است که باید در مورد آن چاره‌اندیشی شود.

اما مهم‌ترین آفاتی که در کشاورزی وجود دارند به این صورت و از این راه اتفاق نیفتاده‌اند یعنی ناشی از افزایش تنوع زیستی نبوده است بلکه اکثر آن‌ها گونه‌های غیر بومی هستند که وقتی گیاهان در مساحت‌های بزرگ کشت شدند و یا به عبارت دیگر در اثر کشاورزی مدرن و صنعتی وارد سیستم‌های کشاورزی شده‌اند، سازگاری ویژه و تخصصی پیدا کرده و در اکوسیستم باقی مانده‌اند. اکثر آفات و بیماری‌های گیاهان زراعی مهم مانند گندم، سویا و نظیر این‌ها بومی منطقه و ناشی از تنوع زیستی آن نبوده‌اند بلکه گونه‌های غیربومی هستند که به آن منطقه وارد شده‌اند. با این حال باید به نگرانی‌هایی که در این ارتباط وجود دارد، توجه داشت.

از جمله مشکلات دیگری که در ارتباط با افزایش تنوع در اکوسیستم‌های کشاورزی وجود دارد به تبدیل تک‌کشتی به چندکشتی مربوط می‌باشد. تبدیل تک‌کشتی به چندکشتی مطلوب است و فواید متعددی از جمله افزایش تنوع زیستی دارد، اما شرایط و لوازمی هم نیاز دارد:

- ادوات: تبدیل تک‌کشتی به چندکشتی به ادوات جدیدی نیاز دارد. به عنوان مثال، کشاورز در تک‌کشتی پنبه فقط به بذرکار پنبه نیاز دارد ولی در چندکشتی به بذرکار گندم و یا گیاهان دیگر نیز احتیاج پیدا می‌کند که به سرمایه بیشتر و حتی زیرساخت به منظور نگهداری ادوات نیاز خواهد بود.

- ❖ تخصص: کشاورز باید تخصص چندکشتی را پیدا کند، به عنوان مثال، کشاورز متخصص پنبه-کاری است و کشت و کار گیاه جدیدی را بلد نیست بنابراین، بایستی برای او کلاس و دوره‌های آموزشی بگذارند یا خود کشاورز بایستی کشت و کار گیاهان جدید را بیاموزد.
- ❖ بازاریابی: وقتی در اثر چندکشتی محصولات بیشتری تولید می‌شوند، کشاورز باید به دنبال بازاریابی این محصولات جدید هم باشد. به‌عنوان مثال، کشاورز قبلاً فقط گندم تولید و آن را به دولت می‌فروخته است حالا در حالت چندکشتی که محصولات بیشتری تولید می‌کند بایستی به فکر بازار آن‌ها نیز باشد.
- ❖ نگهداری: نگهداری محصولات بیشتری که در چندکشتی تولید می‌شوند به انبار و زیرساخت‌های جدید و بیشتری نیاز دارد که بایستی به فکر آن‌ها بود.

موارد فوق می‌توانند مانعی برای افزایش تنوع در اکوسیستم‌های کشاورزی باشند. می‌توان کشاورزان را با اعطای یارانه، تسهیلات بانکی، بیمه محصولات، خرید تضمینی، تنظیم قیمت محصولات، برگزاری دوره‌ها و کلاس‌های آموزشی، تهیه بروشور و دفترچه‌های راهنما و نظیر این‌ها مورد حمایت قرار داد، چراکه این اتفاق خودبه‌خود صورت نمی‌گیرد. کشاورزی که به کشت تخصصی گیاهانی مثل پنبه، گندم و غیره عادت کرده است، به همان روش قبلی خود ادامه می‌دهد و هیچ علاقه‌ای ندارد که ریسک چندکشتی را به‌تنهایی بپذیرد و از مزایای چندکشتی نیز ممکن است که اطلاع و آگاهی نداشته باشد. پس لازم و ضروری است که در این مسیر به او کمک شود.

۱۰-۱-۵-بانک بذر[1]-بانک ژن[2]

به منظور مدیریت تنوع زیستی بانک بذر و یا بانک ژن ایجاد شده است که در آن بذر، تخم، گرده، جنین، اسپرم (دام) و سایر اندام‌های تولیدمثلی را جمع‌آوری و نگهداری می‌کنند. در دنیا دو بانک ژن مهم وجود دارد که عبارتند از:

---

[1] Seed bank
[2] Gene bank

۱- بانک ژن CGIAR[1]: متشکل از ۱۸ موسسه تحقیقاتی بین‌المللی است که با یکدیگر مشارکت و همکاری می‌کنند (شکل ۱۰-۴) و دارای ۱۱ بانک ژن می‌باشند که ۷۶۰۴۶۷ نمونه از بذور غلات، بقولات و سایر گیاهان را جمع‌آوری و نگهداری می‌کنند تا اگر روزی به آن‌ها نیاز باشد، بشر بتواند از آن‌ها استفاده کند.

۲- بانک بذر جهانی نروژ: بانک بذر جهانی در کشور نروژ که آب‌وهوای سرد دارد، احداث شده است که در آن بیش از ۹۰۰ هزار نمونه گیاهی را نگهداری می‌کنند (شکل ۱۰-۵).

شکل ۱۰-٤- برخی از مؤسسات زیر نظر بانک ژن CGIAR

شکل ۱۰-۵- بانک بذر جهانی

[1] CGIAR: Consultative Group on International Agricultural Research

۱۰-۲-مدیریت پایدار آفات

برای درک بهتر مدیریت پایدار آفات ابتدا مدیریت رایج آفات شرح داده خواهد شد. آفات یک واژه‌ی کلی است و شامل هر موجود زنده‌ای است که باعث کاهش محصول و خسارت به گیاهان یا دام‌هایی می‌شود که در کشاورزی پرورش می‌دهیم. آفات به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند:

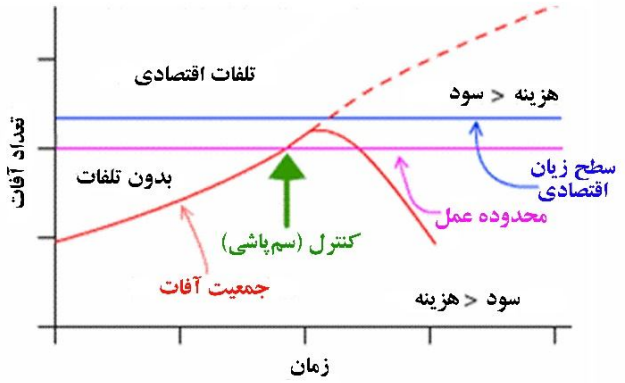
- آفات[1] (حشرات، کنه‌ها، جوندگان، پرندگان و...)
- بیماری‌ها[2] (قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و...)
- علف‌های هرز[3]

این‌که در کشاورزی رایج چگونه آفات را کنترل می‌کنند با کمک شکل ۱۰-۶ توضیح داده می‌شود. با گذشت زمان جمعیت آفت افزایش می‌یابد (خط قرمز در شکل ۱۰-۶). تا زمانی که این افزایش در زیر سطح مشخصی باشد که به آن سطح زیان اقتصادی[4] نیز می‌گویند (خط آبی در شکل ۱۰-۶)، خسارتی که آفت به مزرعه وارد می‌کند، اندک است و کنترل آن ارزش اقتصادی ندارد و معمولاً کنترل نمی‌شود. اما اگر جمعیت آفت از این سطح مشخص بالاتر رود (خط‌چین قرمز شکل ۱۰-۶)، بایستی آن را کنترل نمود چراکه خسارت اقتصادی معنی‌داری وارد می‌کند. در این شرایط توصیه می‌شود که آفت کنترل شود چراکه کنترل آن به صرفه‌تر است. نکته مهم دیگر این است که نبایستی اجازه داد تا جمعیت آفت از سطح زیان اقتصادی عبور کند، بلکه باید در محدوده‌ی پایین‌تری از جمعیت آفت که به آن آستانه‌ی عمل[5] گفته می‌شود (خط صورتی در شکل ۱۰-۶)، عملیات کنترل انجام گیرد. به عبارت دیگر، در یک محدوده‌ای قبل از این که جمعیت آفت به سطح زیان اقتصادی برسد، عملیات سم‌پاشی باید انجام گیرد (فلش سبز رنگ شکل ۱۰-۶). چرا در محدوده‌ای قبل از سطح زیان اقتصادی باید کنترل (سم‌پاشی) انجام شود؟ در

---

[1] Pests
[2] Diseases
[3] Weeds
[4] Economic Injury Level
[5] Acting threshold

پاسخ باید گفت که عملیات کنترل یا سم‌پاشی و اثرگذاری آن زمان‌بر است، بنابراین بایستی کنترل آفت را زودتر از اینکه جمعیت آن به سطح زیان اقتصادی برسد، انجام داد. خلاصه این‌که: در روش رایج، وقتی که جمعیت آفت به یک محدوده مشخصی (آستانه عمل) برسد سم‌پاشی صورت می‌گیرد تا از خسارت اقتصادی جلوگیری به عمل آید. این سم‌پاشی جمعیت آفت را به زیر آستانه عمل کاهش می‌دهد. اگر جمعیت آفت مجدداً افزایش پیدا کرد و به این آستانه رسید، عملیات کنترل تکرار می‌شود.



شکل ۱۰-٦- روش رایج کنترل آفت

روش رایج در کنترل آفات به موارد زیر توجه دارد:

- ❖ جمعیت آفت (تراکم): در روش رایج در ابتدا برآوردی از جمعیت آفت انجام می‌گیرد.
- ❖ برآورد خسارت مورد انتظار: با توجه به جمعیت آفت، برآوردی اقتصادی از خسارتی که ممکن است به مزرعه وارد شود، صورت می‌گیرد.
- ❖ ارزیابی اقتصادی خسارت: این ارزیابی می‌تواند بر اساس خسارت آفت به ظاهر محصول و مزرعه انجام گیرد، به عنوان مثال، ارزیابی برگ‌هایی که توسط آفت خورده شده یا زرد شده و از بین رفته است.
- ❖ کارایی روش مبارزه: کارایی روشی که به منظور کنترل آفت استفاده می‌شود و درصد کنترل و موفقیت آن باید معلوم باشد.

❖ هزینه مبارزه: هزینه‌ای که روش مبارزه با آفت دارد لحاظ می‌شود.

بنابراین، در روش رایج با توجه به منحنی جمعیت آفت (شکل ۱۰-۶) و عواملی که در بالا ذکر شد (جمعیت آفت، برآورد خسارت، ارزیابی اقتصادی خسارت، کارایی روش مبارزه و هزینه مبارزه) جمیعت آفت را کنترل می‌کنند.

۱۰-۲-۱-نگرانی‌های مرتبط با مدیریت رایج آفات

در روش مدیریت رایج آفات ملاحظاتی وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرند که در سه دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

- راهبردها: راهبرد به معنی خط مشی می‌باشد. در مدیریت آفات چند راهبرد وجود دارد که عبارتند از:

۱- پیشگیری (طرد): بایستی با انجام اقدامات و قوانین قرنطینه‌ای مانع ورود آفات به کشاورزی کشور، استان، شهر و هر محدوده مد نظر شد. پیشگیری و قرنطینه معمولاً برای منطقه‌ی بزرگ انجام می‌گیرد چون قرنطینه یک مزرعه به سختی امکان‌پذیر است. در این روش آفت جدید اجازه ورود پیدا نمی‌کند.

۲- ریشه‌کنی: از بین بردن کامل آفت یعنی هر تعدادی از آفت که وجود دارد را باید از بین برد تا به صورت کامل نسل آفت در منطقه نابود شود و حتی یک مورد هم مشاهده نگردد.

۳- کاهش جمعیت: با روش‌هایی که وجود دارد جمعیت آفت را بایستی کاهش داد تا به سطح زیان اقتصادی نرسد.

۴- عدم اقدام: در برخی مواقع لازم است که اقدامی صورت نگیرد به عنوان مثال در زمانی که جمعیت آفت زیر سطح زیان اقتصادی قرار دارد نیاز به اقدام خاصی نمی‌باشد.

مواردی که بیان شد راهبردهای مقابله با آفات (آفت، بیماری و علف‌های هرز) می‌باشند. باید این نکته را در نظر داشت که در برنامه‌ریزی کشاورزی از کدام یک از راهبردهای بالا استفاده می‌گردد: مورد ۱ و ۲ معمولاً در سطح منطقه، استان و یا کشور انجام می‌گیرد.

• در روش مدیریت رایج آفات بیشتر روش شیمیایی توصیه می‌شود ولی روش این تنها روش کنترل آفات نمی‌باشد بلکه روش‌های مختلفی برای کنترل آفات وجود دارد که عبارتند از:

۱- زیستی (در بخش ۱۰-۲-۴ توضیح داده خواهد شد)

۲- شیمیایی: استفاده از سموم

۳- فیزیکی: مانند جمع‌آوری آفت، آفتابدهی خاک (پوشاندن سطح خاک توسط پلاستیک که بذور علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها را کنترل می‌کند)، سوزاندن آفات و نظیر این‌ها

۴- زراعی: شامل استفاده از تناوب زراعی، شخم زدن، یخ آب دادن زمین و مشابه این‌ها.

باید در نظر داشت که برای کنترل آفات لازم نیست حتماً از یک راهبرد و یک روش استفاده کرد، بلکه می‌توان گزینه‌های مختلف یا مجموعه‌ی آن‌ها را استفاده کرد. برای مثال، نباید فقط از راهبرد کاهش جمعیت و روش شیمیایی (سم‌پاشی) استفاده نمود. نگرانی‌هایی مرتبط با مصرف آفت‌کش‌ها نیز وجود دارند که عبارتند از:

❖ اثرات بر دشمنان طبیعی آفات: سم‌پاشی علاوه بر آفات، بسیاری از حشرات مفید مانند دشمنان طبیعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با کاهش جمعیت دشمنان طبیعی کنترل آفات بیشتر به سموم متکی خواهد شد که اثرات منفی زیادی دارد.

❖ سمیت برای زنبورها و سایر حشرات گرده‌افشان: کاهش جمعیت حشرات بر گرده‌افشانی گیاهان دگرگشن اثر می‌گذارد و باعث کاهش محصول می‌شود. برای گرده‌افشانی درختان دو عامل نقش دارند یک عامل باد است و عامل دیگری حشرات (برای گیاهان دگرگشن) هستند که در اثر سم‌پاشی جمعیت حشرات کم می‌شود در نتیجه عملکرد درختان نیز ممکن است کاهش پیدا می‌کند.

❖ اثر بر حیات وحش: سم‌پاشی بر روی برخی از جانداران حیات وحش اثر دارد که در برخی باعث عقیم‌شدن آن‌ها می‌شود و ممکن است نسل آن‌ها را در معرض انقراض قرار دهد.

❖ سمیت برای گیاهان و مخصوصاً باقی‌مانده در محصولات: باقی‌مانده‌ی سموم در محصولات و گیاهان مختلف برای سلامتی انسان و دام مضر است و عوارض بسیار خطرناکی (مثل سرطان) را ممکن است ایجاد کند که در این زمینه مطالعات مختلفی انجام شده است.

- ایجاد آفات ثانویه: زمانی‌که سم‌پاشی صورت می‌گیرد و آفات اصلی از بین می‌روند، برخی آفات که اهمیت کمتری دارند با از بین رفتن آفات اصلی ظهور پیدا می‌کنند و به آفت مهمی تبدیل می‌شوند. مطالعات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد سم‌پاشی مکرر آفت اصلی را از بین می‌برد ولی آفتی که قبلاً اهمیت نداشته را به آفتی مهم تبدیل می‌کند.
- مقاومت به آفت‌کش‌ها ایجاد می‌گردد: در طی سال‌های مختلف استفاده از آفت‌کش‌ها باعث از بین رفتن گونه‌های حساس شده و سایرین که مقاوم‌تر هستند، باقی می‌مانند. این گونه‌های مقاوم رشد و تکثیر یافته و جامعه غالب را تشکیل می‌دهند که توسط سموم آفت‌کش از بین نمی‌روند. در این حالت اجباراً مقدار، تعداد و غلظت سموم افزایش می‌یابد که اثرات مخرب بیشتری را برای محیط‌زیست به دنبال دارد.

به‌طور خلاصه: روش رایج مدیریت آفات بیشتر به راهبرد کاهش جمعیت آفات از طریق روش شیمیایی (سمپاشی) متکی می‌باشد در صورتی که راهبرد و روش‌های متعدد دیگری نیز وجود دارد. در جداول ۱۰-۱، ۱۰-۲ و ۱۰-۳ به ترتیب خلاصه‌ای از روش‌های مدیریت علف‌های هرز، حشرات آفات و بیماری‌های گیاهی در کشاورزی نشان داده شده است. علاوه بر این، مصرف آفت‌کش‌ها نگرانی‌هایی نیز ایجاد کرده است که ضروری است برای آن‌ها چاره‌اندیشی شود.

جدول ۱۰-۱ خلاصه‌ای از روش مدیریت علف‌های هرز در کشاورزی (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۰).

روش مدیریت	ملاحظات
زیستی	
حشرات	اغلب نیازمند تلاش منطقه‌ای است
علف‌کش‌های قارچی	قارچ‌هایی که باعث بیماری‌ها در علف‌های هرز می‌شوند
چرای انتخابی	بز، گوسفند، غاز و غیره
شیمیایی	
علف‌کش‌ها	مواد شیمیایی مصنوعی
فیزیکی‌و مکانیکی	
وجین دستی	استفاده از کج‌بیل، هنوز بیرون کشیدن با دست به‌طور گسترده‌ای کاربرد دارد

	شخم	روش مکانیکی به طور گسترده‌ای استفاده شده اما نیازمند انرژی است
	برش[1]	روش مکانیکی به طور گسترده‌ای استفاده شده اما نیازمند انرژی است
	سوزاندن	شامل بقایای گیاهی، آتش کنترل‌شده
	شعله‌دهی[2]	روش قدیم، گرم‌کردن علف‌های هرز تا درجه حرارت کشنده
	سترون‌کردن خاک	کاربرد گلخانه‌ای دارد، خاک‌های استفاده شده برای نشاء
	آفتاب‌دهی خاک[3]	گرم‌کردن خاک در زیر پلاستیک شفاف
	مالچ‌پاشی	ممانعت فیزیکی از سبزشدن علف‌های هرز
	غرقاب	تنها در شرایط ویژه
	آیش	اثرات نامطلوب بر ساختار، حاصلخیزی و فرسایش خاک
پیشگیری		
	قرنطینه	سطوح منطقه‌ای، استانی و کشوری
	بازرسی بذر	محدودکردن بذور علف‌های هرز در داخل بذور گیاهان زراعی
	پراکنش محدود بذر	در تجهیزات، حیوانات، خاک، کود دامی و نشاء
زراعی		
	عملیات کاشتی که رقابت گیاه زراعی را بهبود می‌بخشند	
	فاصله ردیف باریک	تراکم گیاه زراعی را افزایش و فضای باز را به حداقل می‌رساند
	افزایش تراکم بذر	تراکم گیاه زراعی را افزایش و فضای باز را به حداقل می‌رساند
	نشاءکاری در مقابل کشت مستقیم بذر	رشد گیاه زراعی را جلو می‌اندازد
	تاریخ کاشت مطلوب	سودمند برای برخی گیاهان زراعی و علف‌های هرز
	رقم زراعی با قابلیت رقابت بالا	خاصیت دگرآسیبی، مقاوم به علف‌کش‌ها و غیره
	مدیریت مصرف کود	بستگی به تقاضای نیتروژن گیاه زراعی در مقابل علف‌های هرز دارد
	عملیات کاشتی که تعداد علف‌های هرز را کاهش می‌دهد	
	گیاهان پوششی[4]	شکستن چرخه علف‌های هرز با گیاه زراعی که قدرت رقابت بالایی دارد
	گیاهان تناوبی[5]	شکستن چرخه علف‌های هرز با گیاه زراعی که قدرت رقابت بالایی دارد
	کشت مخلوط	گیاهان مطلوب فضاهای خالی را پر می‌کنند
	مالچ زنده	شامل پوشش زمین در باغ
	مالچ پاشی	تجزیه بقایا ممکن است بر علف‌های هرز اثر بگذارد

[1] Moving
[2] Flaming
[3] Soil solariation
[4] Cover crops
[5] Rotation crops

جدول ۱۰-۲- خلاصه‌ای از برخی روش‌های مدیریت حشرات آفت در کشاورزی (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۰).

روش مدیریت	ملاحظات
زیستی	
شکارچیان	غیرتخصصی‌ترین عوامل زیستی
انگل‌واره‌ها	اغلب به شدت تخصصی
عوامل بیماری‌زا	ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها، آغازیان و نماتدها
آزادسازی نرهای عقیم	تلاش ناحیه‌ای در شرایط خاص
شیمیایی	
حشره‌کش‌ها	فراورده‌های طبیعی و مصنوعی
کنه‌کش‌ها	علیه کنه‌کش‌ها
دفع‌کننده‌ها	تنها در شرایط خاص
جذب‌کننده‌ها	فرمون‌ها
فیزیکی	
سترون‌سازی خاک	تنها در شرایط خاص
جمع‌آوری دستی	ناکارآمد، محدود به مقیاس کوچک
تله‌ها	شامل کاغذهای مگس‌کش، تله‌های چسبناک و غیره
موانع	تنها در شرایط خاص
گرما	کنترل پس از برداشت آفات حشره‌ای در تولیدات انباری
تشعشع	کنترل پس از برداشت آفات حشره‌ای در تولیدات انباری
غرقاب	تنها در شرایط خاص
شخم	مؤثر بر بعضی انواع حشرات
سوزاندن	از بین برنده‌ی آفات در بقایای گیاهی
پیش‌گیری	
قرنطینه	برنامه‌های ناحیه‌ای و دولتی
بهداشت	
بقایای گیاهی	پاکسازی مهم است
مکان‌های زمستان‌گذرانی	پاکسازی مهم است
میوه‌های خسارت‌دیده	پاکسازی مهم است
میزبان‌های جایگزین	پاکسازی مهم است
هرس	ممکن است دسترسی برخی را به درختان محدود کند
زراعی	

عملیاتی که به گیاه سود می‌رساند	
ارقام مقاوم	اثرات فیزیکی یا تغذیه‌ای
تغذیه‌ی گیاهی	یک تبادل
زمان‌بندی کاشت	مفید برای برخی موارد
برداشت زود	خسارت آفات را کاهش می‌دهد
عملیاتی که ممکن است حشرات موجود روی گیاه را کاهش دهد	
تناوب گیاهی	مفید در برابر حشراتی که دامنه‌ی میزبان محدودی دارند: محدودکردن تحرک
گیاهان پوششی	مفید در برابر حشراتی که دامنه‌ی میزبان محدودی دارند: محدودکردن تحرک
ناهمگونی مکانی	تنوع را در چند حوزه کاهش می‌دهد
کشت مخلوط	تعداد حشرات در گیاه اصلی را کاهش می‌دهد
گیاهان تله	با جذب حشرات آن‌ها را از گیاه اصلی دور می‌کنند
تنوع ناحیه‌ای	در حاشیه مزارع و چشم‌انداز

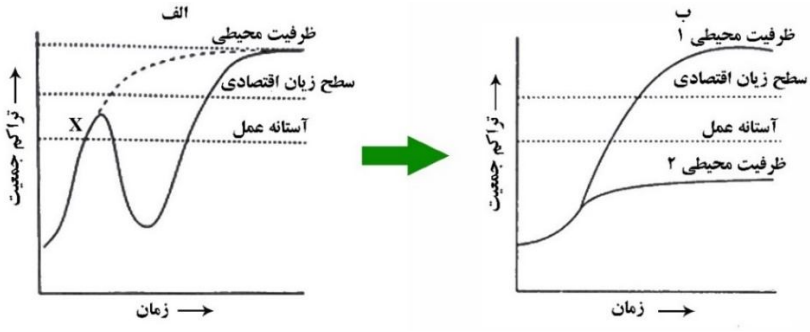
جدول ۱۰-۳- خلاصه‌ای از روش‌های مدیریت بیماری‌های گیاهی در کشاورزی (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۰).

روش مدیریتی		ملاحظات
زیستی		
	انگل‌ها	در برابر باکتری‌ها و قارچ‌ها
	حفاظتی تقاطعی	در برابر ویروس‌ها
شیمیایی		
	قارچ‌کش‌ها	قارچ مورد نظر
	باکتری‌کش‌ها	باکتری مورد نظر
	حشره‌کش‌ها	حشره‌ی ناقل ویروس‌های گیاهی
فیزیکی		
	سترون‌سازی خاک	افزایش درجه حرارت خاک تا حدی که برای عوامل بیماری‌زای گیاهی کشنده است
	آفتاب‌دهی خاک	افزایش درجه حرارت خاک تا حدی که برای عوامل بیماری‌زای گیاهی کشنده است
	آب داغ	تیمار مواد رنده گیاهی
	سوزاندن	از بین برنده‌ی عوامل بیماری‌زای گیاهی موجود در بقایای گیاهی
	غرقاب	منحصر به شرایط خاص
	پرتودهی	تنها پس از برداشت

	سردسازی	کندکننده‌ی پیشرفت بیماری پس از برداشت
	شخم	بسته به شرایط فرق می‌کند
پیشگیری		
	قرنطینه	در سطح کشور، استان و منطقه
	برنامه‌های گواهی	بذر و مواد گیاهی عاری از بیماری
	بهداشت	روش‌های متعدد برای محدودسازی ورود بیماری
	انتخاب مکان	گیاه در مکان‌های عاری از بیماری
	پاکسازی تجهیزات	اجتناب از پراکنش بیماری روی ابزار، خاک، تراکتور و غیره
	حذف بقایای گیاهی	از بین بردن منبع پراکنش بیماری
	حذف میزبان‌های جایگزین	علف‌های هرز میزبان ویروس‌ها و سایر عوامل
	وجین	حذف گیاهان آلوده شده
	هرس	قطع چوب بیمارشده
زراعی		
	میزبان- عملیاتی که سلامی گیاه را بهبود می‌بخشد:	
	ارقام مقاوم	روشی مهم برای مدیریت بیماری
	تغذیه گیاه	برای نیازهای گیاه بیش از عامل بیماری‌زا مساعد است
	نشاکاری در مقابل کشت مستقیم بذر	کاهش قرارگرفتن در معرض بیماری‌های سمی در طی مرحله‌ی گیاهچه‌ای
	کاشت سطر بذر	کاهش قرارگرفتن در معرض بیماری‌های خاکی در طی مرحله‌ی گیاهچه‌ای
	محیط- عملیاتی که عوامل مساعد برای بیماری‌ها را کاهش می‌دهند:	
	نوع آبیاری	رطوبت برگ را به حداقل می‌رساند
	فاصله‌ی ردیف عریض	گردش هوا و خشک‌شدن شاخ و برگ را افزایش می‌دهد
	تراکم پایین گیاهی	گردش هوا و خشک‌شدن شاخ و برگ را افزایش می‌دهد
	تنظیم زمان کاشت	در برخی شرایط مفید
	عامل بیماری‌زا- عملیاتی که ممکن است عوامل بیماری‌زای گیاهی را کاهش دهند:	
	آهک‌پاشی	بر عوامل بیماری‌زای که نیاز به pH پایین دارند مؤثر است
	تناوب زراعی	سودمند در برابر عوامل بیماری‌زای خاک
	گیاهان پوششی	بسته به شرایط فرق می‌کند
	اصلاح مواد آلی	بسته به شرایط فرق می‌کند

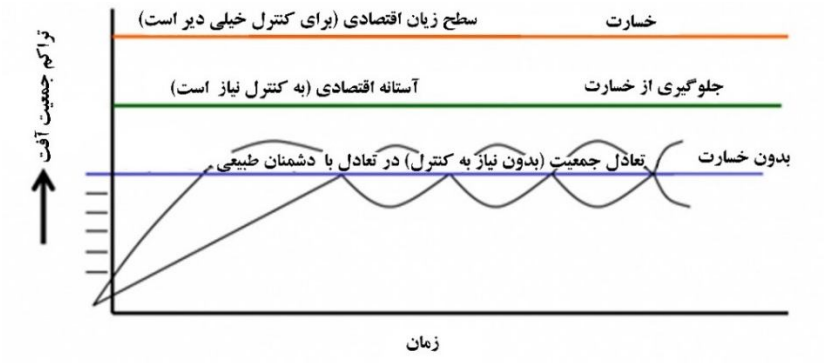
۱۰-۲-۲-اساس اکولوژیک مدیریت آفات

اساس و مبنای اکولوژیک مدیریت آفات ساده است: به این صورت که به‌جای کاهش جمعیت یا تراکم آفت از طریق سم‌پاشی باید ظرفیت محیطی برای آفات کاهش یابد یعنی اقداماتی صورت پذیرد که محیط برای حیات آفت نامناسب و محدودکننده باشد و جمعیت آفت به حدی نرسد که لازم باشد سم‌پاشی انجام گیرد. شکل ۱۰-۷الف نحوه مدیریت رایج آفات را نشان می‌دهد، زمانی که جمعیت آفت به آستانه عمل می‌رسد (نقطه X) سم‌پاشی صورت می‌گیرد تا جمعیت آفت کاهش یابد؛ در صورت عدم سم‌پاشی جمعیت آفت تا ظرفیت محیطی افزایش می‌یابد و خسارت سنگینی به محصول وارد می‌شود. در مدیریت اکولوژیک آفات که بر اساس شکل ۱۰-۷ ب انجام می‌گیرد، ظرفیت محیطی برای آفت طی اقداماتی که تحت عنوان مدیریت اکولوژیک آفات انجام می‌شود از حالت ۱ به ۲ کاهش می‌یابد، طوری که حتی در بالاترین تراکم جمعیت آفت، جمعیت به آستانه عمل نمی‌رسد و به سم‌پاشی مزرعه نیز نیاز نمی‌باشد. از مفهوم اساس اکولوژیک آفات در سیستم مدیریت تلفیقی آفات[1] نیز استفاده می‌گردد (شکل ۱۰-۸). اکنون این پرسش مطرح می‌شود که چگونه این اقدام قابل انجام است؟ در پاسخ باید گفت از طریق مدیریت تلفیقی آفات می‌توان ظرفیت محیطی برای آفت را کاهش داد طوری که جمعیت آفت در زیر سطح آستانه عمل نگه داشته شود و به استفاده از سموم نیازی نباشد.



شکل ۱۰-۷- تفاوت مدیریت رایج (الف) و اکولوژیک (ب) آفات

[1] Integrated Pest Management: IPM



شکل ۱۰-۸- مدیریت تلفیقی آفات

۱۰-۲-۳-مدیریت تلفیقی آفات

همان‌طور که گفته شد در مدیریت تلفیقی آفات، کاهش ظرفیت محیطی نکته کلیدی است و از طریق روش‌های زیر قابل اجرا است:

- ایجاد محیط فعال از نظر بیولوژیک و سالم در خاک: یعنی باید تنوع زیستی و ماده‌ی آلی خاک بالا باشد و همچنین خاک دارای تهویه مناسب باشد، مکرر غرقاب نشود یا طوری مدیریت نگردد که شور شود. به عبارت دیگر، باید خاک سالم و فعال نگه داشته شود. مخصوصاً ماده‌ی آلی خاک در حد مناسب باشد که به افزایش جانداران دیگر در خاک کمک می‌کند.
- باید اقداماتی را انجام داد تا سایر جانداران خاکزی برای خود غذا و پناهگاه در خاک پیدا کنند که در خاک این اقدام توسط افزایش ماده‌ی آلی انجام می‌گیرد و نیز در چشم‌انداز، مرزها و پرچین‌ها این کار باید پیگیری شود.
- از طریق عملیات زراعی مثل شخم باید زندگی برای آفت سخت و دشوار گردد و از طرف دیگر زندگی برای دشمنان طبیعی آفت راحت‌تر و مساعدتر گردد. البته این‌که چه اقدامی انجام گیرد به آفت بستگی دارد که جزییات در اینجا توضیح داده نمی‌شود. یعنی باید آفت را شناخت و سپس بررسی نمود که با کدام عملیات زراعی می‌توان شرایط برای آفت را نامساعد ساخت تا جمعیت آن افزایش پیدا نکند.

- ❖ از تناوب زراعی برای ایجاد اختلال در چرخه حیاتی آفات استفاده گردد. یعنی با عوض‌کردن گیاه زراعی چرخه‌ی آفات شکسته می‌شود. به عنوان مثال، برای کنترل آفت نماتد چغندرقند تناوب زراعی خیلی مؤثر عمل می‌کند یعنی با تناوب قرار دادن چغندرقند با سایر گیاهان می‌توان شرایطی ایجاد کرد که جمعیت نماتد اصلاً به آن حدی نرسد که نیاز باشد سم‌پاشی صورت پذیرد.
- ❖ برای گیاه زراعی از تراکم مناسب استفاده شود و سایر مدیریت‌ها مثل کوددهی، آبیاری و نظیر این‌ها به درستی انجام شوند طوری که گیاه رشد مطلوبی داشته باشد؛ گیاهانی که رشد مطلوبی دارند از آفات خسارت کمتری می‌بینند.
- ❖ گیاهان تله‌ای کشت شود. این گیاهان در قطعاتی در درون مزرعه و یا اطراف آن کشت می‌گردند که برای آفات از گیاهان اصلی جذاب‌تر هستند و آفات به گیاهان حمله می‌کند. این گیاهان را می‌توان شخم زد و یا این‌که به حال خود رها نمود تا آفات از آن‌ها تغذیه کنند و یا این که فقط این گیاهان سم‌پاشی گردند و کل مزرعه سم‌پاشی نشود.
- ❖ از گیاه و رقم مقاوم به آفت استفاده شود (به‌ویژه ارقام محلی) که این مورد از اهمیت زیادی برخوردار است. به عنوان مثال، فرض کنید از یک رقم گندم استفاده می‌کنید که به بیماری زنگ مقاوم است پس به سم‌پاشی علیه بیماری زنگ نیاز پیدا نمی‌کنید.

به‌طور کلی با استفاده از روش‌های بالا می‌توان محیط را برای آفات نامساعد نمود که جمعیت آن‌ها به حدی نرسد که لازم باشد سم‌پاشی انجام گیرد که در مدیریت تلفیقی این کار را انجام می‌دهند. اگر از طریق موارد بالا کنترل آفات در مدیریت تلفیقی آفات امکان‌پذیر نبود و نیاز باشد که مداخله (منظور از مداخله لزوماً سم‌پاشی نیست) صورت پذیرد بایستی به موارد زیر توجه داشت:

- درک این نکته که وجود تعداد کم آفات مشکلی ایجاد نمی‌کند یعنی گاهی نیاز نیست که اقدامی علیه آفات صورت پذیرد.
- باید جمعیت آفات و خسارت آن‌ها را پایش و دیده‌بانی نمود و اگر نیاز به مداخله بود در ابتدا از روش‌های مبتنی بر کنترل زیستی استفاده شود و اگر نیاز بود که از روش‌های شیمیایی

استفاده گردد از قبل از چرخه حیاتی آفت و اکولوژی آن شناخت حاصل گردد. در مرحله‌ی آخر اگر لازم بود از آفت‌کش استفاده شود، آن هم با شناخت کافی از آفت. در این مرحله نیز بایستی از آفت‌کش‌هایی استفاده شود که خسارت کمتری وارد می‌کنند. برای اکثر آفات و بیماری‌ها می‌توان چند سم پیدا کرد که آن آفت و یا بیماری را از بین می‌برند. از میان آن‌ها باید سمی را انتخاب نمود که ضرر کمتری برای محیط‌زیست در پی دارد و یا سایر جانداران غیر هدف را به میزان کمتری تحت تأثیر قرار می‌دهد که در این حالت به حفظ تنوع زیستی نیز کمک می‌شود.

- باید از آفت‌کش‌های متنوع استفاده گردد، یعنی همیشه از یک نوع آفت‌کش استفاده نشود چون همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد در صورت استفاده مداوم از یک نوع آفت‌کش، آفات نسبت به آن مقاوم می‌شوند. پس باید به طور مداوم آفت‌کش‌ها تغییر کنند تا آن مقاومت در آفات شکل نگیرد.

۱۰-۲-٤-کنترل بیولوژیک آفات[1]

در کنترل بیولوژیک آفات برای کنترل یا کاهش جمعیت آفات از سایر موجودات زنده مانند دشمنان طبیعی آن‌ها استفاده می‌شود که مبتنی بر مفاهیم زیر است:

- شکار[2]: بر اساس روابط شکار و شکارچی است. یعنی یک جاندار، جاندار دیگری را شکار می‌کند، به عنوان مثال، کفشدوزک که شته را شکار می‌کنند.
- انگلی[3]: بر اساس روابط انگلی که بین موجودات وجود دارد، استفاده می‌شود. یعنی جاندار انگل روی یا درون یک موجود دیگر (میزبان) تخم‌گذاری می‌کند و در روی و یا درون میزبان، لارو انگل ایجاد می‌شود و میزبان که می‌تواند آفت باشد را از بین می‌برد؛ مانند زنبور تریکوگراما که در تخم سایر حشرات (پروانه‌ها) تخم‌گذاری می‌کند و آن‌ها را از بین می‌برد.

---

[1] Biological pest control
[2] Predators
[3] Parasitoids

- عوامل بیماری‌زا[1]: برخی از پاتوژن‌ها که برای آفات ایجاد بیماری می‌کنند و آن‌ها را از بین می‌برد.
- رقبا[2]: ازدیاد جمعیت رقبای آفات (که برای اکوسیستم کشاورزی مضر نیستند) که باعث کاهش جمعیت آفات می‌شود.
- سایر مکانیسم‌ها

مکانیسم‌هایی که در بالا نام برده شد در مدیریت تلفیقی آفات استفاده می‌شود. برخی از آن‌ها که مبتنی بر دخالت انسان در اکوسیستم‌های کشاورزی است به سه طریق زیر استفاده می‌شوند:

۱- وارد کردن[3]: دشمنان طبیعی آفات از محیط خارج از اکوسیستم کشاورزی وارد می‌شود.

۲- تکثیر و زیاد کردن[4]: دشمنان طبیعی در محیط وجود دارد و آن‌ها را تکثیر و پرورش می‌دهند.

۳- حفاظت[5]: دشمنان طبیعی که در محیط وجود دارند از طریق روش‌های مختلفی محافظت و نگهداری می‌کنند.

از نمونه‌های موفق کنترل بیولوژیک آفات می‌توان استفاده از کفشدوزک برای کنترل شپشک مرکبات و شته درختان (شکل ۱۰-۹)، زنبورهای تریکوگراما برای کنترل پروانه‌ها (شکل ۱۰-۱۰) و بالتوری سبز برای کنترل شته‌ها نام برد.

اما کنترل بیولوژیک آفات برخی مشکلاتی نیز در پی دارد که عبارتند از:

❖ اثرات جانبی (اثر منفی بر حشرات و جانداران مفید): در برخی موارد عامل زیستی که به منظور کنترل آفات وارد اکوسیستم می‌شود، مشکل‌ساز شده و حتی در برخی موارد خودش به آفت تبدیل می‌گردد. به عنوان مثال یک نوع قورباغه را از هاوایی به استرالیا وارد کردند تا آفت سوسک مزارع نیشکر را کنترل کند. اما از آنجا که ارقام نیشکر در استرالیا پا بلند بودند و حشرات در ارتفاع بالا قرار داشتند این قورباغه از انجام این کار ناتوان بود. از طرفی این

[1] Pathogens
[2] Competitors
[3] Importation
[4] Augmentation
[5] Conservation

قورباغه ترشحاتی از پوست خود دارد که حاوی مواد سمی است که مشکلات زیست‌محیطی فراوانی را در استرالیا ایجاد کرده است. مثال‌های متعدد موفق و ناموفق دیگری نیز وجود دارد که نشان از اهمیت این موضوع دارد و بایستی دقت بسیار زیاد عمل شود.

- ❖ آموزش کشاورزان: در این روش باید به کشاورزان آموزش‌های لازم جهت توانمندسازی برای به‌کارگیری این روش‌ها ارائه شود.
- ❖ زمان‌بر بودن: مثل سایر روش‌های کشاورزی پایدار، بسیاری از روش‌های کنترل بیولوژیک نیز زمان‌بر است یعنی این گونه نیست که سریع آفت را کنترل کنند. به عنوان مثال، دشمن طبیعی برای سازگاری در محیط ممکن است چندین فصل زمان نیاز داشته باشد که پس از آن می‌تواند آفات اختصاصی را کنترل کند.

شکل ۱۰-۹- شکار شته توسط کفشدوزک

شکل ۱۰-۱۰- پارازیت لارو آفت توسط زنبور تریکوگراما

۱۰-۳-خلاصه

مهم‌ترین راه‌های حفظ و یا بهبود تنوع زیستی در کشاورزی عبارتند از:

- بهره‌برداری «به اندازه» از منابع آب و خاک
- توقف گسترش کشاورزی با تبدیل اراضی طبیعی (جنگل و مرتع) به اراضی کشاورزی
- افزایش ماده‌ی آلی خاک

- خاک‌ورزی حفاظتی
- نوارهای فیلتری کنار رودخانه‌ها
- پرچین‌ها، مرزها، لکه‌های بین و داخل مزارع
- استفاده از ارقام و گیاهان متنوع‌تر در کشاورزی (تناوب زراعی)

مدیریت پایدار آفات در کشاورزی باید به صورت زیر عمل نمود:

- در ابتدا بایستی آفت را بهتر شناخت. وقتی که آفت را نمی‌شناسیم سم‌پاشی زیادی انجام می‌دهیم که ممکن است اثرگذار نیز نباشد. اگر کنترل با شناخت کامل انجام گیرد به اصطلاح تیر درست به هدف زده می‌شود. با مقدار کم سم و با سمی که ضرر کمتری دارد کنترل امکان‌پذیر خواهد بود.
- ظرفیت محیطی برای آفت را برای آفات کم کنیم.
- از روش‌های غیر شیمیایی و ایمن‌تر برای محیط‌زیست استفاده کنیم.
- کنترل شیمیایی آخرین حربه باشد.
- از مواد شیمیایی کم خطرتر و متنوع‌تر استفاده کنیم.

تکلیف درسی

۱- برای این بخش درس خلاصه‌ای نیم تا یک‌صفحه‌ای تهیه کنید.

۲- از اقدامات یا کارهایی که در کشاورزی انجام می‌شود یک لیست طلایی و یک لیست قرمز تهیه کنید.

✓ لیست طلایی: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین مزیت یا اثر مثبت است، دارای هزینه کم و پذیرش اجتماعی می‌باشد

✓ لیست قرمز: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین عیب یا اثر منفی است.

فصل یازدهم
مدیریت پایدار زمین و خاک

در این فصل به روش‌های مرتبط با مدیریت پایدار (منابع) زمین و خاک پایدار پرداخته می‌شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد خاک سالم خاکی است که دارای ویژگی‌ها و خصوصیات زیر باشد:

- ماده آلی و تنوع زیستی بالا داشته باشد
- از ساختمان خوبی برخوردار باشد
- فراهمی مناسبی از عناصر غذایی داشته باشد
- ریشه گیاهان بتوانند در آن عمیق‌تر رشد کنند
- مجموعه شرایط بالا باعث می‌شود که گیاهان در این خاک در برابر تنش‌های محیطی و زیستی (آفات) مقاومت بالایی داشته باشد

همچنین قبلاً اشاره شد که در طی فصل‌های متمادی کشت محصولات مختلف، خاک زیر و رو می‌شود و ممکن است که ماده آلی و عناصر غذایی خاک تخلیه شوند، فرسایش افزایش یابد و اگر اقدامی انجام نشود عملکرد کاهش پیدا می‌کند، یعنی اکوسیستم کشاورزی دچار ناپایداری می‌گردد. علاوه بر این، آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند شور شدن و زوال خاک را به دنبال داشته باشد. اکوسیستم‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک شکننده هستند و در صورت عدم توجه به مدیریت مناسب ممکن است به بیابان تبدیل شود. علاوه بر این، گفته شد یکی از راه‌های مهم آلودگی و زوال خاک‌های جهان، فعالیت‌های کشاورزی است که مواد مختلفی از جمله مواد شیمیایی را در خاک باقی می‌گذارد. حال با توجه به این مسائل باید دید که چه روش‌ها و اقداماتی

را می‌توان در جهت مدیریت پایدار زمین و خاک اعمال کرد؟

روش‌های مدیریت پایدار منابع زمین و خاک در این فصل در دو بخش توضیح داده خواهند شد:

۱- پنج روش مهم برای افزایش سلامت خاک و پایداری تولید عبارتند از:

۱- تغذیه و کوددهی متوازن خاک

۲- افزایش ماده آلی خاک

۳- حداقل‌سازی خاک‌ورزی

۴- پوشاندن سطح خاک (آفتاب نبیند)

۵- کشت گیاهان متنوع (تناوب زراعی)

(شایان ذکر است که موارد ۳ تا ۵ به‌صورت ترکیبی در سیستم کشاورزی حفاظتی[1] استفاده می‌شوند: مراجعه شود به فصل ۱۴).

۲- مدیریت خاک برای پیش‌گیری از شورشدن

۱۱-۱-روش‌های افزایش سلامت خاک و پایداری تولید

۱۱-۱-۱-تغذیه و کوددهی متوازن خاک

همان‌طور که می‌دانیم با برداشت گیاهان، عناصر غذایی نیز از خاک برداشت می‌شوند و از مزرعه خارج می‌گردند. اگر مقدار برداشت کم باشد، فرآیندهای طبیعی مانند تجزیه مواد آلی، هوازدگی خاک و یا تثبیت نیتروژن توسط رعدوبرق و همچنین توسط جانداران آزادزی خاک، آن را جبران می‌کنند. اما در کشاورزی معمولاً در اکثر موارد مقدار خروج عناصر غذایی از خاک زیاد است، بنابراین بایستی به کوددهی توجه گردد، چراکه بدون اضافه کردن کود ممکن است عملکرد محصولات به صورت معنی‌داری کاهش پیدا کند و خاک تضعیف شده و دچار زوال و نابودی گردد. از طرف دیگر، اگر کوددهی بیش از اندازه یا غیر علمی انجام شود، باعث آلودگی آب و خاک می‌گردد. به عنوان مثال مقدار، زمان و روش نامناسب استفاده از کود باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی منابع آب و خاک می‌شود. ممکن است تصور شود که کشاورزی

[1] Conservation Agriculture

پایدار در تضاد با کاربرد کود است در حالی‌که این‌طور نیست بلکه کشاورزی پایدار به مقدار، زمان و روش مناسب استفاده از کود تأکید دارد. منظور این است که سعی شود تا با انواع روش‌ها و کمک‌هایی که از فرآیندهای طبیعی در سیستم گرفته می‌شود، مقدار کودی که از خارج وارد مزرعه می‌گردد، کمتر باشد.

کوددهی یک روشی علمی و با جزئیات زیاد می‌باشد که کتاب‌های متعددی در این ارتباط نوشته شده است. بنابراین، در این‌جا کوددهی توضیح داده نمی‌شود اما توضیحات کلی ارائه می‌گردد. وقتی محصولی کشت و برداشت می‌گردد، به صورت سرانگشتی می‌توان مقدار کودی که به آن داده شود را محاسبه کرد. برای این منظور باید میزان عناصری که محصول از خاک خارج کرده است را برآورد نمود، سپس مقداری نیز به آن اضافه کرده و مجموع این دو، مقدار کودی است که بایستی به زمین افزوده شود. اکنون این پرسش مطرح می‌شود که چرا مقدار بیشتری کود به آن میزان خارج شده عناصر توسط محصول، اضافه می‌گردد؟ در پاسخ باید گفت که چون مقداری تلفات وجود دارد؛ یعنی برای این‌که مقدار مشخصی کود به گیاه برسد باید مقدار بیشتری به زمین اضافه نمود که این مقدار بیشتر در مسیر و به طرق مختلف از دسترس گیاه خارج می‌شود (در ادامه توضیح داده خواهد شد).

مقدار خروج عناصر از طریق معادله ۱۱-۱ و ۱۱-۲ محاسبه می‌گردد:

معادله ۱۱-۱ خروج با محصول اصلی (مثل دانه گندم) = مقدار محصول × غلظت عنصر

معادله ۱۱-۲ خروج با محصول فرعی (مثل کاه گندم) = مقدار محصول × غلظت عنصر

میزان غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام دارای ارزش اقتصادی و بقایای گیاهان، درصد رطوبت و درصد خروج بقایای آن‌ها از مزرعه در جدول ۱۱-۱ نشان داده شده است. با استفاده از جدول ۱۱-۱ و معادلات ۱۱-۱ و ۱۱-۲ می‌توان میزان خروجی عناصر از خاک را محاسبه نمود. به عنوان مثال، دانه گندم ۲/۱ درصد نیتروژن دارد، یعنی در هر ۱۰۰ گرم دانه گندم، ۲/۱ گرم نیتروژن وجود دارد پس با برآورد میزان محصول گندم برداشت‌شده (کیلو یا تن) و ضرب آن در غلظت نیتروژن می‌توان مقدار نیتروژن خارج شده از خاک را محاسبه نمود. همچنین

به همین ترتیب می‌توان میزان فسفر و پتاس خارج‌شده را محاسبه نمود. برخی گیاهان محصول فرعی نیز دارند که باید در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، محصول فرعی گندم، کاه و کلش است که ۰/۶۵ درصد نیتروژن دارد، یعنی در هر ۱۰۰ گرم کاه و کلش گندم، ۰/۶۵ گرم نیتروژن وجود دارد. در اغلب شرایط برای حفظ تعادل عناصر در خاک بایستی مقداری که خارج‌شده را به زمین برگرداند.

جدول ۱۱-۱- غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام دارای ارزش اقتصادی و بقایای گیاهان مورد مطالعه، درصد رطوبت و درصد خروج بقایای آن‌ها از مزرعه (مأخذ: زینلی و همکاران، ۱۳۹۸).

نام گیاه	اندام اقتصادی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	رطوبت	اندام اقتصادی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	خروج بقایا
آفتاب‌گردان	دانه	۳/۲۰	۰/۶۳	۰/۷۲	۱۰	کاه‌وکلش	۰/۵۵	۰/۱۴	۱/۵۲	۰
برنج	دانه	۱/۳۳	۰/۲۹	۰/۲۸	۱۳	کاه‌وکلش	۰/۷۰	۰/۰۹	۱/۵۰	۷۰
پنبه	وش	۲/۵۳	۰/۴۱	۰/۴۹	۱۰	کاه‌وکلش	۰/۹۸	۰/۱۰	۱/۶۰	۰
جو	دانه	۱/۹۵	۰/۴۲	۰/۵۴	۱۳	کاه‌وکلش	۰/۷۰	۰/۱۰	۱/۸۰	۸۰
چغندرقند	ریشه	۰/۸۵	۰/۲۵	۱/۵۴	۸۰	بخش‌هوایی	۲/۳۰	۰/۲۲	۳/۰۰	۵۰
ذرت دانه‌ای	دانه	۱/۶۰	۰/۳۲	۰/۳۴	۱۳	کاه‌وکلش	۰/۹۷	۰/۱۰	۱/۵۰	۰
ذرت‌علوفه‌ای	علوفه	۱/۲۵	۰/۲۰	۱/۰۰	۷۰	–	–	–	–	–
سویا	دانه	۵/۸۳	۰/۶۶	۱/۵۰	۱۰	کاه‌وکلش	۱/۲۴	۰/۱۶	۰/۵۷	۷۰
سیب‌زمینی	غده	۱/۶۰	۰/۲۵	۲/۰۰	۷۶	بخش‌هوایی	۲/۰۰	۰/۲۰	۳/۹۵	۳۵
شبدر	علوفه	۲/۵۱	۰/۳۵	۱/۴۴	۱۵	–	–	–	–	۱۰۰
عدس	دانه	۴/۳۰	۰/۴۳	۰/۸۶	۱۲	کاه‌وکلش	۱/۱۰	۰/۱۴	۱/۲۰	۱۰۰
کلزا	دانه	۳/۹۰	۰/۶۲	۰/۴۷	۱۰	کاه‌وکلش	۰/۵۵	۰/۱۰	۰/۸۰	۰
کنجد	دانه	۳/۲۰	۰/۶۳	۰/۴۷	۱۰	کاه‌وکلش	۰/۳۶	۰/۲۸	۱/۵۱	۱۰۰
گندم	دانه	۲/۱۰	۰/۴۰	۰/۴۶	۱۳	کاه‌وکلش	۰/۶۵	۰/۰۶	۱/۲۰	۸۰
لوبیا	دانه	۴/۰۰	۰/۵۴	۱/۲۴	۱۲	کاه‌وکلش	۱/۲۰	۰/۱۴	۱/۳۰	۱۰۰
نخود	دانه	۳/۶۰	۰/۴۰	۱/۲۰	۱۲	کاه‌وکلش	۰/۸۵	۰/۱۶	۱/۲۰	۱۰۰
نیشکر	ساقه	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۲۰	۷۵	برگ	۰/۴۱	۰/۰۷	۰/۱۲	۱۰۰
یونجه	علوفه	۲/۵۰	۰/۲۶	۲/۱۰	۱۵	–	–	–	–	۱۰۰
انار	میوه	۰/۶۰	۰/۱۰	۱/۰۴	۷۸	–	–	–	–	–
انجیر	میوه	۰/۵۷	۰/۰۷	۱/۱۱	۷۹	–	–	–	–	–

انگور	میوه	۰/۵۷	۰/۰۶	۰/۹۹	۸۱	–	–	–	–	–
بادام	میوه	۲/۵۰	۰/۳۷	۰/۷۵	۱۵	–	–	–	–	–
پرتقال	میوه	۰/۸۷	۰/۱۴	۱/۳۵	۸۵	–	–	–	–	–
پسته	میوه	۲/۰۰	۰/۳۱	۱/۲۵	۱۵	–	–	–	–	–
خرما	میوه	۰/۴۰	۰/۰۵	۰/۸۴	۲۵	–	–	–	–	–
زردآلو	میوه	۱/۶۵	۰/۱۴	۲/۱۷	۸۶	–	–	–	–	–
زعفران	میوه	۱/۷۶	۰/۲۵	۱/۷۲	۱۰	–	–	–	–	–
زیتون	میوه	۰/۳۰	۰/۱۴	۱/۲۵	۴۵	–	–	–	–	–
سیب	میوه	۰/۳۵	۰/۰۵	۰/۷۵	۸۵	–	–	–	–	–
گردو	میوه	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۴۱	۱۵	–	–	–	–	–
هلو	میوه	۱/۰۰	۰/۱۲	۱/۵۵	۸۵	–	–	–	–	–
پیاز	میوه	۲/۲۰	۰/۳۵	۱/۲۰	۸۹	–	–	–	–	–
خربزه	میوه	۰/۹۰	۰/۱۶	۲/۵۸	۹۰	–	–	–	–	–

در سطح بالاتر باید به موازنه عناصر غذایی در زمین و مزرعه توجه داشت؛ یعنی باید راه‌هایی که عناصر به مزرعه یا زمین وارد و یا از آن خارج می‌شوند را در نظر داشت و بین این دو توازن برقرار نمود. جداول ۱۱-۲ و ۱۱-۳ به ترتیب موازنه عناصر غذایی در زمین و مزرعه را نشان داده است.

ورودی‌های عناصر غذایی در یک قطعه زمین در مزرعه شامل کودها، بذور، گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن (حبوبات و بقولات) و یا مقدار اندکی رسوب از اتمسفر است و خروج این عناصر توسط تولیدات برداشت شده (کیلوگرم) و میزان عناصر موجود در آن‌ها تعیین می‌گردد. ورودی‌های عناصر غذایی در کل مزرعه شامل کودها، بذور، نهال، علوفه و حیوانات (دام‌ها) جدید می‌باشد و خروجی‌های عناصر غذایی از طریق شیر، گوشت، تخم‌مرغ، دانه‌ها، کود دامی (اگر فروخته شود و یا در مزرعه دیگری استفاده شود)، حیوانات فروخته‌شده و نظیر این‌ها انجام می‌گیرد. در کشاورزی پایدار بایستی در درازمدت بین ورودی‌ها و خروجی‌های زمین و مزرعه تعادل برقرار باشد یعنی مقدار عناصر خروجی با ورودی‌ها برابر باشد. در غیر این صورت عناصر غذایی خاک تخلیه می‌شود، ماده آلی آن کاهش می‌یابد و در نتیجه عملکرد و تولیدات کشاورزی کاهش پیدا می‌کند.

جدول ۱۱-۲ موازنه عناصر غذایی در یک قطعه زمین

ورودی‌های عناصر غذایی در زمین	خروج عناصر غذایی توسط گیاهان
مقدار کود (کیلوگرم) × نیتروژن-فسفر-پتاسیم در هر کیلوگرم (یا درصد عناصر نیتروژن-فسفر-پتاسیم) بذور (کیلوگرم) × نیتروژن-فسفر-پتاسیم در هر کیلوگرم (یا درصد عناصر نیتروژن-فسفر-پتاسیم) تثبیت نیتروژن رسوب از اتمسفر	تولیدات برداشت‌شده (کیلوگرم) × نیتروژن-فسفر-پتاسیم در هر کیلوگرم (یا درصد عناصر نیتروژن-فسفر-پتاسیم)

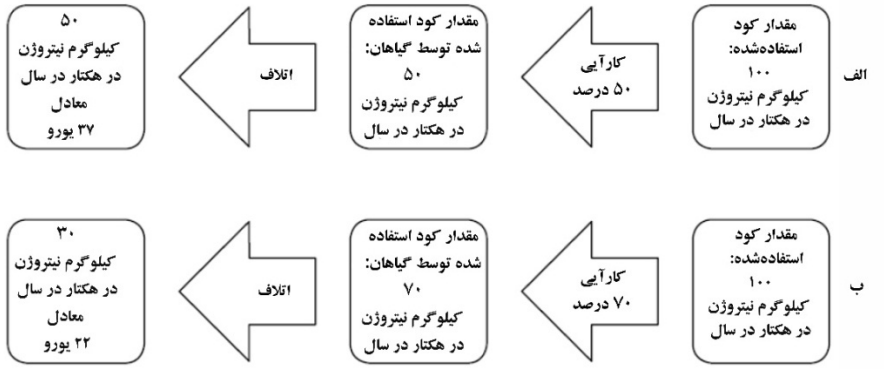
جدول ۱۱-۳ موازنه عناصر غذایی در کل مزرعه

ورودی‌های عناصر غذایی به مزرعه	خروج عناصر غذایی توسط تولیدات
کودها	شیر، گوشت، تخم‌مرغ و ...
بذور	دانه‌ها
نهال	کود (اگر به مزرعه دیگری داده شود)
علوفه	حیوانات فروخته‌شده
حیوانات جدید	

کارایی بازیافت[1] عناصر از موارد مهم دیگری است که باید در تغذیه و کوددهی متوازن خاک به آن توجه نمود. کارایی بازیافت برابر است با مقدار جذب‌شده عنصر از کود توسط گیاه به مقدار عنصر اضافه‌شده به صورت کود. تأثیر کارایی بازیافت بر تلفات عنصر با دو مثال الف و ب که در شکل ۱۱-۱ آورده شده است، توضیح داده می‌شود. در شکل ۱۱-۱ الف ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن استفاده شده است که کارایی بازیافت آن ۵۰ درصد بوده است؛ یعنی گیاه ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن را جذب کرده است و مابقی آن (۵۰ کیلوگرم) تلف شده است؛ در این حالت کارایی بازیافت نیتروژن ۵۰ درصد بوده است. بنابراین، کارایی بازیافت یعنی چه درصدی از عنصری که به صورت کود به گیاه داده می‌شود در مسیر تا رسیدن به گیاه، تلف می‌شود. در این‌جا کارایی بازیافت ۵۰ درصد به این معنی می‌باشد که اگر ۱۰۰ کیلوگرم کود مصرف

[1] Recovery efficiency

کرده‌اید، ۵۰ کیلوگرم از آن به گیاه رسیده و ۵۰ کیلوگرم دیگر تلف شده است. در شکل ۱۱-۱ ب همان میزان ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن اما با کارایی ۷۰ درصد استفاده شده است؛ یعنی ۳۰ کیلوگرم آن در راه رسیدن به گیاه تلف شده است. در این حالت کارایی بازیافت ۷۰ درصد می‌باشد.



شکل ۱۱-۱- مقایسه تأثیر کارایی بازیافت بر تلفات عنصر

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که کارایی‌های مختلفی مانند ۵۰ یا ۷۰ درصد چگونه رخ می‌دهد؟ در پاسخ باید گفت که این به اصول کوددهی و تغذیه گیاه و نیز شرایط خاک بازمی‌گردد. به عنوان مثال، اگر کود اوره بر روی سطح خاک پخش شود و با خاک مخلوط نگردد، در این صورت تلفات آن افزایش می‌یابد. حال اگر کود اوره در آب حل شود یا با خاک مخلوط شود و یا در درون خاک وارد گردد، تلفات آن کاهش پیدا می‌کند. علاوه بر این، اگر کود زمانی استفاده شود که گیاه نیاز کمتری به آن دارد مقدار تلفات به شدت افزایش می‌یابد. در موارد دیگری مثل زمانی‌که گیاه به آفات و امراض دچار شده است و رشد مناسبی ندارد نیز تلفات کودی افزایش پیدا می‌کند. همچنین مصرف کود در زمانی‌که خاک از تهویه‌ی مناسبی برخوردار نیست باعث افزایش دنیتریفیکاسیون (تبدیل نیترات به گاز نیتروژن در شرایط بی‌هوازی خاک توسط میکروب‌ها) می‌شود که تلفات کودی را افزایش می‌دهد. بنابراین، مدیریت کوددهی و شرایط خاک اهمیت فراوانی دارد و این‌که چه مقدار کود، با چه روشی و در چه زمانی مصرف شود بر روی تلفات آن و مقدار کودی که به گیاه می‌رسد تأثیرگذار است.

به‌طور متوسط کارایی بازیافت نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب برابر با ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۵ می‌باشد. به عبارت دیگر، ۵۰ درصد نیتروژن، ۲۵ درصد فسفر و ۵۰ درصد پتاسیم موجود در کود به‌کاررفته جذب گیاه می‌شود و باقی آن تلف می‌گردد. کارایی بازیافت ثابت نیست و بسته به گیاه و محیط می‌تواند متفاوت از مقادیر متوسط ذکر شده باشد. بنابراین، در صورتی که مقادیر دقیق‌تر آن در دسترس هستند باید از آن‌ها برای برآورد کود لازم استفاده کرد. بر اساس کارایی بازیافت، اگر کشاورزی قصد داشته باشد که مقدار ۵۰ کیلوگرم جذب نیتروژن از محل کود اوره صورت پذیرد، مقدار کود مصرفی به شکل اوره (حدود ۵۰ درصد نیتروژن دارد) باید ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار لحاظ کند. ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره دارای ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن است که نیمی از آن یعنی ۵۰ کیلوگرم در هکتار توسط گیاه جذب خواهد شد (با توجه به کارایی بازیافت). به عنوان مثال دیگر، چنانچه جذب ۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از محل کودی که ۲۰ درصد فسفر دارد مدنظر باشد، مقدار کود مورد نیاز برابر ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار خواهد بود. نکته مهمی که باید به آن اشاره شود این است که در برخی مواقع این تلفات دائمی نیست به عنوان مثال فرض کنید وقتی که کود فسفر به کار برده می‌شود، بخشی از آن در خاک تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود ولی بعداً می‌تواند آزاد شده و در دسترس گیاه قرار گیرد. اما در برخی مواقع ممکن است که کودهای مصرفی (مانند نیتروژن) از طریق آبشویی به طور دائم از دسترس گیاه خارج شود که این مورد آلودگی‌های زیست‌محیطی و مشکلات فراوانی را ایجاد می‌کند.

به‌طورکلی در تغذیه و کوددهی متوازن خاک باید به نکات زیر توجه داشت:

- کوددهی بر اساس شناخت گیاه و خاک باشد.
- کوددهی بر اساس آزمون‌های خاک و گیاه باشد.
- در صورت محدودیت برای انجام آزمون‌ها در مزارع کشاورزان، دست کم به صورت منطقه‌ای انجام و استفاده شوند.
- در صورت محدودیت برای انجام آزمون‌ها، از روش‌های محاسباتی مختلف استفاده شود.
- به منظور کاربرد مقدار مناسب و جلوگیری از کمبودها و کوددهی اضافه بر نیاز، بروشورهای ساده برای کشاورزان تهیه شود تا علاوه بر دستیابی به عملکرد مناسب، تخلیه و تلفات عناصر

غذایی خاک صورت نگیرد و همچنین آلودگی محیط‌زیست نیز کاهش یابد.

اثرات و کاربرد کوددهی محدود به موارد بالا نیست بلکه در موارد مهم دیگری مانند غنی‌سازی[1] محصولات کشاورزی و غذایی نیز کاربرد دارند. به عنوان مثال فرض کنید با اضافه‌کردن کلسیم به کودها می‌توان کلسیم گیاهان علوفه‌ای را افزایش داد؛ در نتیجه شیر گاوهایی که از آن‌ها تغذیه می‌کنند حاوی کلسیم بیشتری خواهد بود که این به رفع کمبود کلسیم در انسان‌ها کمک می‌کند. در برخی کشورها از جمله کشور ما کمبود کلسیم وجود دارد که پوکی استخوان و مشکلات دیگری را ایجاد نموده است و از این طریق می‌توان این مشکل را رفع نمود. در مثال دیگری در کشور فنلاند با وضع قوانین، شرکت‌ها را مجبور کردند تا به کودهایشان سلنیم اضافه کنند چون در این کشور کمبود ذاتی سلنیم وجود دارد که باعث بیماری‌های قلبی شده است. در نتیجه آن‌ها با این کار توانسته‌اند به موفقیت بالایی در مبارزه با بیماری‌های قلبی در این کشور دست پیدا کنند. بنابراین، از کودها می‌توان برای غنی‌سازی محصولات کشاورزی و غذایی نیز استفاده کرد.

۱۱-۱-۲-افزایش ماده آلی خاک

روش دیگری که برای مدیریت پایدار خاک وجود دارد، افزایش ماده آلی خاک است. همان‌طور که قبلاً گفته شد خاک زیستگاه و خانه بسیاری از موجودات مثل کرم‌ها، حشرات و همچنین میلیون‌ها میکروب می‌باشد که بقایای گیاهی و جانوری را تجزیه می‌کنند و در چرخه‌ی عناصر مختلف در خاک نقش دارند. در اثر این تجزیه، عناصر غذایی در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. علاوه بر این، ماده‌ی آلی اثرات و فواید متعددی در خاک دارد: در بهبود ساختمان خاک و کاهش فرسایش نقش دارد و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک و تهویه‌ی آن را افزایش می‌دهد، همچنین اثرات دیگری نیز دارد که در این‌جا به همه آن‌ها اشاره نمی‌گردد. بنابراین، ماده‌ی آلی نقش مهمی در خاک و پایداری آن دارد. چگونه می‌توان ماده‌ی آلی خاک را افزایش داد؟ روش‌های افزایش ماده آلی در سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که به صورت زیر است:

[1] Enrichment

۱- کاهش تجزیه ماده آلی خاک:

- خاک را بایستی کمتر به هم زد چراکه زیاد به هم بخوردن و خاک‌ورزی آن باعث افزایش اکسیداسیون ماده‌ی آلی شده و در نتیجه میزان ماده آلی خاک کاهش می‌یابد
- آتش نزدن بقایای گیاهی (مثلاً در مزارع گندم در استان گلستان آتش‌زدن بقایا متداول است و کشاورزان برای تهیه بستر کشت گیاه بعدی که معمولاً سویا می‌باشد بقایای گندم را آتش می‌زنند که در واقع بقایای گیاهی تجزیه شده و از بین می‌روند)
- کوددهی متوازن: باید توجه داشت که اگر کمبود عناصر پیش بیاید در واقع تجزیه ماده‌ی آلی تسریع می‌شود.

۲- کاهش خروج ماده آلی (بقایا) از زمین: مقدار بقایایی که از مزرعه خارج می‌شود بایستی کاهش یابد تا مقدار بقایای بیشتری در مزرعه باقی بماند. به عنوان مثال، در کشت گندم می‌توان ۶۰ یا ۷۰ یا ۸۰ درصد بقایا را از مزرعه خارج کرد که طبیعتاً خروج کمتر به افزایش ماده آلی خاک کمک می‌کند.

۳- اضافه کردن مستقیم یا غیرمستقیم ماده آلی به خاک به روش‌های مختلف:

- کمپوست یا کود دامی و یا سایر مواد آلی غیر مضر به خاک اضافه شوند.
- گیاهانی کشت شوند و برداشت و خارج نشوند مثل کشت گیاهان پوششی، گیاهان همراه و یا کود سبز.
- از تناوب زراعی متنوع‌تر استفاده شود که باعث می‌شود ماده‌ی آلی خاک افزایش پیدا کند.
- گیاهان علوفه‌ای دائمی (چندساله) کشت شوند که در افزایش ماده‌ی آلی خاک نقش زیادی دارند.
- از اگروفارستری استفاده شود (به فصل ۱۴ مراجعه شود).

۱۱-۱-۳-حداقل‌سازی خاک‌ورزی

حداقل‌سازی خاک‌ورزی روش دیگری است که در مدیریت پایدار زمین و خاک استفاده می‌شود. هر گونه بهم زدن سطح خاک را خاک‌ورزی می‌گویند. خاک‌ورزی یک اصطلاح کلی

است به عنوان مثال شخم، دیسک، کولتیواتور، هرس، بذرکار و هر کاربرد هر دستگاه دیگری که خاک را خراش دهد و یا برگرداند را خاک‌ورزی می‌گویند. اکنون این پرسش مطرح می‌شود که چرا خاک‌ورزی انجام می‌شود؟ مهم‌ترین اهداف خاک‌ورزی به صورت زیر است:

- معمولاً برای نرم کردن خاک و تهیه بستر بذر خاک‌ورزی انجام می‌گیرد که یکی از اهداف مهم خاک‌ورزی است.
- برای از بین بردن علف‌های هرز از خاک‌ورزی استفاده می‌شود.
- به منظور اختلاط مواد آلی، بقایا و کودها با خاک از خاک‌ورزی استفاده می‌کنند.
- اگر خاک فشرده شده باشد از خاک‌ورزی استفاده می‌کنند تا فشردگی خاک برطرف شود. در این حالت از زیرشکن استفاده می‌کنند که لایه‌های سخت خاک به‌ویژه لایه سخت[1] زیرین را برطرف کنند.
- برای کنترل بیماری‌ها و آفات خاک‌زی نیز از خاک‌ورزی استفاده می‌گردد.

اما خاک‌ورزی مشکلات و مسائلی برای خاک به دنبال دارد که عبارتند از:

- خاک‌ورزی به خاک آسیب می‌زند، به این صورت که ساختمان خاک را تخریب و ماده آلی آن را کاهش می‌دهد.
- از آن‌جا که بسیاری از بذور علف‌های هرز برای جوانه‌زنی به نور نیاز دارند. خاک‌ورزی با آوردن بذر علف‌های هرز به سطح خاک سبب جوانه‌زنی و سبزشدن آن‌ها می‌شود و در نتیجه تعداد آن‌ها را افزایش می‌دهد و باعث خسارت و مزاحمت‌های می‌شوند. هرچند که انجام خاک‌ورزی علف‌های هرز موجود را از بین می‌برد.

برای کاهش مسائل و مشکلات ناشی از خاک‌ورزی بایستی آن را به حداقل ممکن رساند. خاک‌ورزی باید فقط برای رفع برخی مشکلات مثل فشرده بودن خاک استفاده شود. یکی از مهم‌ترین راه‌های حداقل‌سازی خاک‌ورزی، استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی[2] است.

خاک‌ورزی حفاظتی چیست؟ خاک‌ورزی حفاظتی یعنی خاک‌ورزی طوری انجام گیرد که

[1] Hardpan
[2] Conservation tillage

حداقل ۳۰ درصد بقایای گیاهی روی خاک باقی بماند. در خاک‌ورزی حفاظتی بیش از ۳۰ درصد بقایا نیز می‌تواند روی خاک باقی بماند ولی کمتر از حد مشخص شده به عنوان خاک‌ورزی حفاظتی شناخته نمی‌شود؛ یعنی اگر کمتر از ۳۰ درصد بقایا در خاک باقی بماند آن خاک‌ورزی از نوع حفاظتی نیست. در شکل ۱۱-۲ مقایسه‌ای بین خاک‌ورزی حفاظتی با رایج نشان داده شده است. در خاک‌ورزی رایج برای کشت گیاه در ابتدا زمین را شخم سپس دیسک و بعد کولتیواتور می‌زنند سپس گیاه کشت می‌شود و ممکن است برای کنترل علف‌های هرز نیاز باشد دوباره کولتیواتور زده شود. اما در خاک‌ورزی حفاظتی این اقدامات کاهش پیدا می‌کند. به عنوان مثال، در خاک‌ورزی کاهش‌یافته[1] دو مرحله شخم و دیسک حذف شده است و فقط با کولتیواتور زدن بستر کشت آماده شده است. در حالت بدون خاک‌ورزی[2] از دستگاه‌های مرکب استفاده می‌گردد که این دستگاه‌ها با یک بار عبور تراکتور از زمین، تمامی اقدامات لازم برای کاشت بذر را انجام می‌دهند یعنی شیار ایجاد کرده، بذر را کاشته روی آن خاک ریخته و یا همزمان مقداری کود و یا سم نیز به زمین اضافه می‌کنند و دیگر نیاز نیست که تراکتور ۵ الی ۳ بار وارد زمین شود و این اقدامات را انجام دهد و در نتیجه تردد کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی رایج، اقدامات جهت کشت گیاه از ۵ مورد به ۳ مورد در خاک‌ورزی کاهش‌یافته و به ۱ مورد در بدون خاک‌ورزی کاهش می‌یابد که این دو حالت خاک‌ورزی (کاهش‌یافته و بدون خاک‌ورزی) از نوع حفاظتی می‌باشند.

به‌طور کلی خاک‌ورزی حفاظتی سه ویژگی دارد:

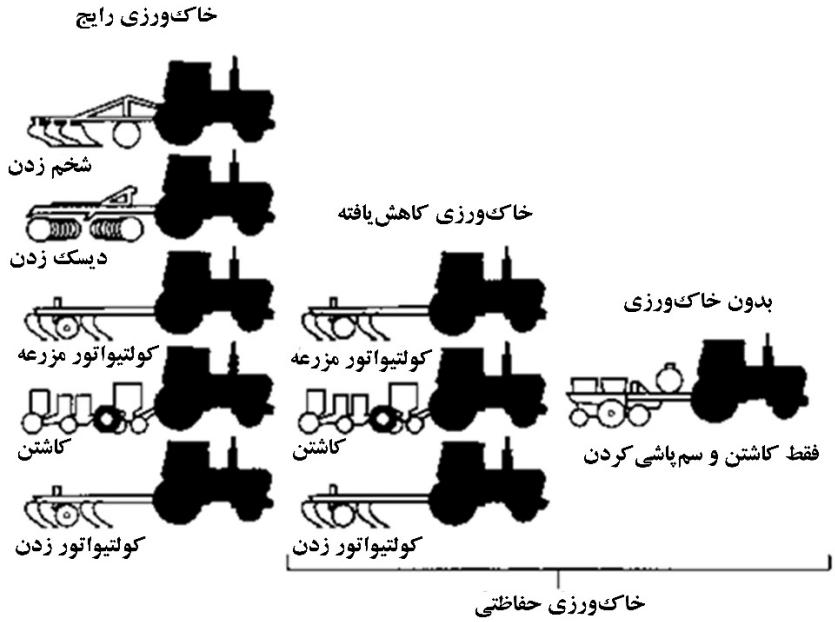
۱- تردد ماشین‌آلات و عملیات در مزرعه کاهش می‌یابد و در نتیجه مصرف سوخت، انرژی و نیروی کارگری کاهش پیدا می‌کند.

۲- بقایای گیاهی را در سطح زمین باقی می‌گذارد (در مورد اثرات آن بعداً توضیح داده می‌شود).

۳- ناهمواری سطح زمین (زبری) افزایش پیدا می‌کند (وجود بقایای گیاهی ناهمواری‌های سطح زمین را افزایش می‌دهد که باعث کاهش فرسایش آبی و بادی می‌گردد).

---

[1] Reduced tillage
[2] No tillage



شکل ۱۱-۲- مقایسه خاک‌ورزی حفاظتی و رایج

امروزه خاک‌ورزی حفاظتی در جهان گسترش زیادی پیدا کرده است. به عنوان مثال زمین‌های تحت خاک‌ورزی حفاظتی در استرالیا در سال ۲۰۰۰ میلادی ۲۶ درصد بوده است در حالی‌که در سال ۲۰۰۷ میلادی به ۵۷ درصد و در سال ۲۰۱۷ میلادی به ۷۹ درصد افزایش یافته است. همچنین زمین‌های تحت خاک‌ورزی حفاظتی در آرژانتین، برزیل و پاراگوئه به ترتیب ۸۰، ۵۰ و ۹۰ درصد می‌باشد. بنابراین همان‌طور که مشخص است در کشورهایی با آب‌وهوای خشک مثل استرالیا و یا مرطوب مثل برزیل این نوع خاک‌ورزی با گسترش زیادی همراه بوده است. اما متأسفانه در کشور ما زمین‌های تحت خاک‌ورزی حفاظتی بسیار ناچیز است و عمدتاً از خاک‌ورزی رایج استفاده می‌شود، درحالی‌که خاک‌ورزی حفاظتی برای کشور ما می‌تواند فواید زیادی داشته باشد.

به‌طور کلی دلایل رونق و گسترش خاک‌ورزی حفاظتی در بسیاری از کشورهای دنیا ناشی از موارد زیر است:

- با توجه به گسترش و توسعه علف‌کش‌ها در جهان در خاک‌ورزی حفاظتی از علف‌کش‌ها

برای از بین بردن علف‌های هرز استفاده می‌کنند و دیگر نیازی به خاک‌ورزی برای کنترل آن‌ها نمی‌باشد.

- خاک‌ورزی حفاظتی به ماشین‌آلات و ادوات خاصی نیاز دارد و با توجه به این‌که در اکثر نقاط دنیا ماشین‌آلات و ادوات خاک‌ورزی حفاظتی توسعه و بهبود پیدا کرده است، امکان انجام آن در اغلب مناطق جهان فراهم شده است.
- بسیاری از کشورها برای حفظ زمین و خاک قوانینی را وضع کرده‌اند، یعنی هر کسی نمی‌تواند هر کاری که دلش می‌خواهد را با خاک انجام دهد؛ به عنوان مثال، قانون افراد و کشاورزان را به انجام خاک‌ورزی حفاظتی موظف می‌کند.
- برای صرفه‌جویی در مصرف سوخت و انرژی خاک‌ورزی حفاظتی انجام می‌گیرد؛ چون هم برای تراکتور و هم سوخت آن هزینه پرداخت می‌شود.
- خاک‌ورزی حفاظتی نیروی کار کمتری نیاز دارد، بنابراین در استفاده از نیروی کار صرفه‌جویی می‌شود.

خاک‌ورزی حفاظتی انواع مختلفی دارد که مهم‌ترین آن عبارتند از:

- بدون خاک‌ورزی[1]: یک شکاف کوچک برای بذرکاری در خاک ایجاد می‌شود و بقیه دست نخورده باقی می‌ماند.
- خاک‌ورزی نواری[2]: فقط ردیف کاشت گیاه خاک‌ورزی می‌شود و بقیه زمین دست نخورده باقی می‌ماند.
- خاک‌ورزی مالچی[3]: بخشی از بقایا روی زمین باقی می‌ماند و بخش دیگری با خاک مخلوط می‌شود.
- خاک‌ورزی حداقل[4]: خاک‌ورزی در حداقل ممکن انجام می‌شود؛ یعنی یک‌بار دستگاه روی زمین عبور می‌کند و کشت انجام می‌دهد.

---

[1] No tillage
[2] Strip cultivation
[3] Mulch tillage
[4] Minimum tillage

تقسیم‌بندی و اسامی مختلفی برای انواع خاک‌ورزی حفاظتی در نظر می‌گیرند. اما همان طور که گفته شد شرط اصلی آن این است که حداقل ۳۰ درصد بقایای گیاهی روی سطح خاک باقی بماند. همان‌طور که مشخص است بین انواع خاک‌ورزی‌های حفاظتی خط‌کشی و تمایز کامل و واضحی وجود ندارد و در برخی مواقع ممکن است با یکدیگر هم‌پوشانی داشته باشند. اما برخی افراد ممکن است بین آن‌ها تفاوت قائل شوند و اصطلاحات مختلفی نیز برای آن‌ها به کار ببرند.

خاک‌ورزی حفاظتی مزایا و معایبی دارد که به اختصار در مورد آن‌ها توضیحاتی داده می‌شود:

- فرسایش: خاک‌ورزی حفاظتی فرسایش خاک را کاهش می‌دهد. بقایای گیاهی باقی‌مانده بر روی خاک از برخورد قطرات باران با خاک جلوگیری می‌کنند و خاکدانه‌ها متلاشی نمی‌شوند و در نتیجه آب در سطح خاک جاری نمی‌شود بلکه به داخل خاک نفوذ می‌کند و این باعث می‌شود که رواناب به وجود نیاید و در نهایت فرسایش خاک صورت نگیرد. علاوه بر این، خود بقایا حرکت آب در سطح خاک را کند می‌کنند (غیر از آن کاهش برخورد آب با سطح خاک) و آب بیشتری به درون خاک نفوذ می‌کند و فرسایش کمتری اتفاق می‌افتد و از این جهت نیز تأثیر زیادی دارد. در جدول ۱۱-۴ تأثیر درصد بقایای گیاهی بر کاهش فرسایش خاک را نشان داده است. اگر فقط ۱۰ درصد سطح زمین به‌وسیله بقایای گیاهی پوشیده شده باشد، فرسایش به میزان ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. در خاک‌ورزی حفاظتی حداقل ۳۰ درصد بقایا را بر روی خاک نگه می‌دارند که ۶۵ درصد بر کاهش فرسایش مؤثر است. همچنین اگر درصد پوشش خاک با بقایای گیاهی به ۷۰ درصد افزایش پیدا کند، فرسایش به میزان ۹۰ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین، خاک‌ورزی حفاظتی تأثیر فراوانی بر روی کاهش فرسایش دارد.

جدول ۱۱-٤- تأثیر بقایای گیاهی بر کاهش فرسایش خاک.

درصد پوشش	درصد کاهش فرسایش
۱۰	۳۰
۳۰	۶۵
۵۰	۸۳
۷۰	۹۱

❖ رطوبت خاک: خاک‌ورزی حفاظتی رطوبت خاک را افزایش می‌دهد. در اثر بقایا، رواناب کاهش یافته و آب بیشتری به درون نفوذ خاک می‌کند و در نتیجه رطوبت موجود در خاک افزایش می‌یابد. همچنین وجود بقایا بر سطح خاک سایه‌اندازی می‌کند یعنی تابش کمتری از خورشید به خاک می‌رسد در نتیجه تبخیر از آن کاهش پیدا می‌کند که به افزایش رطوبت خاک کمک می‌کند. به این ترتیب، به دلیل کاهش رواناب و کاهش تبخیر از خاک، رطوبت خاک در جاهایی که خاک‌ورزی حفاظتی انجام می‌گیرد، بالاتر است. البته این رطوبت بالاتر خاک باعث می‌شود که دیرتر بتوانیم وارد مزرعه شویم و گیاه را کشت کنیم چون خاک خیس‌تر است و ممکن است تهیه بستر کشت مقداری به تأخیر بیافتد که این یک مشکل محسوب می‌شود. اگر زه‌کشی وجود نداشته باشد، رطوبت بالای خاک ناشی از خاک‌ورزی حفاظتی ممکن است مشکلات غرقاب شدگی خاک را بیشتر کند و در صورتی که زه‌کشی وجود داشته باشد این رطوبت بالا ممکن است باعث آبشویی عناصر غذایی شود که البته این مورد را می‌توان با استفاده توأم از گیاهان پوششی و خاک‌ورزی حفاظتی مقداری تخفیف داد. افزایش رطوبت ناشی از خاک‌ورزی می‌تواند در کشت دیم مفید واقع شود. علاوه بر این، خاک‌ورزی حفاظتی در کشت آبی میزان آب آبیاری را نیز کاهش می‌دهد که از اثرات مثبت آن به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. اما تأخیر در کشت و آبشویی عناصر غذایی از اثرات منفی احتمالی آن می‌باشد.

در جدول ۱۱-۵ تأثیر وجود بقایای گیاهی بر درصد تبخیر نسبی نشان داده شده است. وجود ۴۰ درصد پوشش بقایا در اثر خاک‌ورزی حفاظتی ۳۳ درصد تبخیر نسبی را کاهش می‌دهد و یا ۸۰ درصد پوشش بقایا ۴۲ درصد تبخیر نسبی را کمتر می‌کند. مسئله‌ی افزایش یا حفظ رطوبت

خاک و کاهش تبخیر از آن به خصوص در کشور ما که اقلیم خشکی دارد بسیار حائز اهمیت است و به کاهش مصرف آب در کشاورزی کمک زیادی می‌کند.

جدول ۱۱-۵- تأثیر بقایای گیاهی بر تبخیر نسبی از خاک.

درصد پوشش	درصد تبخیر نسبی
۰	۱۰۰
۲۰	۷۸
۴۰	۶۷
۸۰	۵۸

- دمای خاک: خاک‌ورزی حفاظتی نوسانات دمای خاک را کاهش می‌دهد. وجود بقایا در سطح خاک باعث می‌شود که در سطح خاک حالت عایق شدگی به وجود آید و نوسانات دمای آن کمتر شود یعنی خاک در زمستان مقداری گرم‌تر و در تابستان مقدار خنک‌تر بشود. گزارش شده است که در تابستان، خاک‌های دارای بقایا تا پنج درجه سانتی‌گراد خنک‌تر هستند. در اقلیم‌های گرم به‌ویژه در جنوب کشور ما این مزیت می‌تواند علاوه بر کاهش دمای خاک، سرعت تجزیه مواد آلی را کاهش دهد و در نتیجه آب کمتری از دست برود که برای گیاه و خاک مفید است. اما این حالت در اقلیم‌های سرد می‌تواند مضر باشد؛ یعنی این خنک‌بودن خاک در اثر وجود بقایا و مالچ کلش در خاک‌ورزی حفاظتی باعث می‌شود که گیاه دیرتر جوانه بزند و کندتر سبز شود و در نتیجه رشد اولیه آن با تأخیر صورت گیرد.
- ساختمان خاک: خاک‌ورزی حفاظتی ساختمان خاک را بهبود می‌دهد. از آن‌جا که در خاک‌ورزی حفاظتی عملیات کمتری انجام می‌گیرد در نتیجه خاک کمتر بهم می‌خورد و ممکن است خاک فشرده شود. در خاک‌ورزی رایج، عملیات زیادی انجام می‌گیرد و اگر خاک فشرده شده باشد از فشردگی خارج می‌شود، اما در خاک‌ورزی حفاظتی این‌گونه نیست و در نتیجه ممکن است که سیستم ریشه‌ای گیاهان مقداری محدودتر شده و کمتر توسعه پیدا کند. در جاهایی که خاک‌ورزی حفاظتی استفاده می‌کنند ممکن است نیاز باشد که هر چند

سال یک بار از زیرشکن استفاده شود و یا گیاهانی کشت کنند که ریشه عمیق دارند تا بتوانند فشردگی ایجاد شده را از بین ببرند. اما بایستی به این نکته توجه داشت که خود فشردگی نیز در اثر استفاده از ماشین‌آلات ایجاد می‌شود یعنی وقتی از ماشین‌آلات استفاده می‌کنیم خاک فشرده می‌شود که بعد دوباره برای از بین بردن این فشردگی از زیرشکن استفاده می‌کنیم. همچنین خاک‌ورزی حفاظتی چون باعث افزایش ماده‌ی آلی خاک می‌شود، ساختمان خاک را بهبود می‌بخشد.

- ❖ حاصلخیزی: در اثر خاک‌ورزی حفاظتی ماده‌ی آلی خاک افزایش پیدا می‌کند که باعث افزایش نگهداری عناصر غذایی خاک می‌شود و در نتیجه حاصلخیزی بهبود می‌یابد. اما همان‌طور که گفته شد در خاک‌ورزی حفاظتی میزان رطوبت خاک و آبشویی افزایش پیدا می‌کند که می‌تواند سبب آبشویی بیشتر عناصر غذایی شود. آبشویی می‌تواند نیترات زیادی را با خود از خاک خارج کند و بر حاصلخیزی خاک تأثیر منفی داشته باشد. البته این حالت را می‌توان با کشت گیاهان پوششی مقداری تخفیف داد. گزارش شده است که اسیدی‌شدن خاک‌ها در خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر اتفاق می‌دهد که خود باعث کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود. برای حل این مشکل می‌توان از آهک استفاده نمود. خاک‌ورزی حفاظتی فرسایش را کاهش می‌دهد (خاک کمتری با آب و باد از مزرعه جابه‌جا می‌شود) و باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌گردد. به طورکلی، خاک‌ورزی حفاظتی در برخی موارد اثر مثبت و در برخی دیگر اثر منفی بر حاصلخیزی خاک دارد که مهم‌ترین موارد توضیح داده شد. اما خاک‌ورزی حفاظتی عموماً بر روی حاصلخیزی خاک اثرات مثبت دارد.
- ❖ علف‌های هرز: در خاک‌ورزی حفاظتی معمولاً جمعیت علف‌های هرز افزایش پیدا می‌کند؛ بنابراین برای کنترل آن‌ها بایستی از علف‌کش‌ها استفاده شود. معمولاً در اکوسیستم‌های کشاورزی که در آن‌ها از خاک‌ورزی حفاظتی استفاده می‌شود چون علف‌کش‌های زیادی به‌کار می‌رود، بروز مقاومت به علف‌کش‌ها بیشتر مشاهده می‌گردد.
- ❖ مدیریت بیماری‌ها: وقوع بیماری‌ها در خاک‌ورزی حفاظتی به نوع گیاه و بیماری بستگی دارد. در اثر خاک‌ورزی حفاظتی رطوبت خاک افزایش می‌یابد که محیط مناسبی را برای برخی

عوامل بیماری‌زا مانند قارچ‌های خاک‌زی (مهم‌ترین آن‌ها رایزکتنیوم و پتیوم) ایجاد می‌کند که البته به شرایط محیط نیز بستگی دارد (اقلیم مرطوب در برابر خشک). گاهی از خاک‌ورزی برای از بین بردن بیماری‌ها استفاده می‌شود که در خاک‌ورزی حفاظتی امکان استفاده از آن کمتر می‌شود. از طرف دیگر، در خاک‌ورزی حفاظتی رشد گیاه بهتر می‌شود و در نتیجه مقاومت گیاهان به بیماری‌ها افزایش می‌یابد. همچنین گاهی تجزیه بقایا که از رشد و گسترش عوامل بیماری‌زا ممانعت می‌کنند (به دلیل آزاد شدن مواد آللوپاتیک) در خاک‌ورزی حفاظتی کمتر اتفاق می‌افتد.

- حشرات: در خاک‌ورزی حفاظتی غذا و مکان بیشتری برای حشرات وجود دارد (چون بقایای گیاهی دفن و با خاک مخلوط نمی‌شوند). بنابراین، معمولاً حشرات بیشتری در این نوع خاک‌ورزی وجود دارد که گاهی می‌توانند شامل آفات نیز باشند. آفاتی مثل موش و حلزون‌ها نیز ممکن است افزایش پیدا کنند.
- سوخت و انرژی: در خاک‌ورزی حفاظتی چون تردد ماشین‌آلات و ادوات کاهش می‌یابد در مصرف سوخت و انرژی صرفه‌جویی می‌شود. از طرفی چون برای کنترل علف‌های هرز از سم استفاده می‌شود و برای تولید آن انرژی مصرف شده است، صرفه‌جویی ناشی از کاهش تردد تا حدی خنثی می‌شود.
- عملکرد: بسته به شرایط، افزایش و یا کاهش عملکرد در خاک‌ورزی حفاظتی گزارش شده است که به شرایط محیطی و گیاه بستگی دارد. تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد به بازه زمانی مورد استفاده بستگی دارد. برخی مواقع در کوتاه‌مدت ممکن است اثر منفی و در بلندمدت اثر مثبت مشاهده شود. در خاک‌ورزی حفاظتی لازم است مقداری زمان صرف شود تا اثرات مثبت نمایان شوند. به‌طورکلی مزیت اصلی خاک‌ورزی حفاظتی که در جهان گسترش یافته است به خاطر افزایش عملکرد نیست بلکه به دلیل پایدارسازی خاک می‌باشد که در طول زمان می‌تواند عملکرد را نیز بهبود بخشد.

در مجموع خاک‌ورزی حفاظتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مثل کشور ما، عملکرد زراعت دیم را افزایش می‌دهد و در کاهش نیاز به آبیاری در کشت آبی مؤثر است. در کشور ما

موارد منفی مرتبط با خاک‌ورزی حفاظتی مانند آبشویی عناصر کمتر روی می‌دهد (به دلیل خشکی اقلیم). علاوه بر این‌ها، خاک‌ورزی حفاظتی مزایای متعدد دیگری مثل افزایش تنوع زیستی هم دارد که در فصول گذشته به آن‌ها اشاره شد. این نوع خاک‌ورزی برای کشور ما که دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است فوق‌العاده مفید و ضروری می‌باشد، در حالی که متأسفانه گسترش آن در کشور ما بسیار محدود و در حد هیچ است.

۱۱-۱-٤-گیاهان پوششی[1]

یکی دیگر از روش‌های پایدارسازی خاک پوشاندن سطح زمین و خاک است. پوشاندن سطح خاک از راه‌های زیر انجام می‌گیرد:

- کشت گیاهان زراعی و یا باغی
- حفظ بقایا در سطح خاک
- کشت گیاه پوششی

گیاه پوششی عبارت است از کشت یک گیاه یا مخلوطی از چند گیاه در فاصله بین کشت دو گیاه اصلی. به عنوان مثال، فرض کنید در آبان ماه گندم کشت می‌شود و در تیر ماه برداشت می‌گردد، سپس زمین تا زمان کشت بعدی یعنی تا آبان ماه که دوباره گندم بکاریم، خالی است. این فاصله زمانی تیر تا آبان را می‌توان گیاه پوششی کشت کرد. یا فرض کنید امسال گندم کاشته‌ایم و در تیر برداشت کرده‌ایم و می‌خواهیم در سال بعد در اردیبهشت یا خرداد ذرت کشت کنیم در این فاصله‌ای که گندم برداشت شده تا سال بعد ذرت کشت شود می‌توانیم گیاه پوششی کشت کنیم تا زمین پوشیده باشد. رشد گیاه پوششی قبل یا بعد از کاشت گیاه اصلی بایستی متوقف شود که این کار یا از طریق علف‌کش و یا از طریق بریدن از سطح خاک انجام می‌گیرد.

امروزه استفاده از گیاهان پوششی به جزء مهمی از تناوب‌ها تبدیل شده است به‌طوری که آن را جزء اصلی از فعالیت‌های بازسازی خاک و سیستم کشاورزی به شمار می‌آورند. پوشیده بودن خاک و یا استفاده از گیاهان پوششی مزایای زیادی دارد که عبارتند از:

[1] Cover crops

- محافظت از خاک در زمانی که گیاه اصلی در زمین نیست؛ یعنی همان اثرات مثبتی که برای مالچ کلش بیان شد، برخوردار است، مثل جلوگیری از برخورد قطرات باران با خاک جلوگیری از فرسایش آبی و یا بادی.
- گیاه پوششی باعث می‌شود عناصر قابل دسترس خاک توسط گیاه پوششی جذب شده و از خاک شسته و آبشویی نشوند. مثلاً اگر عنصری مثل نیتروژن در خاک وجود دارد جذب گیاه پوششی می‌شود و زمانی که گیاه پوششی را به خاک برمی‌گردانیم آن عنصر دوباره در اختیار گیاه بعدی قرار می‌گیرد.
- گیاهان پوششی از طریق سایه‌اندازی و رقابت علف‌های هرز را کنترل می‌کنند.
- گیاهان پوششی چون گیاه هستند، ریشه دارند و برداشت نیز نمی‌شوند؛ بنابراین ماده آلی خاک را افزایش می‌دهند که این خودش اثرات مثبت زیادی به دنبال دارد.
- گیاهان پوششی اگر از خانواده بقولات (مثل شبدر) باشند نیتروژن تثبیت می‌کنند و چون برداشت نمی‌شوند این نیتروژن در خاک برای مصرف گیاه بعدی باقی می‌ماند و در نتیجه در مصرف کودها به‌ویژه کود نیتروژن صرفه‌جویی می‌شود.
- گیاهان پوششی از طریق ماده‌ی آلی که به خاک اضافه می‌کنند باعث بهبود حاصلخیزی و ساختمان خاک و نفوذپذیری و تهویه خاک می‌شوند.
- گیاهان پوششی از طریق نفوذ ریشه‌ها به درون خاک باعث سست کردن و کاهش فشردگی خاک می‌شوند.
- گیاهان پوششی از طریق باقی گذاشتن بقایای گیاهی بر روی سطح خاک باعث کاهش رواناب و کاهش فرسایش آبی و بادی می‌شوند.
- گیاهان پوششی باعث افزایش ظرفیت خاک برای جذب و نگهداری آب می‌شوند.
- گیاهان پوششی غذا و مکان برای ریزجانداران خاک تأمین می‌کنند که در نتیجه باعث بهبود تنوع زیستی و چرخه‌های عناصر غذایی خاک می‌شوند.
- گیاهان پوششی از طریق پوشش و بقایای گیاهی که در سطح خاک باقی می‌گذارند باعث تعدیل دمای خاک می‌شوند.

استفاده از گیاهان پوششی چالش‌هایی نیز دارد که عبارتند از:

- مدیریت سطح بالاتری نیاز است یعنی مدیریت آن‌ها دشوارتر است. کشت این گیاهان ممکن است در کشت، کوددهی و سبزشدن گیاه بعدی اختلال ایجاد کند.
- بقایای گیاهان پوششی که تجزیه می‌شوند بسته به این‌که گیاه پوششی از چه نوعی باشد می‌توانند در رشد گیاه بعدی ایجاد اختلال کنند. مثلاً اگر گیاه پوششی از نوع غلات باشد ممکن است در گیاه بعدی باعث کمبود موقتی نیتروژن گردند. دلیل این است که در زمان تجزیه بقایای گیاه پوششی اگر نسبت کربن به نیتروژن (C:N) در آن‌ها بالا باشد، میکروب‌هایی که آن‌ها را تجزیه می‌کنند نیتروژن خاک را موقتاً از خاک جذب می‌کنند و گیاه اصلی که کشت شده است با کمبود نیتروژن روبرو می‌شود. این کمبود موقتی است و وقتی این میکروب‌ها و بقایا بیشتر تجزیه شوند دوباره نیتروژن به خاک برمی‌گردد و این کمبود برطرف می‌شود. این نکته‌ای است که در گیاهان پوششی به ویژه اگر از نوع غلات باشند بایستی به آن توجه داشت.
- انتخاب گیاه پوششی مناسب ممکن است مسئله ساده‌ای نباشد و یکی از چالش‌های مهم در کشت گیاهان پوششی است.
- انتخاب زمان و روش مناسب برای متوقف‌سازی رشد گیاهان پوششی و مدیریت بقایای این گیاهان نیز یکی دیگر از چالش‌های کشت گیاهان پوششی است.

مواردی که ذکر شد مهم‌ترین چالش‌های استفاده از گیاهان پوششی می‌باشند که نشان می‌دهد که ممکن است استفاده از گیاهان پوششی خیلی راحت نباشد. با این حال کشت این گیاهان یکی از روش‌های توصیه‌شده برای مدیریت پایدار خاک است و گستردگی گیاهان پوششی به عنوان یک روش پایدارسازی خاک روز به‌روز رو به افزایش است. در جدول ۱۱-۶ فهرست گیاهانی که می‌توان به عنوان گیاه پوششی استفاده کرد، آورده شده است که در این‌جا به جزئیات اشاره نمی‌گردد. گیاهان متعددی وجود دارند که می‌توان در مناطق سردسیر، گرمسیر، فصول تابستان، زمستان و غیره از آن‌ها استفاده نمود. بسته به گرما، سرما، رطوبت کم و یا زیاد می‌توان این گیاهان پوششی را انتخاب و از آن‌ها استفاده کرد.

جدول ۱۱-٦- گیاهان پوششی متداول در مناطق معتدله و گرمسیری در دنیا (خواجه‌پور، ۱۳۸۱).

منطقه	گیاه پوششی
دمای سرد	یونجه (*Medicago* sp.)، نخود (*Pisum sativum*)
	شبدر قرمز (*Trifolium pratense*)
	شبدر سفید (*Trifolium repens*)
دمای گرم	
گیاهان پوششی زمستانه	شبدر لاکی (*Trifolium incarnatum*)
	ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa*)
	لوپین (*Luponus* spp.)
	چاودار (*Secale cereale*)
گیاهان پوششی تابستانه	نوعی شبدر (*Alysicarpus* spp.)
	سورگوم (*Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense*)
گرمسیر	لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*)
	دسمودیوم (*Desmodium* spp.)
	یک گونه ماشک (*Aeschynomene* spp.)
	لپه هندی (*Cajanus cajan*)
	یک گونه علف چمنی (*Mucuna pruriens*)

شکل دیگری از گیاهان پوششی، گیاهان همراه[1] هستند. گیاهان پوششی که همراه گیاه اصلی با تراکم کمتر کشت می‌شوند را گیاهان همراه می‌گویند. گیاهان همراه مخلوطی از گیاهان برای کمک به تغذیه گیاه اصلی هستند و اثرات مفیدی برای حشرات گرده‌افشان دارند. به عنوان مثال، گیاه ماشک (گیاه همراه) را با تراکم کم در بین ردیف‌های گیاه ذرت (گیاه اصلی) می‌کارند (شکل ۱۱-۳). گیاه ماشک توانایی تثبیت زیستی نیتروژن دارد و ذرت می‌تواند از نیتروژن تثبیت‌شده استفاده کند. علاوه بر این، برای جذب حشرات نیز مفید است. در مطالعه‌ای مشاهده

[1] Companion crops

شده است که کشت ماشک در زمانی که ذرت در مرحله ۴ تا ۷ برگی است باعث افزایش عملکرد ذرت در ۷۵ درصد مزارع شده است. گیاهان همراه مزاحمتی برای گیاه اصلی ایجاد نمی‌کنند: در مثال ذرت و ماشک همان‌طور که مشخص است، گیاه ماشک در کف ردیف‌های ذرت رشد می‌کند و مزاحمتی برای ذرت ایجاد نمی‌کند.

شکل ۱۱-۳- کشت گیاه ماشک (گیاه همراه) با ذرت (گیاه اصلی)

برخی اثرات مثبت گیاهان همراه شامل موارد زیر است:

- رشد علف‌های هرز را کند می‌کنند.
- دمای خاک را تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد کم می‌کنند که در مناطق گرم و خشک اهمیت و فایده‌ی زیادی در پی دارد.
- تبخیر از خاک را کاهش می‌دهند.
- گیاهان همراه از میکروب‌های مفید موجود در خاک که شرایط را برای بیماری‌های خاک‌زی سخت می‌کنند، حمایت و پشتیانی می‌کنند.
- برای حشرات شکارچی و پارازیت مفید هستند.
- مزایای گیاهان پوششی را نیز دارند.

۱۱-۱-۵-تناوب زراعی

تناوب زراعی یکی دیگر از روش‌های افزایش سلامت خاک و پایدارسازی تولید می‌باشد. در تناوب زراعی گیاهان متفاوتی کشت می‌شود و معمولاً نوع و مقدار جذب عناصر غذایی توسط هر گیاه متفاوت است. در حالتی که فقط یک گیاه کشت می‌شوند و تناوب وجود ندارد، آن گیاه هر ساله عناصر غذایی خاصی را از عمق خاصی جذب می‌کند و بنابراین خاک دچار مشکل کمبود عناصر غذایی می‌گردد. اگر گیاهان مختلفی کشت شوند، هر گیاه عناصر گوناگونی را از اعماق مختلف و به نسبت‌های متفاوت جذب می‌کند که این می‌تواند بر روی فراهمی عناصر برای گیاه بعدی تأثیر مثبت داشته باشد. همچنین تناوب زراعی از فرسایش جلوگیری می‌کند: کشت گیاهانی با تراکم بالا (مثل گندم و جو) نسبت به گیاهان ردیفی (مثل ذرت) در کاهش فرسایش تأثیر مثبتی دارد. کشت گیاهان با ساختار ریشه‌ای متفاوت باعث نفوذ ریشه‌ها به اعماق مختلف خاک می‌گردد که این امر بر روی کیفیت خاک تأثیرگذار است و همچنین وقتی از تناوب زراعی استفاده می‌شود گردش عناصر غذایی خاک نیز بهبود می‌یابد.

۱۱-۲-مدیریت آب برای شور نشدن خاک

در مناطق خشک برای این‌که خاک شور نشود بایستی مدیریت آب صورت پذیرد. همان‌طور که قبلاً گفته شد (فصل ۶) در مناطق خشک وقتی آبیاری انجام می‌شود بخش اعظم آب تبخیر می‌گردد که در اثر آن نمک زیادی در خاک باقی می‌ماند. برای اینکه این اتفاق روی ندهد و خاک در اثر شور شدن دچار زوال و نابودی نگردد می‌توان اقدامات زیر را انجام داد:

- مصرف آب را کاهش داد:
  - از طریق خاک‌ورزی حفاظتی و باقی گذاشتن بقایا و کاه‌وکلش روی سطح خاک می‌توان میزان تبخیر از سطح خاک را کاهش داد تا در نتیجه نیاز به آبیاری کاهش یابد.
  - می‌توان گیاهانی کشت کرد که به آب کمتری نیاز داشته باشند. به عنوان مثال کشت کنجد به جای برنج که در نتیجه آب کمتری مصرف گردد و در نتیجه نمک کمتری در خاک باقی می‌ماند.

- زه‌کشی مناسبی در مزرعه تعبیه شود.
- هر چند وقت یک‌بار (یک یا چند سال یک‌بار) با یک آبیاری سنگین املاح خاک شسته شود و از مزرعه خارج گردد.

۱۱-۳-خلاصه

مهم‌ترین و ساده‌ترین راه‌های مدیریت پایدار خاک عبارتند از:

- ❖ کوددهی بر اساس آزمون‌های خاک و گیاه انجام گیرد به عبارت دیگر، کوددهی بایستی در مقدار، زمان و روش مناسب صورت پذیرد. فکر نکنیم که نباید کود داد. از طرف دیگر، مراقب باشیم که با کوددهی نامناسب باعث آلودگی محیط‌زیست نشویم.
- ❖ با هر نوع و روش ممکن (کود سبز، پوششی، کمپوست، کود آلی) ماده‌ی آلی به خاک اضافه کنیم و از کاهش ماده‌ی آلی خاک و تجزیه آن جلوگیری کنیم.
- ❖ از خاک‌ورزی حفاظتی استفاده کنیم.
- ❖ از گیاهان پوششی و گیاهان همراه استفاده کنیم.
- ❖ گیاهان متنوعی را در زمین کشت کنیم به‌ویژه گیاهانی که دائمی هستند (مثل درختان و گیاهان چندساله).
- ❖ توجه داشته باشیم که خاک مزرعه زه‌کشی مناسب داشته باشد و هر چند وقت یک‌بار نمک‌های تجمع یافته در خاک (به‌ویژه در کشت آبی در مناطق خشک) را آبشویی کنیم.

تکلیف درسی

۱- برای این بخش درس خلاصه‌ای نیم تا یک‌صفحه‌ای تهیه کنید.

۲- از اقدامات یا کارهایی که در کشاورزی انجام می‌شود یک لیست طلایی و یک لیست قرمز تهیه کنید.

- ✓ لیست طلایی: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین مزیت یا اثر مثبت است، دارای هزینه کم و پذیرش اجتماعی می‌باشد
- ✓ لیست قرمز: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین عیب یا اثر منفی است.

فصل دوازدهم
مدیریت پایدار منابع آب

در این فصل دسته دیگری از روش‌های کشاورزی پایدار مرتبط با منابع آب، تحت عنوان مدیریت پایدار منابع آب توضیح داده می‌شوند. در فصل ششم در مورد اهمیت منابع آب و نقش آن در حفظ و پایداری محیط‌زیست توضیح داده شد. همچنین بیان شد که مهم‌ترین مشکلات منابع آب مرتبط با کشاورزی عبارتند از:

- برداشت بیش از حد (از سهم طبیعت): که در کشور ما می‌توان آن را به سرطان بدخیم تشبیه کرد. بنابراین، ضروری‌ترین موضوع مرتبط با منابع آب که بایستی در کشور ما به آن توجه داشت این مورد می‌باشد.
- ذخیره‌سازی در مقیاس بزرگ: ایجاد سدها و بندها
- آلودگی آب

در این فصل مدیریت پایدار منابع آب در دو بخش ارائه می‌شود:

۱- مدیریت برداشت یا اضافه برداشت آب (با تأکید بر ایران)، شامل

- تنظیم (کاهش) برداشت آب در حد پایدار
- جلوگیری از هدرروی آب در مسیر انتقال و در موقع کاربرد
- افزایش بهره‌وری آب
- کاهش تقاضا برای آب
- افزایش دسترسی به آب

۲- مدیریت برای کاهش آلودگی آب یا بهتر شدن کیفیت آب

۱۲-۱-مدیریت برداشت آب

۱۲-۱-۱-تنظیم برداشت آب در حد پایدار

در ابتدا باید توجه داشت که هر گاه در مورد منابع آب و مدیریت آن صحبت می‌شود بایستی حوضه آبخیز را در نظر داشته باشیم. همان‌طور که در فصل ششم بیان شد (شکل ۶-۱)، کشاورزی در بخشی از حوضه‌ی آبخیز انجام می‌گیرد. در حوضه‌ی آبخیز بارندگی و تبخیرتعرق اتفاق می‌افتد که اختلاف این دو آب تجدیدپذیر است. بخشی از آب تجدیدپذیر که می‌توان از آن استفاده کرد را آب قابل بهره‌برداری می‌گویند. برداشت و استفاده از آب بیشتر از حد قابل بهره‌برداری می‌تواند مشکلات زیادی را ایجاد کند. بنابراین، بایستی در نظر داشت که در حوضه‌ی آبخیز برداشت آب بیش از حد قابل بهره‌برداری از جمله برای مصارف کشاورزی صورت نپذیرد چراکه اثرات و تبعات زیادی در پی خواهد داشت که ارزش اضافه برداشت را ندارند (یعنی مزایای تولیدات اضافی حاصله در برابر پیامدهای اضافه برداشت و اثرات مخربی که در محیط‌زیست ایجاد می‌کند، ناچیز است).

چرا تنظیم برداشت آب در حوضه‌ی آبخیز در حد پایدار ضروری است؟ دلایل عبارتند از:

- اضافه برداشت آب اثرات منفی گسترده‌ای بر محیط‌زیست و منابع طبیعی دارد (فصل ششم) و اگر اضافه برداشت‌ها ادامه پیدا کند بعضی از این اثرات غیر قابل برگشت می‌شوند. برای مثال، تنوع زیستی که از بین رفته دیگر برنمی‌گردد یا اگر یک سفره‌ی آبی دچار فرونشست شده قابل احیا نخواهد بود یا اگر آب سفره‌ای شورشده قابل برگشت نیست.
- از دست رفتن پتانسیل‌های درآمدزایی بخش محیط‌زیست و منابع طبیعی: در اثر اضافه برداشت آب رودها (مثل زاینده‌رود)، دریاچه‌ها (مثل ارومیه) و تالاب‌ها (مثل جازموریان) خشک می‌گردند و پتانسیل‌های طبیعت‌گردی و بوم‌گردی آن‌ها نیز در پی خشک شدنشان از بین می‌رود.
- هزینه‌های زیاد بعدی برای جبران اثرات زیان‌بار: برای نمونه، در کشور ما برای احیاء دریاچه‌ی ارومیه ستادی تشکیل شده است تا این دریاچه را که عمدتاً در اثر اضافه برداشت آب برای کشاورزی در حوضه مربوطه رو به خشکی گذارده، حفظ و یا احیا کند. یک دلیل برای

تشکیل این ستاد نگرانی‌های ناشی از توفان‌های همراه با نمک مرتبط با این دریاچه برای استان‌های هم‌جوار بوده است. طبیعتاً این امر هزینه‌های زیادی خواهد داشت و ممکن است دریاچه به حالت اولیه خود بازنگردد. چه خوب می‌شد اگر این هزینه‌ها زودتر و برای جلوگیری از اضافه برداشت صورت می‌گرفت؛ مثل این است که کسی را به دست خود مریض نموده، سپس هزینه بسیاری انجام دهیم تا حال او بهبود یابد در صورتی که این احتمال وجود دارد که به طور کامل بیماری وی از بین نرود.

- زوال سیستم‌های کشاورزی و هدر رفت سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده: ممکن است برخی فکر کنند اضافه برداشت آب برای تولید غذای کافی و امنیت غذایی جامعه ایرادی ندارد؛ یعنی غذای کافی تولید شود و در مقابل خسارات وارده به طبیعت را بپذیریم. اگر خسارات وارده به طبیعت در طبیعت باقی می‌ماند شاید در شرایط خاص این نظر قابل قبول بود. اما متأسفانه خسارات ناشی از اضافه برداشت آب برای تولیدات گیاهی فقط در طبیعت باقی نمی‌ماند، بلکه از طریق پیامدهایی که در فصل ششم ذکر شد (مثل نابودی گسترده تنوع زیستی، فرسایش و سیلاب، فرونشست زمین، بیابانی شدن، تغییر اقلیم حوضه و نظیر این‌ها)، سیستم‌های کشاورزی را متأثر ساخته دچار زوال و نابودی می‌کند. علاوه بر این، وقتی در اثر اضافه برداشت از منابع آبی ظرفیت بافری تمام می‌شود (یعنی پایین افتادن سطح ایستابی به میزان زیاد، خالی شدن سفره‌های آبی زیرزمینی و کم آب شدن و خشک شدن رودخانه‌ها و احجام آبی)، دیگر حتی امکان اضافه برداشت نیز وجود ندارد و در نتیجه بایستی که هر ساله به آن مقدار آبی متکی بود که حاصل اختلاف بارندگی و رواناب است و از آن استفاده کرد. در این شرایط تولیدات کشاورزی بسیار نوسانی و متغیر می‌شوند و بستگی زیادی به شرایط اقلیمی هر سال خواهند داشت.

مدیریت برداشت آب به معنی تنظیم برداشت آب در حد پایدار می‌باشد. لازمه‌ی این‌که این اقدام صورت پذیرد این است که برآوردهایی از آب تجدیدپذیر و قابل بهره‌برداری در حوضه آبخیز در دسترس باشد. اگر این اطلاعات در دسترس نباشد طبیعتاً اضافه برداشت را نمی‌توان محاسبه نمود. البته از طریق نشانه‌هایی مانند پایین افتادن سطح ایستابی، کم آب شدن و

خشک‌شدن چشمه‌ها سرشاخه رودخانه‌ها و نظیر این‌ها می‌توان متوجه وقوع اضافه برداشت شد ولی ممکن است با تأخیر صورت پذیرد.

در کشور ما در تمامی حوزه‌های آبخیز، اضافه برداشت وجود دارد و تقریباً بیش از ۹۰ درصد این اضافه برداشت‌ها نیز برای کشاورزی صورت می‌گیرد (شکل ۶-۱۱ فصل ششم). چون بخش زیادی از این اضافه برداشت‌ها برای کشاورزی صورت می‌گیرد، برای این‌که به خوبی مدیریت شود نقش افرادی که در کشاورزی تحصیل یا فعالیت می‌کنند، بسیار اهمیت دارد. از شروط موفقیت مدیریت اضافه برداشت این است که:

۱- منابع آب قابل کنترل باشند: یعنی استخراج و برداشت آب از چاه، رودخانه و نظیر این‌ها تحت کنترل باشد. اگر کنترلی وجود نداشته باشد، مدیریت منابع آب امکان‌پذیر نخواهد بود و هر اقدامی که انجام گیرد، بی نتیجه خواهد ماند.

۲- منافع همه ذی‌نفعان بخش منابع آب در نظر گرفته شود و برای آن چاره‌ای اندیشیده گردد: به عنوان مثال، در کشور ما در دهه‌ی ۷۰ و ۸۰ شمسی شرکت‌های بزرگی به وجود آمدند که کار آن‌ها احداث سدها و سازه‌های آبی مشابه می‌باشد. این شرکت‌ها امور مرتبط از مطالعات اولیه‌ای تا اجرای پروژه‌ها را انجام می‌دهند و افراد زیادی در آن‌ها مشغول به کار و ذی‌نفع هستند. سرمایه‌گذاری زیادی نیز برای این شرکت‌ها صورت گرفته است. طبیعی است که این شرکت‌ها همچنان علاقه دارند که پروژه‌های مربوط به منابع آب (سدسازی، انتقال آب، شیرین کردن آب شور و نظیر این‌ها) وجود داشته باشد. حال اگر بخواهیم برداشت آب را کم کنیم، این شرکت‌ها منافع خود (از نظر شغلی و غیره) را در معرض خطر می‌بینند و چون در کشور نفوذ و قدرت زیادی دارند (یعنی می‌توانند بر روی نمایندگان مجلس و مدیران اجرایی تأثیر بگذارند)، ایجاد مانع خواهند کرد. بنابراین، بایستی برای این‌ها چاره‌اندیشی شود، یعنی منافع این افراد در کارهای جایگزین و مشابهی تأمین شود که در راستای مدیریت اضافه برداشت آب نیز باشد. به عبارت دیگر، کارهایی برای آن‌ها تعریف شود که بتواند اثرات مثبتی بر منابع آبی داشته باشد. به عنوان مثال، می‌شود اجرای پروژه‌های احداث فیلترهای گیاهی در حاشیه‌ی تمام رودخانه‌های کشور را به آن‌ها واگذار نمود که مزایای زیادی برای محیط‌زیست و کشاورزی دارند. همچنین کمک به

کشاورزان برای یکپارچه‌سازی زمین‌ها، کمک به ایجاد سیستم‌های اگروفارستری، مدیریت آبخوان‌ها و نظیر این‌ها قابل تعریف هستند. در این صورت مشکل این افراد و شرکت‌ها حل می‌شود و در برنامه‌های مدیریت برداشت آب کارشکنی و مخالفت نمی‌کنند.

۱۲-۱-۲-جلوگیری از هدرروی آب در انتقال و کاربرد (افزایش راندمان آبیاری)

از آن‌جا که در کشور ما حجم اضافه برداشت آب زیاد است، با تعدیل آن کمبود آب شدیدی به وجود می‌آید، یعنی آب کافی برای فعالیت‌های کشاورزی وجود نخواهد داشت. در این شرایط باید چند اقدام دیگری به طور موازی صورت گیرد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها جلوگیری از هدرروی آب است.

در کشاورزی آب از منبع (مثل چاه و رودخانه) برداشت و به مزرعه انتقال می‌یابد. در مسیر انتقال مقداری تلفات روی می‌دهد. در مزرعه نیز که آب برای استفاده جامعه گیاهی توزیع و پخش می‌شود، تلفاتی اتفاق می‌افتد و در نهایت مقداری آب به جامعه گیاهی می‌رسد که صرف تبخیرتعرق می‌شود. به حجم آبی که صرف تبخیرتعرق جامعه گیاهی شده، آب مصرفی می‌گویند (مصرف آب). بنابراین، لازم است به تفاوت و تمایز این دو یعنی "برداشت" و "مصرف" توجه شود. به عنوان مثال، اگر ۱۰۰ واحد آب برداشت شود و ۸۰ واحد آن به مزرعه برسد بدین معنی است که ۲۰ واحد از آن تلف شده است. در این‌جا راندمان انتقال آب را با تقسیم ۸۰ بر ۱۰۰ محاسبه می‌کنند که ۸۰ درصد به دست می‌آید. از این ۸۰ واحدی که به مزرعه می‌رسد و در آن‌جا پخش می‌شود مثلاً ممکن است ۴۰ واحد آن صرف تبخیرتعرق جامعه گیاهی شود (مصرف شود) و باقی‌مانده هدر برود. در این شرایط راندمان کاربرد آب را با تقسیم ۴۰ بر ۸۰ محاسبه می‌کنند که در این‌جا ۵۰ درصد به دست می‌آید. راندمان آبیاری کل به صورت نسبت آب مصرفی به برداشت‌شده برآورد می‌شود که در این مثال ۴۰ درصد به دست می‌آید (شکل ۱۲-۱). بنابراین، از ۱۰۰ واحد آب برداشت شده که فقط ۴۰ واحد آن در تبخیرتعرق جامعه گیاهی مصرف شده است و ۶۰ واحد آن در (۱) مسیر انتقال و (۲) در مزرعه هدر رفته است که بایستی این دو هدرروی را کاهش داد؛ یعنی در واقع باید راندمان کل آبیاری را افزایش داد و این کمک می‌کند که آب

بیشتری برای تولید گیاهی به مصرف برسد.

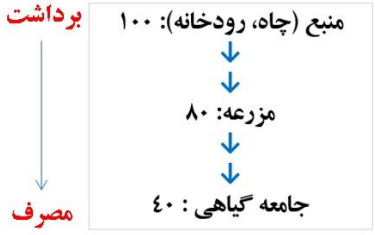
راندمان آبیاری کل را به سه دسته زیر تقسیم‌بندی می‌کنند:

۱- ضعیف: راندمان کل آبیاری بین ۲۰ تا ۳۰ درصد

۲- قابل قبول: راندمان کل آبیاری ۴۰ درصد

۳- خوب: راندمان آبیاری ۵۰ تا ۶۰ درصد

معمولاً بالاترین هدف‌گذاری این است که راندمان آبیاری کل به ۶۰ درصد برسد. در کشور ما راندمان آبیاری کل ۳۸ درصد است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸) که نزدیک به ۴۰ درصد یعنی حد قابل قبول می‌باشد.



شکل ۱۲-۱- برداشت و مصرف آب

برخی دلایل هدرروی آب در مسیر انتقال آب عبارتند از:

- تبخیر از کانال‌های انتقال آب: انتقال آب از منبع تا مزرعه معمولاً از طریق کانال‌ها انجام می‌گیرد که در طول این کانال‌ها تبخیر آب رخ می‌دهد.
- نفوذ به زمین در کانال‌های انتقال آب: کانال‌های انتقال آب ممکن است خاکی باشند که در این صورت مقداری آب به زمین نفوذ می‌کند.
- رها شدن از کانال‌ها: شکستن کانال‌ها باعث هدر روی آب می‌شود.

هدرروی آب در موقع کاربرد در مزرعه نیز دلایل مختلف دارد و عمدتاً به مدیریت آبیاری در مزرعه بستگی دارد. به عنوان مثال، وقتی که در خاک رطوبت کافی وجود داشته باشد و بدون توجه به آن آبیاری انجام گیرد، آن حجم از آبی که اضافه وارد شده است به‌صورت رواناب و یا

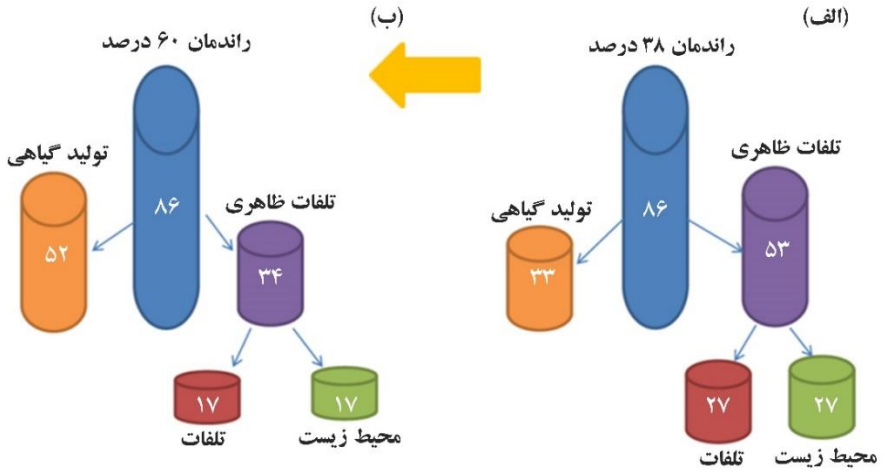
زه‌کشی به هدر می‌رود. یا ممکن است آبیاری بیش از حد ظرفیت زراعی انجام گیرد و میزان آب اضافی فراتر از ظرفیت زراعی از طریق زه‌کشی تلف می‌گردد. در برخی مواقع نیز ممکن است که سیستم و روش آبیاری مزرعه مناسب نباشد و باعث هدررفتن منابع آبی شود، به عنوان مثال، آبیاری به‌صورت کرت‌بندی و یا جوی و پشته‌ای انجام شود و به دلیل شکسته شدن کرت‌ها و جوی و پشته‌ها توزیع غیریکنواخت آب رخ دهد که در نتیجه در نقاطی که بیش از اندازه آب دریافت می‌کنند، تلفات (مثل رواناب و زه‌کشی عمقی) صورت می‌گیرد و آب به هدر می‌رود. همچنین در حالتی که مزرعه به خوبی تسطیح نشده باشد ممکن است توزیع غیریکنواخت و هدرروی آب روی دهد.

۱۲-۱-۲-۱-پارادوکس افزایش راندمان آبیاری

همان‌طور که گفته شد کاهش تلفات باعث افزایش راندمان آبیاری می‌شود و از این طریق آب بیشتری در اختیار گیاهان قرار می‌گیرد. در این ارتباط یک نکته‌ی بسیار مهم وجود دارد که بر اساس شکل ۱۲-۲ به آن اشاره می‌شود. شکل ۱۲-۲ الف میزان استفاده از آب در کشاورزی کشور که ۸۶ میلیارد مترمکعب در سال با راندمان ۳۸ درصد است را نشان می‌دهد: ۳۳ میلیارد مترمکعب آب در تولیدات گیاهی استفاده می‌شود و مابقی آن که ۵۳ میلیارد مترمکعب است ظاهراً به هدر می‌رود. این هدرروی در مسیر انتقال آب و یا در زمان کاربرد آن صورت می‌گیرد. اما حدود ۵۰ درصد از آب هدررفته که معادل ۲۷ میلیارد مترمکعب در سال است به گونه‌ای به طبیعت بازمی‌گردد و توسط محیط‌زیست بهره‌برداری می‌شود. حال اگر فرض شود که راندمان آبیاری در کشاورزی کشور به ۶۰ درصد افزایش پیدا کند (شکل ۱۲-۲ ب)، در این صورت چه اتفاقی روی خواهد داد؟ در این حالت از ۸۶ میلیارد مترمکعب در سال حدود ۶۰ درصد آن یعنی ۵۳ میلیارد مترمکعب در سال به مصرف جوامع گیاهی می‌رسد و ۳۴ میلیارد مترمکعب در سال ظاهراً هدر می‌رود. بنابراین، تلفات کاهش یافته است و امری مثبت و خوب به نظر می‌رسد. در این حالت ۵۰ درصد این تلفات که ۱۷ میلیارد مترمکعب در سال می‌باشد به محیط‌زیست بازمی‌گردد و در طبیعت استفاده می‌شود، بدین معنی که ۲۷ میلیارد مترمکعب سهم محیط‌زیست از هدرروی

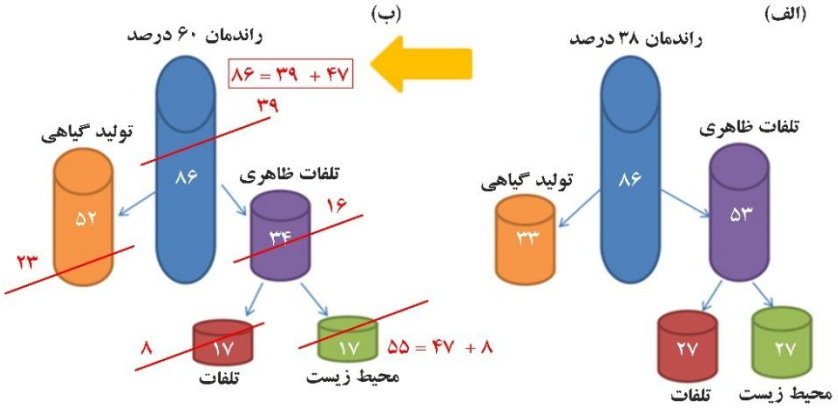
آب در حالتی که راندمان آبیاری ۳۸ درصد بود به ۱۷ میلیارد مترمکعب برای حالتی که راندمان آبیاری به ۶۰ درصد افزایش یافته، کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، افزایش راندمان آبیاری در حقیقت سهم طبیعت از هدرروی آب را کاهش داده است که این می‌تواند اوضاع محیط‌زیست را بدتر کند. باید به این نکته توجه داشت که افزایش راندمان آبیاری در شرایطی صورت گیرد که برداشت آب در حد قابل بهره‌برداری باشد و سهم طبیعت از منابع آب قبلاً کنار گذاشته شده باشد.

اگر سهم طبیعت از قبل کنار گذاشته نشود و راندمان آبیاری افزایش یابد، از افزایش راندمان آبیاری نتیجه عکس گرفته خواهد شد، یعنی کم آبی در محیط‌زیست و طبیعت را تشدید می‌کند. در سالیان گذشته هر ساله حدود یک درصد راندمان آبیاری کشاورزی کشور افزایش یافته ولی برداشت از منابع آبی کم نشده است، در نتیجه سهم طبیعت از تلفات آب کشاورزی نیز کاهش یافته که عملاً باعث خشک شدن بیشتر اکثر اکوسیستم‌های طبیعی کشور شده است. بنابراین، تأکید می‌شود افزایش راندمان آبیاری وقتی خوب است که سهم طبیعت از ابتدا کنار گذاشته شود و اضافه برداشت از منابع آب انجام نگیرد. اگر اضافه برداشت وجود دارد و سهم طبیعت کنار گذاشته نشده است، بهتر همان است که راندمان آبیاری کمتر باشد و تلاشی برای افزایش آن صورت نگیرد.



شکل ۱۲-۲- پارادوکس افزایش راندمان آبیاری: آب مورد استفاده در کشاورزی با الف: راندمان ۳۸ درصد (وضعیت کنونی)، ب: راندمان ۶۰٪

برای روشن‌تر شدن موضوع به مثالی از نحوه صحیح افزایش راندمان آبیاری که در شکل ۱۲-۳ نشان داده شده است، توجه کنید. همان‌طور که قبلاً بیان شد میزان برداشت سالیانه آب برای کشاورزی در کشور ما ۸۶ میلیارد مترمکعب با راندمان ۳۸ درصد است. بنابراین، ۳۳ میلیارد مترمکعب از آب برداشت شده در تولیدات گیاهی مصرف می‌شود و ۵۳ میلیارد مترمکعب باقی‌مانده به هدر می‌رود که نیمی از این هدرروی (۲۷ میلیارد مترمکعب) نصیب طبیعت می‌شود (شکل ۱۲-۳ الف). راه‌کار درست برای افزایش راندمان آبیاری از این قرار است: در ابتدا بایستی اضافه برداشت آب کشاورزی از ۸۶ میلیارد مترمکعب اصلاح شود و سهم طبیعت در ابتدا کنار گذاشته شود. از ۸۶ میلیارد مترمکعب سهم قابل بهره‌برداری کشاورزی ۳۹ میلیارد مترمکعب است (فصل ششم) و مابقی آن (یعنی ۴۷ میلیارد مترمکعب) اضافه برداشت است و باید برای طبیعت کنار گذاشت. افزایش راندمان آبیاری به ۶۰ درصد موجب می‌شود ۲۳ میلیارد مترمکعب از آب کشاورزی به مصرف جوامع گیاهی برسد و ۱۶ میلیارد مترمکعب آن ظاهراً هدر رود که نصف آن (۸ میلیارد مترمکعب) به طبیعت می‌رسد و با آن ۴۷ میلیارد مترمکعب که در ابتدا کنار گذاشته شد، مجموعاً ۵۵ میلیارد مترمکعب به طبیعت اختصاص پیدا می‌کند، یعنی سهم طبیعت از ۲۷ به ۵۵ میلیارد مترمکعب افزایش پیدا کرده است در حالی که سهم کشاورزی از ۸۶ به ۳۹ میلیارد مترمکعب کاهش یافته است. افزایش راندمان آبیاری در این شرایط به صورتی که توضیح داده شد قابل قبول است و در غیر این صورت با افزایش راندمان آبیاری وضعیت برای طبیعت بدتر می‌شود.

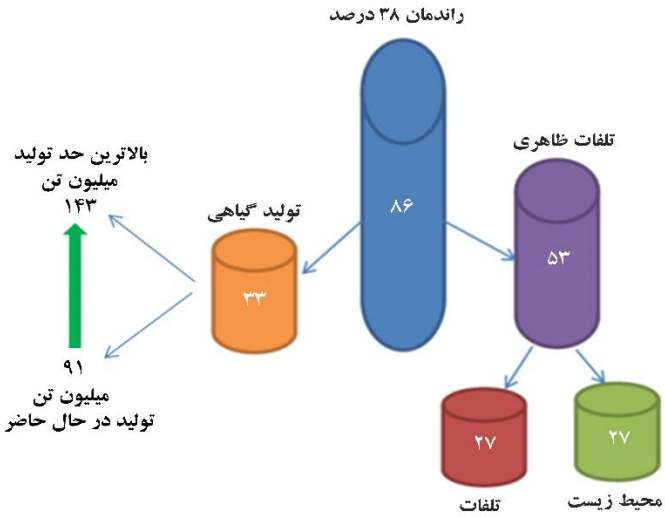


شکل ۱۲-۳- الف: وضعیت کنونی برداشت و مصرف آب در بخش کشاورزی کشور با راندمان ۳۸ درصد و ب: اصلاح اضافه برداشت همراه با افزایش راندمان آبیاری به ۶۰ درصد (سهم طبیعت از قبل کنار گذاشته شده است).

۱۲-۱-۳-افزایش بهره‌وری آب[1]

اقدام بعدی که در مدیریت برداشت می‌توان انجام داد افزایش بهره‌وری آب می‌باشد. در این‌جا منظور افزایش بهره‌وری آب آبیاری است یعنی آن آبی که از منابع زیرزمینی یا سطحی از چاه‌ها و یا رودخانه‌ها برداشت می‌شود: این آب را در اصطلاح آب آبی می‌نامند. بایستی بهره‌وری آب آبی را افزایش داد یعنی سعی شود که به ازای هر واحد آبی که در کشاورزی استفاده می‌شود تولید بیشتری صورت پذیرد. به عبارتی دیگر باید مدیریت تولید بهبود یابد و آن اشکالاتی که در مدیریت تولید وجود دارد را برطرف نمود تا از هر واحد آب استفاده بهتری به عمل آید و تولید بیشتری حاصل گردد (در فصل ۱۳ که مربوط به فشرده‌سازی است بیشتر توضیح داده خواهد شد). به عنوان مثال، در شکل ۱۲-۴ میزان تولید به ازای آب برداشت شده برای بخش کشاورزی که ۸۶ میلیارد مترمکعب در سال است، نشان داده شده است که از این میزان تنها ۳۳ میلیارد مترمکعب آب آبی هر ساله توسط جوامع گیاهی استفاده می‌شود و به ازای آن ۹۱ میلیون تن در سال تولید صورت می‌گیرد. مطالعات نشان داده است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸) که می‌توان این تولیدات گیاهی را با افزایش بهره‌وری آب به ۱۴۳ میلیون تن در سال افزایش داد که بالاترین حد افزایش بهره‌وری و تولیدی با تکنولوژی امروز است. در این شرایط، به ازای ۳۳ میلیارد مترمکعب آب مصرف‌شده در بخش کشاورزی به جای ۹۱ میلیون تن، ۱۴۳ میلیون تن تولید انجام می‌گیرد. اکنون این پرسش مطرح می‌شود که چگونه افزایش بهره‌وری و افزایش تولید چگونه رخ می‌دهد؟ در پاسخ باید گفت که با رعایت دستورالعمل‌های علمی در مزارع و باغات. به عبارت دیگر، تمامی مراحل کاشت، داشت و برداشت مانند مدیریت آفات، مدیریت کوددهی، مدیریت آبیاری، مدیریت زراعی و نظیر این‌ها بر اساس اصول و مبانی علمی انجام شود که جزییات در فصل ۱۳ ارائه خواهد شد.

[1] Blue water productivity



شکل ۱۲-٤- افزایش تولید از طریق افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی

۱۲-۱-۳-۱-افزایش بهره‌وری آب در مناطق خشک با روش کم‌آبیاری[1]

یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری آب استفاده از روش کم‌آبیاری است. این روش برای مناطقی که زمین زیاد است ولی محدودیت آب وجود دارد، توصیه می‌شود. در این روش به جای انجام آبیاری برای رسیدن به حداکثر عملکرد، آبیاری در سطحی کمتر برای رسیدن به سطوح پایین‌تر عملکرد انجام می‌شود. برای توضیح این روش به شکل ۱۲-۵ که مربوط به زراعت فرضی گندم است، توجه شود. در شرایط عدم آبیاری یا کشت دیم، میزان عملکرد دو تن در هکتار است. پس از آن اگر آبیاری صورت گیرد و هر مرتبه ۱۰۰ واحد (میلی‌متر) افزایش یابد، عملکرد نیز افزایش می‌یابد تا در یک جایی مثلاً در ۶۰۰ میلی‌متر آبیاری، عملکرد به ۹ تن در هکتار افزایش می‌یابد و پس از آن با افزایش آبیاری، عملکرد ثابت می‌ماند. در روش کم‌آبیاری توصیه می‌شود که مقداری آب کمتری از آن چه برای رسیدن به حداکثر عملکرد لازم است، استفاده شود (این‌جا کمتر از ۶۰۰ میلی‌متر) و آن مقداری که اضافه آمده در سطح جدید به کار برده شود. برای روشن‌تر شدن این موضوع با یک مثال توضیح بیشتری داده می‌شود. مثلاً فرض کنید در

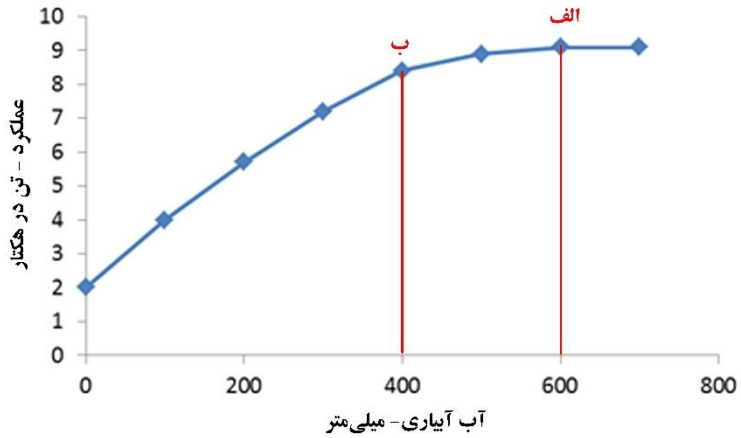
[1] Deficit irrigation

شرایط توصیف شده در شکل ۱۲-۵ چهار هکتار زمین و ۱۲۰۰ میلی‌متر آب در اختیار داریم، به دو صورت زیر می‌توان اقدام نمود:

حالت الف: در این حالت ۲ هکتار از زمین آبی کشت می‌شود و در هر هکتار ۶۰۰ میلی‌متر آبیاری انجام صورت می‌گیرد. مطابق شکل ۱۲-۵ در این حالت بیشترین عملکرد حاصل شده و در هر هکتار ۹/۱ تن محصول برداشت می‌گردد که برای دو هکتار مجموعاً ۱۸/۲ تن محصول قابل برداشت خواهد بود. اما دو هکتار دیگر زمین قابل آبیاری نخواهد بود و به صورت دیم کشت می‌شود که از هر هکتار کشت دیم ۲ تن و مجموعاً ۴ تن گندم قابل برداشت خواهد بود. در این حالت از مزرعه ۴ هکتاری با ۱۲۰۰ میلی‌متر آب، ۲۲/۲ تن محصول به دست می‌آید.

حالت ب: در این حالت در هر هکتار زمین ۴۰۰ میلی‌متر آبیاری صورت می‌گیرد و بنابراین ۳ هکتار زمین با ۱۲۰۰ میلی‌متر آب قابل دسترس، قابل آبیاری است (به جای دو هکتار زمین با آبیاری ۶۰۰ میلی‌متر در هکتار در حالت الف) و در هر هکتار ۸/۴ تن محصول به دست می‌آید یعنی مجموعاً ۲۵/۲ تن محصول از این ۳ هکتار حاصل می‌شود. یک هکتار زمین باقی‌مانده به صورت دیم کشت می‌گردد که از آن نیز دو تن محصول تولید می‌شود. در نهایت تولید کل مزرعه در این حالت ۲۷/۲ تن محصول به ازای ۱۲۰۰ میلی‌متر آب خواهد بود.

همان‌طور که مشاهده می‌کنید در حالت «ب» آبیاری کمتر از حد لازم برای حداکثر عملکرد صورت گرفته است و از ۴ هکتار زمین و ۱۲۰۰ میلی‌متر آب، ۲۷/۲ تن محصول به جای ۲۲/۲ تن محصول در حالت «الف» تولید شده است. بنابراین، در حالت «ب» هم از زمین و هم از آب با بهره‌وری بالاتری استفاده شده است. البته بایستی در این‌جا این نکته ذکر شود که کم‌آبیاری جزئیات دیگری نیز دارد که بر اساس آن تعیین می‌کنند که دقیقاً به چه میزان آب در هر هکتار زمین استفاده شود. برای جزییات بیشتر به سلطانی و فرجی (۱۳۹۳) مراجعه شود.

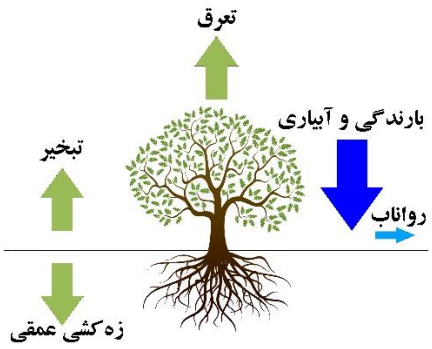


شکل ۱۲-۵- تأثیر کم آبیاری بر عملکرد

۱۲-۱-٤-کاهش تقاضا برای آب

اقدام دیگری که در مدیریت آب انجام می‌گیرد، کاهش تقاضا برای آب است. با کاهش تلفات-ضایعات و همچنین با استفاده از رژیم‌های غذایی گیاهی‌محور می‌توان میزان تقاضا برای آب را کاهش داد (در فصل ۸ توضیح داده شد). اما اقدامات دیگری هم می‌توان برای صرفه‌جویی آب در مزارع و باغات در جهت کاهش تقاضا برای آب انجام داد که عبارتند از:

- کاربرد انواع مالچ‌ها و خاک‌ورزی حفاظتی: استفاده از مالچ یا خاک‌ورزی حفاظتی است به کاهش تبخیر و رواناب کمک می‌کند، در نتیجه تلفات آب کمتر می‌شود و تقاضا برای آن کاهش پیدا می‌کند. شکل ۱۲-۶ موازنه آب در خاک را نشان می‌دهد. بخشی از آب آبیاری یا بارندگی که به مزرعه وارد می‌شود ممکن است از طریق رواناب، تعرق توسط علف‌های هرز، تبخیر از خاک مزرعه و یا زه‌کشی عمقی هدر رود و از دسترس گیاه زراعی خارج گردد. آن میزان آب که از طریق تعرق از گیاه زراعی خارج می‌شود، مفید است اما سایر راه‌های دیگر مفید نیستند. برای کاهش تقاضا برای آب در مزرعه باید راه‌های غیرمفید مصرف آب را کاهش داد، باید رواناب، تبخیر، تعرق علف‌های هرز و زه‌کشی عمقی را کاهش داد تا آب در اختیار گیاه باشد و در نتیجه دیرتر لازم باشد که آبیاری انجام گیرد.



شکل ۱۲-٦- موازنه آب در خاک

- کشت نشایی: کشت نشایی نیز می‌تواند در کاهش تقاضا برای آب مؤثر باشد. در کشت نشایی بذور در خزانه (گلخانه) به نشا تبدیل می‌شوند، سپس نشاها را به مزرعه منتقل کرده و کشت می‌کنند. گزارش شده است که این روش یک تا دو مرتبه نیاز به آبیاری را کاهش می‌دهد. البته گزارش‌های متناقضی هم هست که حکایت از این دارد که این روش اثر نداشته و یا تأثیر اندکی دارد.
- استفاده از سایبان در باغات: استفاده از سایبان در باغات نیز می‌تواند در کاهش تقاضا برای آب مفید باشد. در این روش با کمک تورهای مخصوص روی باغات سایه‌اندازی می‌کنند. میزان سایه ایجاد شده ممکن است ۲۰، ۳۰ یا ۵۰ درصد باشد که باعث کاهش تبخیر از خاک و تعرق از گیاه می‌شود. این سایه‌اندازی ممکن است تولید گیاه را نیز کاهش دهد (در مناطقی که هوا خیلی آفتابی و گرم و داغ نیست) اما در جاهایی که تابش خیلی زیاد می‌باشد، مفید است.
- اصلاح ارقام با نیاز آبی کمتر: اصلاح ارقامی که نیاز کمتری به آب داشته باشند به کاهش تقاضا برای آب کمک می‌کند. برای مثال، ایجاد ارقامی که ریشه‌های عمیق‌تر دارند.
- الگوی کشت: الگوی کشت یعنی این‌که چه گیاهانی و هر کدام در چه سطحی کاشت شوند. در الگوی کشت باید به دنبال گیاهانی بود که به آب کمتری نیاز دارند ولی درآمد خوبی برای کشاورز ایجاد می‌کنند. باید به این نکته توجه داشت که سود و درآمد حل از گیاهان لزوماً به مصرف آب آن‌ها بستگی ندارد، اگرچه یک همبستگی بین آن‌ها وجود دارد: یعنی گیاهانی

که آب بیشتری استفاده می‌کنند معمولاً تولید و سود بیشتری نیز دارند. اما این همبستگی همان‌طور که بیان شد قطعی و همیشگی نیست و می‌توان گیاهان دیگری را پیدا کرد که علاوه بر مصرف آب کمتر، درآمد و سود مناسبی نیز به دنبال داشته باشد.

- کشت پاییزه به جای بهاره: گیاهانی مثل نخود و یا چغندرقند در برخی مناطق به‌صورت بهاره و در برخی مناطق دیگر پاییزه کشت می‌گردند. کشت پاییزه این گیاهان بر کشت بهاره آن‌ها ارجحیت دارد چون این گیاهان در پاییز و زمستان (که هوا خنک‌تر و تقاضای تبخیری اتمسفر پایین‌تر است)، آب کمتری در تعرق از دست می‌دهد و در نتیجه تقاضا برای آب کاهش می‌یابد و میزان آبیاری کمتری نیاز خواهد بود.
- کاشت زودهنگام گیاه (وقتی هوا خنک‌تر است): گیاه تا حد امکان زودتر وقتی که هوا خنک‌تر است، کشت شود. در کشت زودتر، چون گیاه در هوای خنک‌تر رشد می‌کند پس آب کمتری در تبخیر و تعرق از دست می‌رود و نیاز به آبیاری کمتر می‌شود.

مواردی که بیان شد مهم‌ترین راه‌های کاهش تقاضای گیاهان برای آب می‌باشد. راه‌های دیگری نیز ممکن است وجود داشته باشد که در این‌جا ذکر نشده‌اند. به عنوان مثال، روش آبیاری نیز می‌تواند به کاهش تقاضای آب کمک کند، مثلاً استفاده از آبیاری قطره‌ای به جای آبیاری سطحی. البته بایستی به این نکته توجه داشت که روش‌های آبیاری قطره‌ای و یا بارانی در مقایسه با روش سطحی لزوماً روش‌های کارآمدی نیستند؛ چراکه اگر درست و صحیح انجام نشوند ممکن است کارآیی آن‌ها مانند روش آبیاری سطحی پایین باشد.

۱۲-۱-۵-افزایش دسترسی به آب

در این شیوه تلاش می‌شود از طریق اقدامات مختلف آب بیشتری فراهم گردد. برخی راه‌ها عبارتند از:

۱- انتقال آب از حوضه‌های دیگر به حوضه مورد نظر: فرض کنید حوضه‌ی آبخیزی که در آن کشاورزی انجام می‌شود، آب کمی دارد و از طرف دیگر حوضه‌ی مجاور علاوه بر این‌که آب زیادی دارد، کشاورزی اندکی نیز در آن صورت می‌گیرد. در این صورت می‌توان از آن

حوضه به حوضه‌ای که آب کمتر و کشاورزی بیشتری دارد منتقل نمود. در کشور ما در برخی مناطق این اقدام صورت گرفته است و برنامه‌هایی نیز وجود دارد که در مناطق دیگری نیز انجام شود. این روش چون مستلزم دست‌کاری گسترده در طبیعت است باید با احتیاط فراوان انجام گیرد و معمولاً برای انتقال آب برای مصارف خانگی مورد قبول است.

۲- شیرین‌سازی آب دریا: در این روش آب شور دریا را شیرین می‌کنند و در کشاورزی به‌کار می‌برند. در حال حاضر این روش مقرون به صرفه نیست چون برای شیرین کردن آب انرژی زیادی لازم است و آبی که به دست می‌آید گران می‌باشد. شیرین‌سازی آب دریا نیز برای مصارف شرب انجام می‌گیرد که در کشورهای عربی حاشیه‌ی خلیج فارس متداول است.

۳- آب ژرف: در این روش آب از اعماق زمین (چند هزار متری) استخراج می‌شود.

۴- بارورسازی ابرها: این روش می‌تواند به افزایش بارندگی در حوضه‌ی آبخیز کمک می‌کند و دسترسی به آب را افزایش می‌دهد.

۵- تصفیه پساب‌ها: تصفیه پساب‌های خانگی، کشاورزی، صنعتی و ... به منظور افزایش دسترسی آب روش دیگری است که مزایای فراوانی دارد. بخش زیادی از فاضلاب و پساب‌ها در کشور ما در حال حاضر تصفیه نمی‌شود و در واقع از بین می‌رود، درصورتی که می‌توان این آب‌ها را با مقداری تصفیه برای مصارف کشاورزی استفاده نمود. برآورد شده است که در کشور ما سالانه چند میلیارد مترمکعب آب را می‌توان از این طریق برای مصارف کشاورزی ایجاد نمود.

موارد ۱ تا ۳ روش‌های مناسبی برای افزایش دسترسی به آب برای کشاورزی نیستند چراکه مصرف انرژی بالایی دارند و یا ممکن است در آینده مشکلاتی (مصداق این گفته که مشکلات امروز ما، راه‌حل‌های دیروز ما هستند) را ایجاد کنند که در این‌جا به آن پرداخته نمی‌شود

۱۲-۲-آلودگی منابع آب

کشاورزی یکی از منابع مهم آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی است. آبی که از مزرعه رواناب یا زه‌کشی عمقی شده ممکن است حاوی موادی مثل عناصر غذایی (نیترات) یا آفت‌کش‌ها باشد. وقتی این مواد به منابع آب سطحی و زیرزمینی منتقل شوند، باعث آلودگی منابع

آب می‌گردند. پس لازم است در کشاورزی اقداماتی انجام داد تا منابع آبی آلوده نشوند و یا حتی کیفیت آب مانند تمیزی آن افزایش یابد. برخی از مهم‌ترین اقدامات لازم برای جلوگیری یا کاهش آلودگی منابع آب به شرح زیر می‌باشند:

- مدیریت مناسب کودها: یکی از مهم‌ترین روش‌های جلوگیری از آلودگی منابع آب، مدیریت مناسب (مقدار، زمان، روش) کودها است. باید از مقدار مناسب کود استفاده شود. اگر بیش از نیاز گیاه کود به‌کار برده شود، مقدار اضافه آن ممکن است آبشویی شده و به منابع آب وارد شود. روش مناسب کوددهی در کاهش هدرروی کود و آلودگی‌های ناشی از آن کمک می‌کند.
- مدیریت مناسب آفات: بخشی از آلودگی‌های آب‌ها به مواد شیمیایی مانند آفت‌کش‌ها و سموم بازمی‌گردد. استفاده کارآمد از سموم در کاهش آلودگی منابع آب تأثیر زیادی دارد. استفاده از سموم کم‌خطرتر در کاهش آلودگی‌های شیمیایی منابع آبی مؤثر است (فصل ۱۰).
- افزایش ماده آلی خاک: افزایش ماده آلی خاک به کاهش آلودگی آب کمک می‌کند. عبور آب از ماده‌ی آلی سبب تصفیه‌ی آن می‌شود چون مقداری از آلودگی‌ها جذب مواد آلی می‌شود. البته این امکان وجود دارد که تمام آلودگی آب نیز توسط مواد آلی جذب و تصفیه شود.
- خاک‌ورزی حفاظتی: خاک‌ورزی حفاظتی چون باعث افزایش ماده آلی خاک می‌شود در کاهش آلودگی‌های آب نقش دارد.
- کاشت گیاهان دائمی: کاشت گیاهان دائمی علاوه بر کاهش رواناب و فرسایش آبی، در افزایش ماده‌ی آلی خاک تأثیر زیادی دارد. همان‌طور که قبلاً گفته شد ماده‌ی آلی با تصفیه آب، آلودگی‌ها را کاهش می‌دهد. ریشه درختان نیز به این امر کمک می‌کنند.
- کاشت گیاهان پوششی: گیاهان پوششی فرسایش، آبشویی عناصر غذایی و رواناب را کاهش و نفوذ آب به درون خاک را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، به دلیل افزایش ماده‌ی آلی خاک در کاهش آلودگی‌های آب نقش زیادی دارد. ریشه‌های گیاهان پوششی با جذب عناصر کودی و جلوگیری از آبشویی آن‌ها می‌توانند در کاهش آلودگی آب و تصفیه‌ی آن تأثیر

مهمی داشته باشند.

- مدیریت آب برای کاهش آبشویی: یعنی در آبیاری مقداری آب اضافه بر ظرفیت زراعی به زمین داده نشود چراکه مقدار آب اضافه به صورت آبشویی از خاک مزرعه خارج می‌گردد و می‌تواند عناصر غذایی و سایر مواد محلول را با خود خارج ساخته و به منابع آب سطحی و یا زیرزمینی منتقل کند.
- نوارهای فیلتری در حاشیه رودخانه‌ها برای جلوگیری از ورود عناصر غذایی و مواد شیمیایی آبشویی شده و رواناب شده به منابع آبی: نوارهای بافری در کنار رودخانه‌ها باعث می‌شوند که عناصر غذایی و مواد شیمیایی آبشویی شده و رواناب شده در این منطقه جذب شود و به آب‌های سطحی و زیرزمینی راه پیدا نکند. بنابراین، این نوار یا فیلترهای گیاهی می‌توانند در جلوگیری و کاهش آلودگی منابع آب تأثیر مهمی داشته باشند. البته این نوارها فواید و مزایای دیگری (تعدیل تغییر اقلیم، افزایش تنوع زیستی، حفظ و نگهداری منابع خاک) نیز دارد که قبلاً (فصول نهم و دهم) توضیح داده شده است.

۱۲-۳-خلاصه

در هر حوضه باید رفع اضافه برداشت آب به دلیل اثرات زیان‌بار گسترده‌ای که دارد، در اولویت قرار گیرد. متأسفانه در کشور ما در تمام حوضه‌ها اضافه برداشت آب وجود دارد و ضروری است که برای آن چاره‌ای اندیشیده شود، چراکه این اضافه برداشت به مانند سرطانی است در حال نابود کردن تمام محیط‌زیست و طبیعت کشور است. با تنظیم برداشت آب در حد پایدار، از راه‌های زیر می‌توان از کاهش تولید جلوگیری کرد یا آن را افزایش داد:

۱- جلوگیری از هدرروی آب در مسیر انتقال و در موقع کاربرد آب

۲- افزایش بهره‌وری آب با مدیریت علمی مزرعه

۳- کاهش تقاضا برای آب

۴- افزایش دسترسی به آب (مهم‌ترین روش تصفیه‌ها فاضلاب و پساب‌ها)

روش‌های مهندسی که امروزه پیشنهاد می‌شوند مانند انتقال آب، شیرین‌سازی آب، استفاده از آب‌های ژرف، بارورسازی ابرها و نظیر این‌ها کمتر پرهزینه و یا کم اثر هستند. علاوه بر این،

ممکن است مسائل و مشکلاتی در آینده ایجاد کنند و مورد توصیه نیستند.

کشاورزی یکی از فعالیت‌هایی است که در آلودگی آب نقش دارد و از این طریق می‌تواند بر سلامت انسان‌ها تأثیر زیادی داشته باشد. علاوه بر این، آلودگی آب تنوع زیستی را نیز در معرض تهدید و نابودی قرار می‌دهد و باید با روش‌های مختلف از آلودگی آب جلوگیری شود.

تکلیف درسی

۱- برای این بخش درس خلاصه‌ای نیم تا یک‌صفحه‌ای تهیه کنید.

۲- از اقدامات یا کارهایی که در کشاورزی انجام می‌شود یک لیست طلایی و یک لیست قرمز تهیه کنید.

- ✓ لیست طلایی: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین مزیت یا اثر مثبت است، دارای هزینه کم و پذیرش اجتماعی می‌باشد
- ✓ لیست قرمز: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین عیب یا اثر منفی است.

فصل سیزدهم
فشرده‌سازی اکولوژیک

در این فصل درباره دسته دیگر از روش‌های کشاورزی پایدار، تحت عنوان فشرده‌سازی اکولوژیک توضیح داده می‌شود.

۱۳-۱-تعاریف

قبلاً در چند نوبت به فشرده‌سازی اکولوژیک به عنوان یکی از راه‌ها یا روش‌هایی که می‌تواند به پایدارسازی کشاورزی کمک کند، اشاره داشتیم. فشرده‌سازی[1] در برابر گسترش[2] خود را نشان می‌دهد و این دو در مقابل هم مطرح می‌شوند. از گذشته که مسئله‌ی افزایش جمعیت و نیاز به تولید غذای بیشتر مطرح بوده است (در طی صد سال گذشته) دو راه را در کشاورزی برای افزایش تولید سراغ داشتند:

۱- گسترش: یعنی زمین‌های جدید اضافه کنند.

۲- فشرده‌سازی: یعنی در هر واحد سطح زمین تولید بیشتری صورت دهند.

طبیعی است که اگر بخواهیم فشرده‌سازی کنیم یعنی از هر واحد سطح زمین تولید بیشتری داشته باشیم این امر به مهارت، کار، منابع و نهاده بیشتر نیاز دارد و از منابع مثل آب، نهاده مثل کود باید بیشتر استفاده شود.

فشرده‌سازی اکولوژیک یعنی چه؟ یا فشرده‌سازی پایدار یعنی چه؟ این دو اصطلاح فشرده‌سازی پایدار و فشرده‌سازی اکولوژیک بعداً معرفی شدند، یعنی خود فشرده‌سازی زودتر

---

[1] Intensification
[2] Expansion

مطرح شده و این دو بعداً مطرح شدند. شاید یک مقداری تعریفشان با هم متفاوت باشد ولی در اینجا ما هر دو واژه را مشابه هم در نظر می‌گیریم. معنی‌شان چیست؟ معنی آن‌ها این است که فشرده‌سازی کنیم و در عین حال به همان اندازه به شرایط محیطی توجه داشته باشیم یا به شرایط اکولوژیک سیستم‌های کشاورزی توجه داشته باشیم و وزن یکسانی به هر دو بدهیم. به عبارت دیگر، فشرده‌سازی طوری انجام نشود که محیط‌زیست آسیب ببیند و یا طوری انجام گیرد که محیط‌زیست کمترین آسیب را ببیند و یا اگر امکان دارد محیط‌زیست بهتر شود. پس فشرده‌سازی اکولوژیک یا پایدار می‌خواهد آن اثرات منفی ناشی از فشرده‌سازی را حداقل کند یا به صفر نزدیک سازد و حتی برعکس اگر امکان داشته باشد اثرات مثبت زیست‌محیطی از فشرده‌سازی کسب شود.

تعریف رسمی فشرده‌سازی اکولوژیک یا پایدار این است که به ازای هر واحد منابع (زمین و آب) یا نهاده‌هایی (کود و سم) که استفاده می‌گردد، تولید بیشتری انجام شود و این کار طوری صورت گیرد که محیط‌زیست حفظ یا حتی بهتر شود. تولید بیشتر به ازای هر واحد منابع یا نهاده‌ها هم انجام شدنی نیست مگر اینکه بهره‌وری[1] افزایش یابد، یعنی این‌که از هر واحد نهاده یا منابع بتوان تولید بیشتری صورت داد. بنابراین، فشرده‌سازی اکولوژیک یعنی افزایش بهره‌برداری. در مبحث آب یک اصطلاحی است که گفته می‌شود محصول بیشتر به ازای هر قطره آب[2] که این نیز در واقع به بحث فشرده‌سازی اشاره دارد.

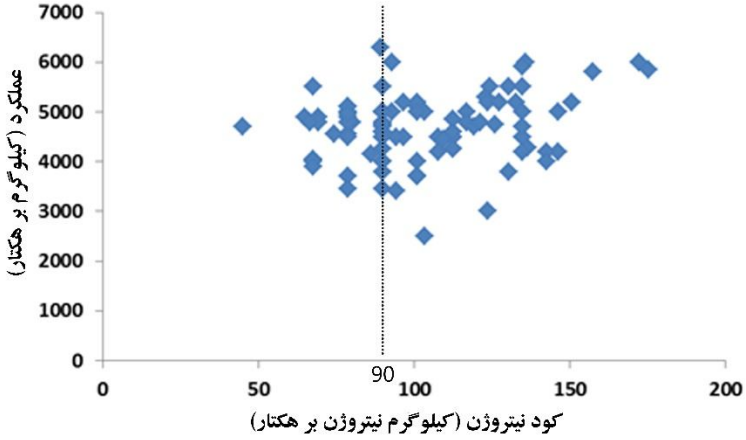
امروزه در سطح دنیا با توجه به این‌که جمعیت بشر هنوز رو به افزایش است و پیش‌بینی می‌شود که این افزایش تا سال ۲۰۵۰ تداوم داشته باشد (بعد از ۲۰۵۰ برخی منابع کاهش جمعیت جهان را پیش‌بینی کرده‌اند)، بسیاری از متخصصان علوم کشاورزی و اکولوژی بر این عقیده هستند که برای تولید غذای بیشتر بایستی به سراغ فشرده‌سازی رفت و تقریباً نظر همه‌ی آن‌ها این است که گسترش ممنوع باشد (دلایل در فصول ۱۰ و ۱۱ توضیح داده شد). بنابراین، از بین دو راه گسترش و فشرده‌سازی که برای تولید غذای بیشتر وجود دارد، اتفاق‌نظر وجود دارد که روش گسترش

[1] Productivity
[2] More crop per drop

اقدام پرضررتری برای محیط‌زیست و آینده‌ی کره‌ی زمین است. در اهمیت این موضوع بایستی به این نکته اشاره نمود که برآورد شده است که در ۵۰ سال گذشته ۶۰ درصد از زمین‌های طبیعی جهان را فشرده‌سازی نجات داده است یعنی باعث شده که این زمین‌های طبیعی به کشاورزی تبدیل نشوند و اگر فشرده‌سازی صورت نمی‌گرفت این زمین‌های طبیعی بایستی به کشاورزی تبدیل می‌شدند تا غذای بیشتری که لازم بوده، تولید شود. فشرده‌سازی یکی از مباحث مهم در پایدارسازی کشاورزی است.

۱۳-۲-چگونه (مکانیسم‌ها)؟

فشرده‌سازی را چگونه می‌توان انجام داد، یعنی مکانیسم آن چیست؟ به منظور توضیح مکانیسم‌های فشرده‌سازی به شکل ۱۳-۱ توجه کنید. این شکل میزان عملکرد ۱۰۰ مزرعه‌ی گندم در شهرستان گرگان تحت تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن که هر کشاورز استفاده کرده است را نشان می‌دهد. در ۱۰۰ مزرعه‌ی گندم از کشاورزان سؤال شده است که چه مقدار محصول برداشت (محور y) و چه مقدار کود نیتروژن استفاده کرده‌اند (محور x). همان‌طور که مشاهده می‌کنید مقادیر مختلفی از کود نیتروژن به‌کار برده‌اند و عملکردهای متفاوتی نیز برداشت کرده‌اند. اما به نکته‌ای در شکل توجه کنید. در شکل، یک خط عمودی قرار داده شده است. این خط عملکرد کشاورزانی را نشان می‌دهد که ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هر هکتار مصرف کرده‌اند. همان‌طور که مشخص است عملکردهای این کشاورزان از حدود ۳۵۰۰ کیلوگرم در هکتار (۳/۵ تن در هکتار) تا بیشتر از ۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار (۶ تن در هکتار) متغیر است یعنی کشاورزانی که مقدار مصرف کود یکسانی داشته‌اند (۹۰ کیلوگرم)، عملکردشان از ۳/۵ تا بیشتر از ۶ تن متغیر بوده است. این نکته برای سایر مقادیر کودی نیز صادق است. چرا با وجود کاربرد مقدار یکسان کود، عملکردهای کشاورزان این مقدار متفاوت است؟



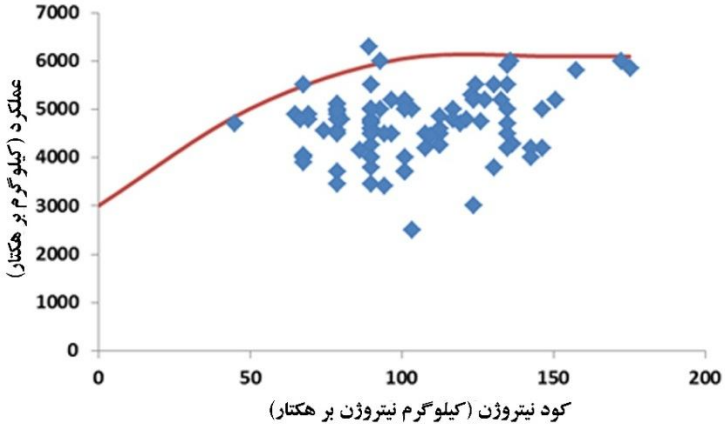
شکل ۱۳-۱- عملکرد مزارع گندم گرگان در مقادیر مختلف کود نیتروژن

اگر به لبه بالایی این مجموعه نقاط (ابر نقاط) یک خط برازش داده شود، یک خط درجه دو حاصل می‌شود (شبیه قانون بازده نزولی است؛ فصل ۷) که در شکل ۱۳-۲ نشان داده شده است. این خط به ما چه می‌گوید؟ این خط نشان دهنده‌ی بالاترین عملکردی است که به ازای هر مقدار کودی معین که توسط کشاورز مصرف شده، به دست آمده است و نشان می‌دهد بیشترین عملکرد به ازای هر مقدار کود چقدر است. برای مثال، اگر ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن مصرف گردد بیشترین عملکرد نزدیک ۶ تن است، اگر ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن استفاده شود حداکثر عملکرد دوباره در حدود ۶ تن است و یا اگر ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به کار برده شود، بیشترین عملکرد نزدیک به ۵ تن در هکتار است. این خط نشان‌دهنده‌ی این است که کشاورزان در صورتی که بهترین مدیریت را داشته باشند به ازای هر مقدار کودی که مصرف کرده‌اند چه میزان عملکردی را می‌توانند به دست آورند.

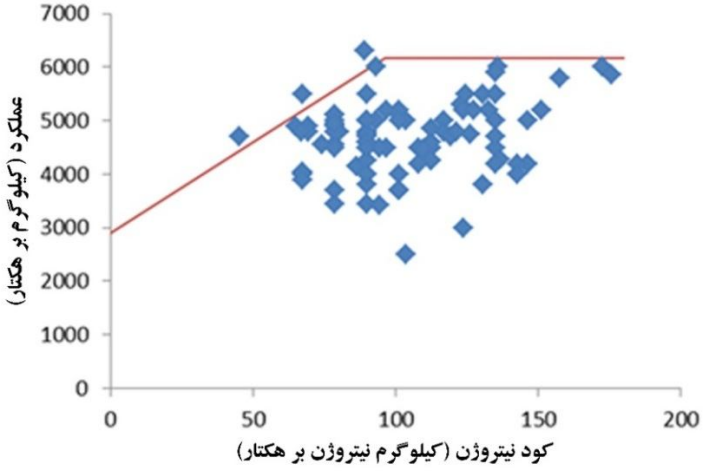
خط برازش داده‌شده به لبه بالایی نقاط را می‌توان ساده‌تر کرد؛ یعنی به جای اینکه خط درجه دو برازش داده شود، دو خط متقاطع برازش دهیم که در شکل ۱۳-۳ نشان داده شده است. این خط حاصل از برازش به لبه‌ی بالایی مجموعه نقاط را خط مرزی[1] می‌گویند. خط مرزی

[1] Boundary line

نشان‌دهنده‌ی این است که بالاترین عملکرد به ازای هر مقدار نهاده‌ای که در نظر گرفته شود، چه مقدر است که می‌تواند این خط درجه دو باشد مثل قانون بازده‌ی نزولی یا می‌تواند دو خط متقاطع برای ساده‌سازی باشد.



شکل ۱۳-۲- قانون بازده نزولی



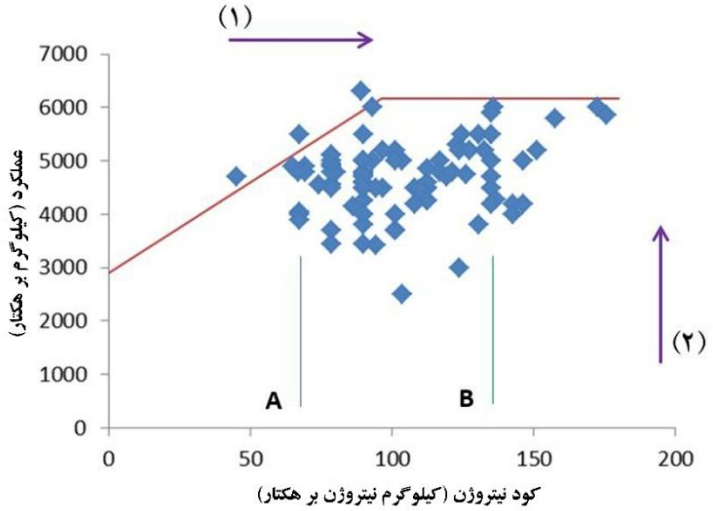
شکل ۱۳-۳- ساده شده قانون بازده نزولی (برازش با دو خط متقاطع)

اکنون می‌خواهیم بگوییم که چگونه می‌توان فشرده‌سازی کرد یا بهره‌وری را افزایش داد، به سه طریق زیر امکان‌پذیر است که عبارتند از:

۱- افزایش منبع یا نهاده (ورودی جدید / بیشتر): اولین کار افزایش منبع یا نهاده است یعنی ورودی بیشتری داشته باشیم. به عنوان مثال، با توجه به شکل ۱۳-۴ کشاورزی که ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن مصرف کند بالاترین عملکردی که می‌تواند کسب کند در حدود ۴/۵ تن در هکتار است اما کشاورزی که مثلاً ۹۰ تا ۹۵ کیلوگرم کود نیتروژن مصرف می‌کند بالاترین عملکردی که می‌تواند کسب کند ۶ تن در هکتار می‌باشد. بنابراین، اولین کاری که می‌توان انجام داد این است که به کشاورزانی که کمتر از ۹۰ تا ۹۵ کیلوگرم کود نیتروژن مصرف می‌کنند (خط شکسته شکل ۱۳-۴) و عملکردشان به سقف عملکرد ممکن (خط افقی شکل ۱۳-۴) نمی‌رسد، توصیه شود که کود بیشتری استفاده کنند چراکه مصرف کمتر از ۹۰ تا ۹۵ کیلوگرم کود نیتروژن باعث می‌شود افت عملکرد داشته باشد. راه اول فشرده‌سازی با فلش شماره (۱) در جهت خط مرزی در شکل ۱۳-۴ نشان داده شده است. یعنی اگر کشاورزی زیر حداقل مقدار مطلوب کود مصرف می‌کند در جهت خط مرزی حرکت کند و نهاده‌ی بیشتری مصرف کند. این را فقط کشاورزانی می‌توانند مصرف کنند که کمتر از حداقل حد مناسب، مصرف کرده‌اند. در این‌جا آن کشاورزانی که کمتر از ۹۰ تا ۹۵ کیلوگرم کود مصرف کرده‌اند بایستی در این جهت حرکت کنند و شامل کشاورزانی که بیشتر از ۹۰ تا ۹۵ کیلوگرم کود نیتروژن مصرف کرده‌اند نمی‌شود. توجه داشته باشید که این توصیه برای کشاورزان شهرستان گرگان است که اطلاعات جمع‌آوری شده از آن‌ها در شکل ۱۳-۳ نشان داده شده است و قابل تعمیم به دیگر مناطق نیست.

۲- رفع دلیل (های) فاصله یا اختلاف نقاط با خط مرزی (افزایش دادن و رساندن عملکردها به خط مرزی): این راه دوم فشرده‌سازی نیز بر اساس شکل ۱۳-۴ توضیح داده می‌شود. در این شکل خط A را در نظر بگیرید، این خط کشاورزانی هستند که حدود ۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن مصرف کرده‌اند اما با مصرف ۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن برخی افراد ۳/۵ تن در هکتار محصول برداشت کرده‌اند و برخی دیگر ۴/۵ تن در هکتار محصول به دست آورده‌اند یعنی

اگرچه مقدار مصرف کود یکسان است ولی عملکردهای متفاوتی حاصل شده است. یا فرض کنید کشاورزانی که به میزان خط B (در حدود ۱۳۵ کیلوگرم) کود نیتروژن مصرف کرده‌اند، عملکرد آن‌ها از ۴ تا ۶ تن متفاوت بوده است، در حالی که میزان مصرف کود یکسانی داشته‌اند. چرا برخی کشاورزان در شرایط مصرف مقدار یکسان کود، عملکرد کمتری برداشت کرده‌اند؟ چرا همه‌ی کشاورزان نتوانستند عملکرد خود را به آن خط مرزی برسانند؟ این که چرا این اتفاق می‌افتد دلایل متعددی دارد، مثلاً در خط B درست است که تمامی کشاورزان ۱۳۰ کیلوگرم مصرف کرده‌اند ولی ممکن است که یکی از آن‌ها همه‌ی کود را یک جا داده باشد و دیگری تقسیم‌بندی کرده باشد. طبیعی است آن کشاورزی که مطابق نیاز گیاه کود را تقسیم‌بندی کرده عملکرد بیشتری به دست آورد. ممکن است که دو کشاورز هر دو ۱۳۰ کیلوگرم کود مصرف کرده باشند اما یکی به موقع آبیاری انجام نداده باشد یا ممکن است یک کشاورز دیر کشت نموده باشد و با وجود اینکه ۱۳۰ کیلوگرم کود نیتروژن نیز مصرف کرده باشد ولی نسبت به آن کسی که به موقع کاشته و همان ۱۳۰ کیلوگرم کود نیتروژن نیز مصرف کرده است، عملکرد کمتری به دست آورده است. در برخی مواقع نیز ممکن است که کشاورز رقم و واریته‌ی نامناسبی کشت کرده باشد. یا ممکن است کشاورز نیتروژن مصرف نموده باشد ولی فسفر و یا پتاس به مزرعه نداده باشد. همچنین ممکن است که تاریخ کاشت دیرهنگام انجام داده و یا با تراکم نامناسبی زراعت کرده باشد و یا در برخی مواقع نیز ممکن است که آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز را کنترل نکرده باشد. راه دوم فشرده‌سازی این است که بررسی شود چرا کشاورزان عملکرد پایین‌تری نسبت به خط مرزی دارند. آن کشاورزانی که مقادیر مشابه نهاده مصرف کرده‌اند ولی عملکرد کمتری دارند را پیدا کرده و مسائل و مشکلات آن‌ها را با راهنمایی و توصیه مناسب برطرف نماییم. با این روش بهره‌برداری به ازای هر واحد منابع (مثل زمین) یا نهاده (مثل کود) افزایش پیدا می‌کند. روش دوم فشرده‌سازی با فلش شماره (۲) در شکل ۱۳-۴ مشخص شده است.

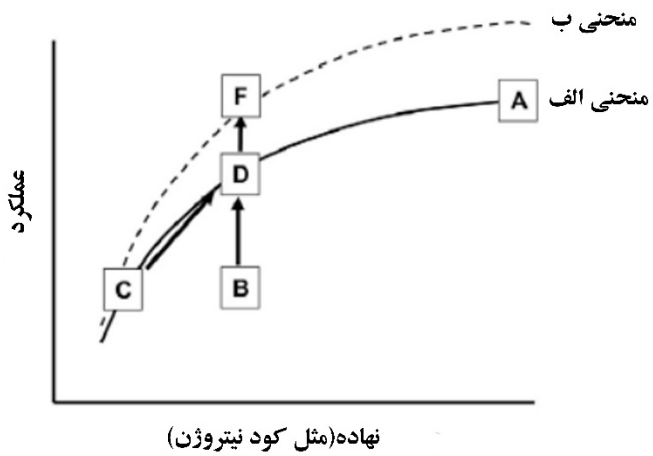


شکل ۱۳-٤- واکنش عملکرد به نهاده مثل کود نیتروژن و تأثیر رفع دلیل (های) فاصله یا اختلاف نقاط با خط مرزی بر آن: برای توضیح مرتبط با خطوط (۱)، (۲)، (A) و (B) به متن مراجعه شود

۳- وارد کردن تکنولوژی جدید یا روش جدید (طرح نو: بالا بردن خط مرزی): روش سوم این است که بتوان با انجام اقداماتی خط مرزی را بالاتر برد. مثلاً فرض کنید رقم جدیدی معرفی شود که عملکرد بالاتری دارد. یعنی خط مرزی به سمت بالاتر حرکت کند که بر اساس شکل ۱۳-۵ توضیح بیش‌تری داده می‌شود. در این شکل منحنی الف نشان‌دهنده‌ی واکنش عملکرد به یک نهاده مثل نیتروژن است. روش اول فشرده‌سازی این بود که کشاورزی که در نقطه‌ی C قرار دارد مثلاً کود بیشتر مصرف کند و به نقطه‌ی D برسد و یا اگر در نقطه‌ی D قرار دارد توصیه شود تا بیشتر مصرف کند و به نقطه‌ی A برسد. روش دوم نیز این بود که آن دسته از کشاورزانی که به خط مرزی نمی‌رسند یعنی در نقطه‌ی B قرار دارند، آن‌ها را راهنمایی کرده تا بتوانند به ازای همان مقدار کودی که مصرف می‌کنند، عملکردشان را به خط مرزی یعنی نقطه‌ی D برسانند. اما راه سوم این است که یک تکنولوژی جدید و یا طرح یا روش نو پیدا کنیم که منحنی «الف» بالاتر بیاید و به منحنی «ب» برسد. به عنوان مثال نقطه‌ی D به F ارتقا یابد. مقدار کود مصرفی برای نقاط B، D و F یکسان است اما بایستی کشاورزانی که در نقطه‌ی

B هستند را با راهنمایی به نقطه‌ی D رساند و اگر در نقطه‌ی D هستند با یک طرح یا روشی جدید به F رسانید. مشاهده می‌شود که کشاورزی که از D به F می‌رسد عملکردی بیشتر از A دارد ولی مقدار نهاده‌ای که مصرف می‌شود کمتر است. نمونه دیگری از این روش سوم این است که در کشاورزی دیم خاک‌ورزی حفاظتی وارد شود که ممکن است منحنی الف را بالاتر ببرد و به منحنی ب برساند.

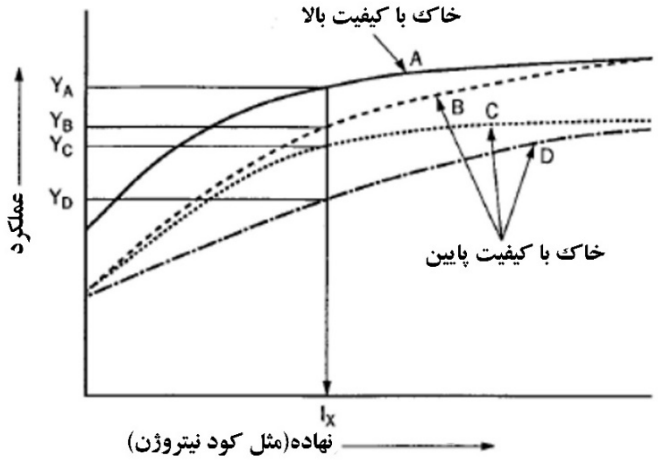
به طور خلاصه: برای فشرده‌سازی اکولوژیک باید دید که اولاً اگر نهاده کم‌مصرف می‌کنند بر اساس اصول علمی مانند آزمون خاک و گیاه، مقدار آن را افزایش دهند. دوماً اگر نهاده به مقدار مناسب مصرف می‌شود ولی عملکرد به خط مرزی نمی‌رسد، بدین معنی است که سایر مدیریت‌ها مناسب نیست (مدیریت زراعی). در این حالت باید علت آن را بررسی کرده و با توصیه و راهنمایی عملکرد را به خط مرزی رساند. سوماً به دنبال طرح‌های نو و روش‌های جدید باشیم. مثلاً خاک‌ورزی حفاظتی، اضافه نمودن گیاهان پوششی، افزایش ماده‌ی آلی خاک، بهبود روش‌های آبیاری و کوددهی و سایر مواردی که ممکن است وجود داشته باشد.



شکل ۱۳-۵- واکنش عملکرد به یک نهاده مثل کود نیتروژن و تأثیر وارد کردن تکنولوژی یا روش جدید بر آن

شایان ذکر است که در مواردی به دلیل پایین بودن قیمت و یا عدم وجود حمایت استتاری مثل بیمه، ریسک، سرمایه اولیه و یا به دلیل عدم دسترسی به نهاده‌ها و ماشین‌آلات مناسب و یا عدم وجود زیرساخت‌های مناسب مثل انبار و جاده‌های دسترسی، کشاورزان تمایلی یا توانی برای بهبود مدیریت در مزرعه ندارند که برای فشرده‌سازی و افزایش بهره‌وری باید به این مورد هم توجه شود.

در اینجا بایستی به یک نکته‌ی بسیار مهم توجه داشت: باید توجه شود که گاهی ممکن است فشرده‌سازی معکوس اتفاق بیفتد. برای توضیح بیشتر این موضوع به شکل ۱۳-۶ توجه کنید. منحنی A ممکن است که واکنش عملکرد به مقدار متفاوت نهاده (مثل کود نیتروژن) باشد. به عنوان مثال اگر به میزان I_x کود مصرف شود، عملکردی معادل Y_A به دست می‌آید. حال اگر مدیریت مزرعه مناسب نباشد مثلاً در اثر استفاده زیاد از ماشین‌آلات خاک مزرعه فشرده گردد یا ماده آلی خاک کاهش یابد، منحنی واکنش عملکرد گیاه به کود پایین‌تر می‌افتد (منحنی B) و به ازای آن مقدار I_x ممکن است این دفعه عملکردی معادل Y_B حاصل شود. یا ممکن است مشکل و مسئله‌ای شدیدتر شود و محنی واکنش عملکرد گیاه به نهاده بازهم پایین‌تر بیفتد و به منحنی C برسد و یا در شرایط شدیدتر منحنی به منحنی D برسد که به ازای مقدار معین نهاده، عملکردی به ترتیب برابر با Y_C و Y_D به دست می‌آید. بنابراین، بایستی به این نکته توجه داشت که برخی مواقع در اثر عدم مدیریت مناسب یا اقدامات اشتباه، مزرعه در جهت فشرده‌سازی معکوس جلو می‌رود.
در شکل ۱۳-۶ دلایل پایین افتادن منحنی واکنش عملکرد گیاه به نهاده غیر از فشرده شدن خاک در اثر ماشین‌آلات می‌تواند مثلاً ناشی از روش‌های نادرست مبارزه با آفات و بیماری‌ها، روش‌های خاک‌ورزی نامناسب، شور شدن خاک و نظیر این‌ها باشد. وقتی خاک شور می‌شود و منحنی به تدریج از A به D می‌رسد به ازای مقدار معینی نهاده (I_x) عملکرد پایین‌تری نیز به دست می‌آید (Y_A در مقایسه با Y_D).



شکل ۱۳-٦- واکنش عملکرد به نهاده مثل نیتروژن و تأثیر کیفیت خاک بر آن

۱۳-۳-شاخص‌های فشرده‌سازی یا کیفیت مدیریت

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که از کجا باید بدانیم که کجای وضعیت فشرده‌سازی قرار داریم؟ و یا به چه میزان می‌توان اقدام بیشتر انجام داد؟

در پاسخ باید گفت که شاخص‌های فشرده‌سازی یا کیفیت مدیریت متعدد و متفاوت می‌باشند که در این‌جا به دو مورد از آن اشاره می‌شود:

۱- خلأ عملکرد نسبی یا عملکرد نسبی: یکی از شاخص‌های فشرده‌سازی خلأ عملکرد نسبی[1] است. عملکردی که یک کشاورز می‌تواند با بهترین مدیریت از یک گیاه در یک محیط و یا منطقه برداشت کند را عملکرد پتانسیل می‌گویند (جمع دو رنگ آبی و قرمز در شکل ۱۳-۷ عملکرد پتانسیل را نشان می‌دهد)؛ یعنی اگر کشاورز بهترین مدیریت را به کار گیرد به چه میزان محصول می‌تواند دست پیدا کند. در شکل ۱۳-۷ پتانسیل عملکرد ۸۴۰۰ کیلوگرم است. آن عملکردی که کشاورز واقعاً برداشت می‌کند را عملکرد واقعی می‌گویند که همیشه کمتر از عملکرد پتانسیل است (شکل ۱۳-۷). به فاصله بین عملکرد واقعی و پتانسیل عملکرد، خلأ عملکرد گفته می‌شود. نسبت عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل را عملکرد نسبی می‌نامند و یک شاخص مهم در اندازه‌گیری میزان فشردگی سیستم است. اگر یک را منهای نسبت عملکرد واقعی به

[1] Relative yield gap

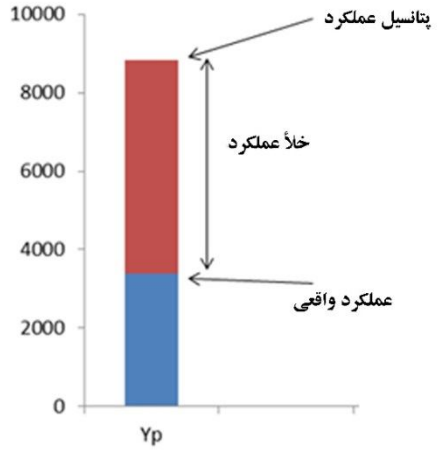
عملکرد پتانسیل کنیم، خلأ عملکرد نسبی محاسبه می‌شود. خلأ عملکرد نسبی یا عملکرد نسبی یک شاخص مهمی است که نشان‌دهنده‌ی این است که کجای فشرده‌سازی قرار داریم. متوسط خلأ عملکرد نسبی در کشور ما برای تمامی محصولات در کشت‌های دیم و آبی ۶۰ درصد و متوسط عملکرد نسبی ۴۰ درصد است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸): یعنی در کشور ما عملکردهای واقعی ۴۰ درصد پتانسیل هستند. هدف‌گذاری نهایی برای عملکرد واقعی معمولاً رسیدن به ۸۰ درصد پتانسیل عملکرد است؛ یعنی در این مورد هدف رسیدن به ۱۰۰ درصد عملکرد پتانسیل نمی‌باشد بلکه دست‌یابی به ۸۰ درصد آن است و یا به عبارتی دیگر خلأ عملکرد را به ۲۰ درصد کاهش بدهیم. رفع کامل خلأ یا رسیدن به پتانسیل عملکرد مستلزم مصرف مقادیر زیادی نهاده است که از نظر اقتصادی به صرفه نیست و برای محیط‌زیست نیز آلودگی زیادی ایجاد می‌کند.

۲- راندمان آبیاری[1] کل: شاخص دیگری که می‌توان از طریق آن فشرده‌سازی سیستم‌های کشاورزی را اندازه‌گیری نمود به مسائل آب برمی‌گردد. در کشور ما که آب‌وهوای خشکی دارد، آب مهم‌ترین محدودکننده در تولید گیاهان مختلف در کشاورزی است. در مورد راندمان آبیاری در فصل ۱۲ به تفصیل توضیح داده شد به همین خاطر در اینجا به صورت مختصر به آن اشاره می‌شود. به منظور بررسی راندمان آبیاری بایستی برآورد کرد که چه مقداری از آن آبی که برداشت می‌گردد در تولیدات کشاورزی در مزرعه مصرف می‌شود (در تبخیرتعرق گیاه زراعی استفاده می‌شود)؛ یعنی نسبت مصرف به برداشت محاسبه گردد. برآورد شده است که درکل کشور ما برای تولیدات کشاورزی ۸۶ میلیارد مترمکعب آب از منابع سطحی و زیرزمینی برداشت می‌شود ولی ۳۳ میلیارد مترمکعب از آن در مزارع (در تبخیر و تعرق جوامع گیاهی) استفاده می‌گردد، بنابراین راندمان آبیاری ۳۸ درصد است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ شکل ۱۳-۸). همان‌طور که قبلاً اشاره شد که اگر راندمان آبیاری ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد ضعیف، اگر ۴۰ درصد باشد قابل قبول و اگر ۵۰ تا ۶۰ درصد باشد خوب است. هدف‌گذاری راندمان آبیاری نیز دست‌یابی به راندمان ۶۰ درصد است، البته به شرطی که از قبل آب لازم برای محیط‌زیست و منابع طبیعی کنار گذاشته شده باشد (در فصل ۱۲ بیشتر

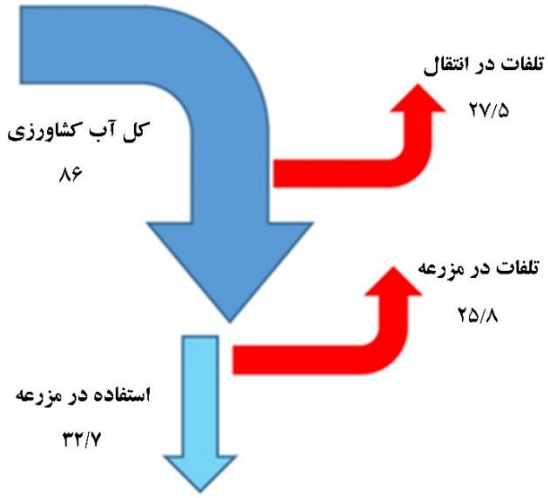
[1] Irrigation efficiency

توضیح داده شده است). شایان ذکر است که بهترین حالت برای محاسبه‌ی راندمان آبیاری این است که به صورت نسبت آب مصرف‌شده در تعرق جامعه‌ی گیاهی به آب برداشت شده محاسبه می‌شود: به شکل ۱۲-۶ و توضیح متن مربوطه در متن مراجعه شود.

از طریق این دو شاخص می‌توان میزان فشرده‌سازی فعلی سیستم کشاورزی را بررسی نمود و این‌که سیستم کشاورزی از نظر فشرده‌سازی در چه سطحی قرار دارد و آیا جای کار بیشتری دارد یا خیر؟



شکل ۱۳-۷- خلأ عملکرد و مقایسه بین پتانسیل عملکرد و عملکرد واقعی



شکل ۱۳-۸- برآورد آب استفاده شده در مزارع و تلفات انتقال و مزرعه از کل آب مصرفی در کشاورزی

۱۳-٤-فشرده‌سازی اکولوژیک در برابر کشاورزی کم نهاده[1]

گاهی فشرده‌سازی اکولوژیک به عنوان نقطه مقابل کشاورزی کم نهاده مطرح شده است. در کشاورزی کم نهاده سعی می‌شود که با کمترین ورودی از بیرون شامل کود، ماشین‌آلات و نظیر این‌ها کشاورزی انجام گیرد. درگذشته تصور بر این بوده است که در کشاورزی کم‌نهاده چون از بیرون نهاده کمتر وارد می‌گردد، برای محیط‌زیست بهتر است که لزوماً این‌طور نیست. کشاورزی کم‌نهاده اگرچه ممکن است در هر واحد سطح زمین آلودگی کمتری ایجاد کند ولی چون برای تولید غذای کافی باید زمین‌های بیشتری زیر کشت برود، آن اثرات مثبتی که در هر واحد سطح زمین دارد را خنثی می‌کند.

اگر در نظر بگیریم که به چه مقدار وزنی تولیدات کشاورزی برای تغذیه مردم نیاز داریم، ممکن است آلودگی کشاورزی کم نهاده در مقایسه با کشاورزی فشرده حتی بیشتر هم باشد و یا در بیشتر مواقع کمتر نیست. حال این پرسش مطرح می‌شود که این اتفاق چگونه روی می‌دهد؟ پاسخ این پرسش با کمک یک مثال توضیح داده می‌شود. فرض کنید شما در سطح یک هکتار کشاورزی کم نهاده گندم دارید که در آن کود، سم و سایر نهاده‌ها را به مقدار کم مصرف می‌کنید و مثلاً عملکرد ۳ تن در هکتار برداشت می‌کنید. حال فرض کنید که به ازای تولید این گندم هر هکتار زمین ۶۰۰ کیلوگرم گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر منتشر می‌شود که در این‌جا به ازای تن محصول گندم ۲۰۰ کیلوگرم گاز گلخانه‌ای خواهد بود. از طرف دیگر، فرض کنید در همان سطح زمین کشاورزی فشرده انجام دهید و مثلاً کود و سم بیشتری استفاده کنید و ۶ تن در هکتار محصول برداشت کنید و این بار به ازای هر هکتار ۱۰۰۰ کیلوگرم گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر منتشر شود. در این حالت در مقایسه با کشاورزی کم نهاده در واحد سطح زمین گاز گلخانه‌ای بیشتری به اتمسفر منتشر شده است و همچنین عملکرد بیشتری نیز به دست آمده است. حال اگر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر تن محصول تولیدی را در کشاورزی کم نهاده و فشرده را با هم مقایسه کنید مشاهده می‌شود که میزان آلودگی ناشی از انتشار گاز گلخانه‌ای در کشاورزی فشرده به ازای هر تن محصول برداشتی ۱۶۶ کیلوگرم و در کشاورزی کم‌نهاده ۲۰۰

[1] Low input

کیلوگرم است. بنابراین، کشاورزی فشرده در این مثال می‌تواند برای محیط‌زیست تمیزتر و بهتر باشد. این گفته که کشاورزی کم نهاده برای محیط‌زیست بهتر است، اگر منظور در واحد سطح باشد ممکن است درست باشد ولی چون بعداً برای تولید غذای کافی باید سطح بیشتری زیرکشت برود این تأثیر مثبت را خنثی می‌کند. به این دلیل در موارد متعددی گزارش شده است که کشاورزی فشرده می‌تواند از کشاورزی کم نهاده برای محیط‌زیست تمیزتر باشد.

جدول ۱۳-۱ انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم تحت سه سناریوی (الف) مدیریت خوب یا فشرده با دو نوبت آبیاری، (ب) مدیریت کم نهاده بدون آبیاری و بدون کود نیتروژنی و (ج) مدیریت رایج فعلی با دو نوبت آبیاری در گرگان را نشان می‌دهد. در سناریوی رایج به ازای هر تن محصولی که تولید می‌شود حدود ۳۰۰ کیلوگرم گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر منتشر می‌شود اما در سناریوی مدیریت خوب (فشرده) به ازای هر تن محصول میزان ۱۷۹ کیلوگرم یعنی تقریباً نصف سناریوی مدیریت رایج گاز گلخانه‌ای به اتمسفر رها می‌شود. میزان محصول برداشت شده در سناریوی رایج ۳۹۰۰ کیلوگرم در هکتار و سناریوی فشرده ۵۲۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. این در حالی است که در سناریوی مدیریت فشرده در مقایسه با سناریوی مدیریت رایج کود نیتروژن (۳۸ درصد)، کل کود (۳۳ درصد) و انرژی (۱۱ درصد) کمتری استفاده شده و عملکرد (۳۳ درصد) بالاتری کسب شده است.

اکنون این پرسش مطرح شود که چگونه این عملکرد بالا در سناریوی مدیریت خوب (الف) با نهاده و آلودگی کمتر حاصل می‌شود؟ در پاسخ باید گفت که با مدیریت بهتر این عملکرد صورت می‌پذیرد. به عنوان مثال، اگر کود به مقدار زیاد و در زمان نامناسب استفاده گردد، تأثیر چندانی بر روی عملکرد ندارد. بنابراین، صرفاً مقدار کود مهم نیست بلکه مدیریت آن نیز اهمیت دارد. کشاورزان خوب با مدیریت بهتر می‌توانند در میزان محصول برداشتی و همچنین در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای موفق‌تر عمل کنند. سناریو «ب» مدیریت کم‌نهاده و سیستم دیم می‌باشد یعنی کشاورز از کود، آب و نهاده خارجی استفاده نکرده است اما میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر تن ۱۷۳ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن گاز گلخانه‌ای است که با مدیریت بهتر (۱۷۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن) اختلاف چندانی ندارد، اگرچه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای

در واحد سطح زمین در مدیریت کم نهاده (۴۳۳ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن) از مدیریت بهتر یا فشرده (۹۳۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن) کمتر می‌باشد. اما با روش کم‌نهاده به علت عملکرد کم آن (مثلاً ۲۵۰۰ کیلوگرم گندم در هکتار- جدول ۱۳-۱) باید زمین زیادی را اضافه نمود تا کمبود تولید جبران گردد که این می‌تواند اثرات منفی بر محیط‌زیست داشته باشد. مثال بالا نشان می‌دهد که با بهبود مدیریت مزرعه (تاریخ کاشت، تراکم، نحوه‌ی کوددهی، آبیاری) حتی با نهاده‌ی کمتر می‌توان به عملکردهای بالاتر دست یافت. وقتی تلاش می‌گردد که هر نهاده‌ای علمی و درست مصرف شود، محیط‌زیست نیز پاک‌تر و تمیزتر باقی می‌ماند.

جدول ۱۳-۱- انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای مختلف تولید گندم در گرگان، الف: مدیریت خوب یا فشرده (دو بار آبیاری)، ب: مدیریت کم نهاده (دیم بدون کود نیتروژنی) و ج: مدیریت رایج فعلی (دو بار آبیاری).

انتشار گازهای گلخانه‌ای	سناریو مدیریتی		
	الف	ب	ج
در واحد سطح (معادل کیلوگرم CO_2 در هکتار)	۹۳۲/۰	۴۳۳/۳	۱۱۶۸/۱
در واحد وزن (معادل کیلوگرم CO_2 در تن)	۱۷۹/۲	۱۷۳/۳	۲۹۹/۵
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	۵۲۰۰	۲۵۰۰	۳۹۰۰

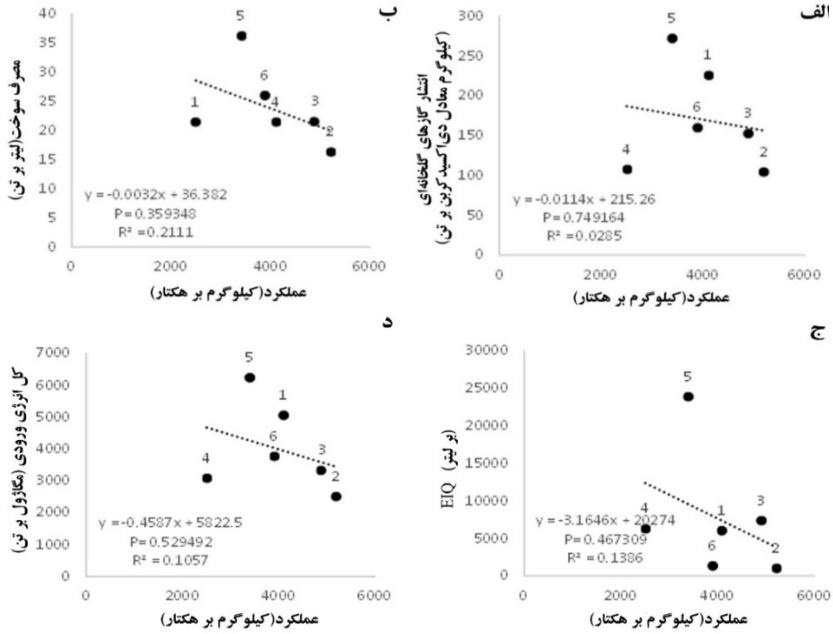
۱۳-۵-فشرده‌سازی و محیط‌زیست

شکل ۱۳-۹ تأثیر فشرده‌سازی بر مصرف سوخت، انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضریب تأثیر بر محیط‌زیست[1] و کل انرژی ورودی به مزرعه به ازای هر تن عملکرد گندم در شش مزرعه در شهرستان گرگان را نشان می‌دهد.

با افزایش فشردگی سیستم (افزایش عملکرد؛ محور افقی)، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر تن محصول تقریباً ثابت بوده یا شیب ملایم کاهشی داشته است. میزان سوخت مصرفی به ازای هر تن محصول تولیدی کاهش یافته است، اگرچه این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نیست. فشرده‌سازی سیستم تأثیر کاهشی بر ضریب تأثیر بر محیط‌زیست محاسبه شده برای سموم مصرفی

[1] Environmental Impact Quotient = EIQ

(یکی از مهم‌ترین شاخص‌های استفاده از سموم می‌باشد- عدد کوچکتر، بهتر) داشته است اگرچه از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. انرژی مصرفی به ازای هر تن محصول تولیدی نیز با فشرده‌سازی سیستم کاهش یافته است که از نظر آماری معنی‌داری نیست؛ یعنی انجام فشرده‌سازی در میزان انرژی که برای تولید هر تن محصول مصرف می‌شود، تغییری ایجاد نمی‌کند. به طور کلی شکل ۱۳-۹ نشان می‌دهد که انجام فشرده‌سازی برای محیط‌زیست اگر تمیزتر نباشد، کثیف‌تر نیز نیست؛ یعنی به محیط‌زیست آسیب بیشتری نمی‌رساند.

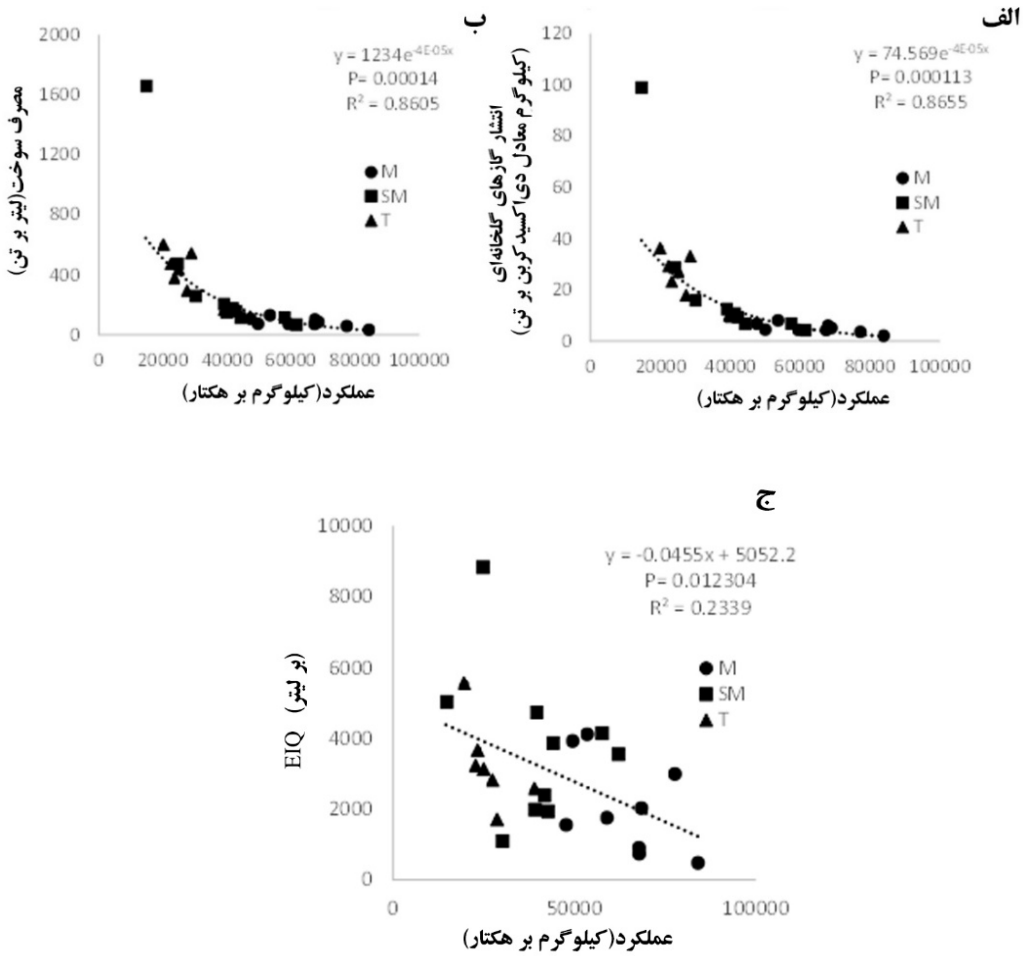


شکل ۱۳-۹- تأثیر فشرده‌سازی بر الف: مصرف سوخت، ب: انتشار گازهای گلخانه‌ای، ج: ضریب تأثیر بر محیط‌زیست و د: کل انرژی ورودی به ازای عملکرد گندم

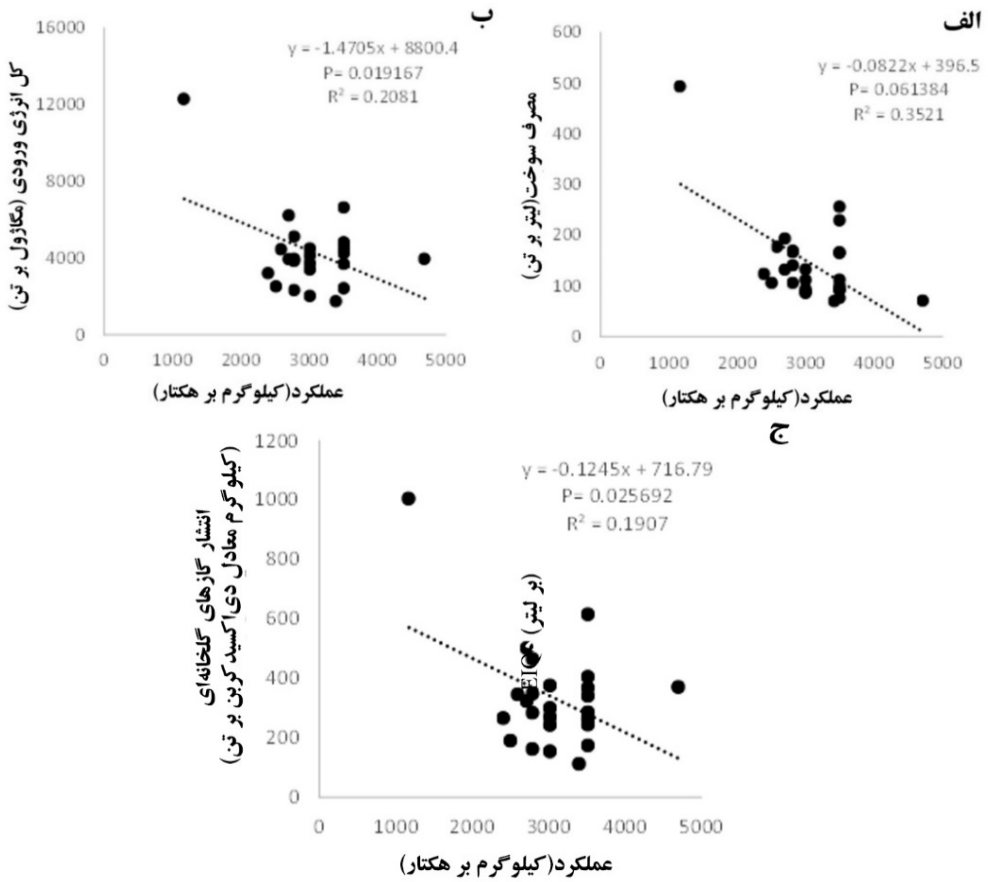
شکل ۱۳-۱۰ تأثیر فشرده‌سازی بر مصرف سوخت، انتشار گازهای گلخانه‌ای و ضریب تأثیر بر محیط‌زیست به ازای هر تن محصول چغندرقند در خراسان شمالی، جنوبی و رضوی را نشان می‌دهد. فشرده‌سازی هر سه این شاخص‌ها را کاهش داده است و این کاهش برای هر سه مورد

مذکور از نظر آماری معنی‌دار است.

شکل ۱۳-۱۱ تأثیر فشرده‌سازی بر مصرف سوخت، کل انرژی ورودی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر تن محصول سویا در ۲۶ مزرعه در گرگان را نشان می‌دهد. با افزایش فشرده‌سازی هر سه شاخص روند کاهشی داشته‌اند که همگی در سطح ۱۰ درصد از نظر آماری معنی‌دار هستند.



شکل ۱۳-۱۰- تأثیر فشرده‌سازی بر الف: انتشار گازهای گلخانه‌ای، ب: مصرف سوخت و ج: ضریب تأثیر محیط‌زیست به ازای هر تن محصول چغندرقند در خراسان شمالی، جنوبی و رضوی. M: مزارع مکانیزه یا فشرده، SM: مزارع نیمه مکانیزه یا نیمه فشرده و T: سنتی یا کم‌نهاده.



شکل ۱۳-۱۱- تأثیر فشرده‌سازی بر الف: مصرف سوخت، ب: کل انرژی ورودی، ج: انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر تن عملکرد سویا

نتیجه‌گیری کلی این است که وقتی اثرات زیست‌محیطی به ازای هر تن محصول تولیدی محاسبه می‌شود و نه در واحد سطح (هکتار)، فشرده‌سازی برای محیط‌زیست تمیزتر است. در واقع سیستم‌های فشرده با مدیریت تولید مطلوب برای محیط‌زیست بهتر هستند. کلید موفقیت نیز همین است که مدیریت در مزارع یا دامداری‌ها و به طور کلی در کشاورزی مطابق با اصول علمی انجام گیرد. همه این موارد در کتب درسی مختلف مرتبط با علوم دامی، باغبانی، زراعت و غیره وجود دارد.

۱۳-٦-خلاصه

در مقایسه‌ی بین فشرده‌سازی و گسترش، بهتر این است که فشرده‌سازی انجام گیرد. فشرده‌سازی اکولوژیک آن است که به پایداری و یا اکولوژیک بودن روش‌هایی که در تولید انجام می‌گیرد به اندازه‌ی فشرده‌سازی وزن داده شود. به عبارت ساده‌تر، همان‌قدر که به افزایش محصول اهمیت داده می‌شود به محیط‌زیست نیز اهمیت داده شود.

افزایش فشرده‌سازی مبتنی بر سه مکانیسم زیر است:

۱- افزایش منبع یا نهاده (ورودی جدید / بیشتر)

۲- رفع دلیل (های) فاصله یا اختلاف نقاط با خط مرزی

۳- به کار بردن تکنولوژی جدید یا روش جدید (طرح نو: بالا بردن خط مرزی)

اکثر مطالعات نشان می‌دهند که فشرده‌سازی اکولوژیک در مقابل گسترش، ردپای کمتری در محیط‌زیست دارد. کلید موفقیت در فشرده‌سازی اکولوژیک، پیروی از اصول علمی در مدیریت تولید کشاورزی (یعنی مدیریت خوب) است؛ یعنی مدیریت تولید بهبود داده شود. این نکته‌ی مهم را همیشه باید در ذهن داشت که نه تنها زراعت بلکه در کل کشاورزی بایستی سعی شود که مدیریت بهبود و ارتقا یابد، چراکه علاوه بر تولید بیشتر برای محیط‌زیست نیز پاک‌تر و مناسب‌تر است.

تکلیف درسی

۱- برای این بخش درس خلاصه‌ای نیم تا یک‌صفحه‌ای تهیه کنید.

۲- از اقدامات یا کارهایی که در کشاورزی انجام می‌شود یک لیست طلایی و یک لیست قرمز تهیه کنید.

- ✓ لیست طلایی: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین مزیت یا اثر مثبت است، دارای هزینه کم و پذیرش اجتماعی می‌باشد
- ✓ لیست قرمز: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین عیب یا اثر منفی است.

فصل چهاردهم
سیستم‌های کشاورزی پایدار

در فصول قبل در ارتباط با اصول و روش‌های کشاورزی پایدار صحبت شد. در این فصل درباره تعدادی از سیستم‌های کشاورزی پایدار توضیح داده خواهد شد. منظور از سیستم کشاورزی پایدار چیست؟ منظور ترکیبی از تعدادی از روش‌های پایدارسازی است که در کنار هم با یک شرایط خاص استفاده می‌شوند، سیستم‌های کشاورزی پایدار متعدد هستند و خط کشی واضحی بین آن‌ها نیست. ممکن است برخی افراد به شیوه‌های متفاوتی این سیستم‌ها را توصیف کرده باشند. در این‌جا پنج سیستم مهم به‌صورت مختصر توضیح داده می‌شوند که برای کشور ما نیز مناسب هستند:

- کشاورزی حفاظتی[1]
- اگروفارستری[2]
- تناوب علفزار-غله[3]
- کشاورزی ارگانیک[4]
- کشاورزی دقیق[5]

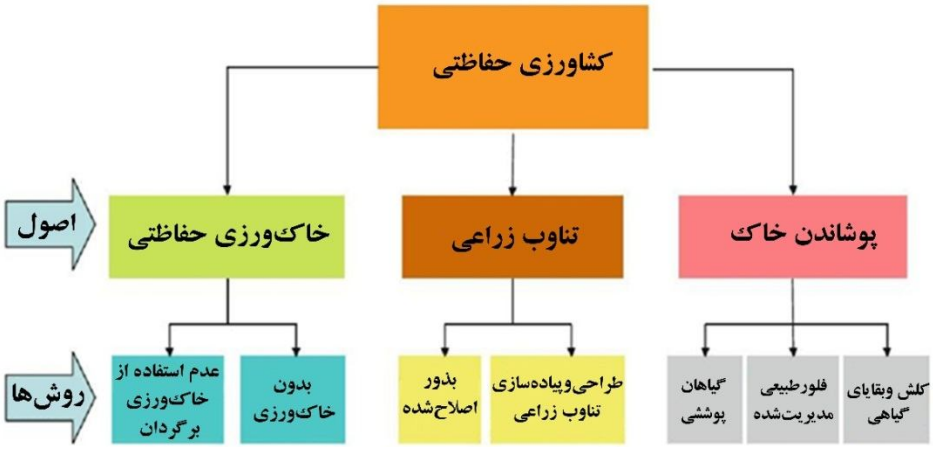
[1] Conservation Agriculture
[2] Agroforestry
[3] Ley farming
[4] Organic Agriculture
[5] Precision Agriculture

۱۴-۱-کشاورزی حفاظتی

یک نوع سیستم کشاورزی است که بر سه اصل کلیدی زیر استوار شده است:

- حداقل برهم زنی خاک (در فصل ۱۱ توضیح داده شده است)
- ایجاد پوشش دائمی یا نیمه دائم خاک با ماده آلی (ماده آلی می‌تواند گیاه زنده یا بقایای گیاه برداشت شده و یا گیاه پوششی باشد)
- کشت گیاهان متنوع: در این‌جا منظور تناوب است که انواع گیاهان مختلف کشت می‌شوند.

کشاورزی حفاظتی نسبتاً جدید است، اما امروزه در کشورهای مختلف گسترش پیدا کرده است. جالب است بدانید که ۹۵ درصد کشاورزی حفاظتی در پنج کشور دنیا انجام می‌شود که شامل کانادا، آمریکا، برزیل، آرژانتین و استرالیا می‌باشند. همان‌طور که می‌دانید این کشورها دارای کشاورزی پررونقی هستند و کشاورزی آن‌ها هم برای خودشان و هم برای دنیا اهمیت دارد چون تولیدات کشاورزی زیادی در این کشورها انجام می‌شود. همان‌طور که مشخص است این کشورها از کشورهای سرد (مثل کانادا) تا کشورهای گرم و مرطوب (مثل برزیل) و یا کشورهای گرم و خشک (مثل استرالیا) هستند. بنابراین، کشاورزی حفاظتی سیستمی است که در شرایط مختلف می‌توان از آن استفاده کرد یعنی مثلاً این‌طور نیست که خاص مناطق گرم و خشک باشد بلکه به نظر می‌آید می‌توان در طیف گسترده‌ای از شرایط محیطی از این سیستم استفاده کرد. شکل ۱۴-۱ اصول و روش‌های کشاورزی حفاظتی را نشان داده است. کشاورزی حفاظتی بر اساس سه اصل خاک‌ورزی حفاظتی، استفاده از تناوب زراعی و پوشاندن خاک تشکیل شده است. اینکه هر کدام را چگونه می‌توان انجام داد در فصول قبلی بحث شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است در مورد خاک‌ورزی حفاظتی می‌توان از بدون خاک‌ورزی و یا خاک‌ورزی حداقل استفاده نمود (فصل ۱۱). در ارتباط با تناوب زراعی می‌توان از گیاهان متنوع‌تر استفاده کرد و یا در مورد پوشش خاک می‌توان از مالچ کلش، گیاهان پوششی و ... استفاده نمود (فصل ۱۱).



شکل ۱۴-۱- اصول و روش‌های کشاورزی حفاظتی

در جدول ۱۴-۱ مقایسه‌ای از خاک‌ورزی سنتی، خاک‌ورزی حفاظتی و کشاورزی حفاظتی آورده شده است. یادآوری می‌شود که خاک‌ورزی حفاظتی و کشاورزی حفاظتی دو بحث جداگانه هستند که در این فصل در مورد کشاورزی حفاظتی توضیح داده می‌شود. در واقع خاک‌ورزی حفاظتی یک روش است که می‌تواند در کشاورزی حفاظتی استفاده شود.

جدول ۱۴-۱- مقایسه خاک‌ورزی سنتی، خاک‌ورزی حفاظتی و کشاورزی حفاظتی

مسائل	خاک‌ورزی سنتی	خاک‌ورزی حفاظتی	کشاورزی حفاظتی
روش یا حجم عملیات	خاک را زیاد بهم می‌زند و سطح خاک معمولاً لخت می‌باشد.	بهم‌زدن خاک کم شده است و سعی می‌شود که پوشش خاک حفظ گردد.	بهم‌زدن خاک به حداقل ممکن می‌رسد و سعی می‌شود که پوشش خاک دائمی باشد.
فرسایش	فرسایش آبی و بادی حداکثر است.	فرسایش آبی و بادی به صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرده‌اند.	فرسایش آبی و بادی در حداقل ممکن است و نسبت به دو روش دیگر کمترین مقدار ممکن است.
سلامت فیزیکی	کمترین سلامت فیزیکی	به‌طور معنی‌داری سلامت	بهترین حالت در افزایش سلامت

خاک (فشردگی)	خاک را دارد چراکه از ماشین‌آلات زیاد استفاده می‌شود، خاک فشرده می‌گردد و دوباره برای رفع فشردگی باید از خاک‌ورزی مجدد استفاده شود و چون خاک‌ورزی زیاد استفاده می‌شود، خاکدانه‌ها تخریب می‌شوند و ممکن است منافذ بهم بخورند و روی فعالیت بیولوژیکی نیز تأثیر منفی بگذارند.	فیزیکی خاک را بهبود می‌بخشد و گاهی از خاک‌ورزی استفاده می‌شود تا فشردگی خاک که ممکن است در اثر خاک‌ورزی حفاظتی ایجاد شده باشد را از بین ببرند.	فیزیکی خاک است. مشکل فشردگی که ممکن است در کشاورزی حفاظتی ایجاد شود را می‌توان با استفاده از مالچ و همچنین خاک‌ورزی بیولوژیک حل کرد. خاک‌ورزی بیولوژیک یعنی گیاهانی کشت گردد که ریشه‌دهی زیادی دارند و می‌توانند فشردگی خاک را با رشد ریشه‌هایشان کم کنند و یا از بین ببرند
سلامت زیستی خاک	کمترین میزان را دارد	وضعیت سلامتی بهتر شده است و به سطح متوسط ارتقاء پیدا کرده است.	وضعیت سلامت زیستی خیلی بهتر شده است، تنوع زیستی از نظر جانداران و میکروب‌های خاک افزایش می‌یابد که به سلامت خاک کمک می‌کنند.
نفوذ آب	کم	متوسط (شرایط بهتر می‌شود)	زیاد (بهترین حالت)
ماده‌ی آلی خاک	در اثر خاک‌ورزی خاک زیاد بهم می‌خورد و اکسیداسیون ماده آلی سریع‌تر صورت می‌گیرد و کاهش پیدا می‌کند.	ماده‌ی آلی خاک افزایش می‌یابد چون بقایا و کاه‌وکلش در سطح خاک نگه داشته می‌شوند به تدریج ماده آلی خاک افزایش پیدا می‌کند.	بهترین وضعیت ماده‌ی آلی خاک در این حالت مشاهده می‌شود.
علف‌های هرز	با بهم زدن خاک در اثر خاک‌ورزی، علف‌های هرز را کنترل می‌کند. این بهم	در خاک‌ورزی حفاظتی علف‌های هرز تا حدودی کنترل می‌شوند اما ممکن	علف‌های هرز ممکن است در مراحل اولیه به یک مشکل تبدیل شوند اما با پیشروی این

	خوردن خاک باعث می‌شود که بذرهای جدیدی از علف‌های هرز به سطح خاک آمده و جوانه زده و رشد کنند.	است مقداری مشکل علف‌های هرز بیشتر شود.	سیستم (با استقرار سیستم)، خود بقایایی که در سطح خاک وجود دارد می‌توانند به کنترل علف‌های هرز کمک کنند و به اصطلاح علف‌های هرز را خفه می‌کنند و رشدشان را کاهش می‌دهند.
دمای خاک	تغییرات زیاد	تغییرات متوسط	تغییرات کم
مصرف سوخت	زیاد	متوسط	کم
هزینه‌های تولید	زیاد	متوسط	کم
به موقع بودن عملیات‌ها	می‌توان مقداری عملیات‌های مختلف را به تأخیر انداخت؛ یعنی اگر به تأخیر بیافتد مسئله‌ای نیست.	تا حدی می‌توان عملیات‌های مختلف را به تأخیر انداخت.	به موقع بودن عملیات‌ها در شرایط بهینه‌تری نسبت به خاک‌ورزی حفاظتی را می‌توان انجام داد.
عملکرد	می‌تواند کمتر باشد اگر عملیات به تأخیر افتاده باشد	مشابه خاک‌ورزی سنتی	مشابه خاک‌ورزی سنتی اما می‌تواند بیشتر نیز باشد اگر کشت گیاهان از نظر زمانی به موقع‌تر انجام شود.

مزایای سیستم کشاورزی حفاظتی در فصل ۱۱ (مدیریت منابع زمین و خاک) توضیح داده شده است. بنابراین، در اینجا دوباره بیان نمی‌شود. در ارتباط با کشاورزی حفاظتی پژوهش‌های فراوانی در سالیان اخیر صورت گرفته است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها مطالعه‌ای است که در اروپا انجام گرفته است و نتایج آن نشان داده است که خاک‌ورزی حفاظتی ۵۰ تا ۷۰ درصد در کاهش استفاده از انرژی مؤثر است که عدد بسیار بزرگی است. همچنین در این پژوهش بیان شده است که کشاورزی حفاظتی مصرف کودهای شیمیایی را ۳۰ تا ۵۰ درصد و مصرف آب را ۳۰ تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد (شکل ۱۴-۲).

شکل ١٤-٢- مزایای کشاورزی حفاظتی در اروپا

اما معایب و چالش‌های که کشاورزی حفاظتی ممکن است داشته باشد به صورت زیر است:

- چون تجهیزات تخصصی برای کشت و کار می‌خواهد، هزینه اولیه بالایی دارد؛ به ویژه در کشور ما که مزارع کوچک هستند و معمولاً کشاورزان توانایی تهیه این تجهیزات را ندارند. در همه دنیا این هزینه‌ی بالای تجهیزات کشاورزی حفاظتی مشکلی است که کشاورزان دارای زمین بزرگ می‌توانند آن را مدیریت کنند و تجهیزات لازم را فراهم کنند ولی همان‌طور که بیان شد کشاورزان دارای زمین‌های کوچک معمولاً از عهده این کار برنمی‌آیند.
- دستگاه‌های مناسب خاک‌ورزی حفاظتی برای کار در مزارع کوچک و متوسط کمتر وجود دارد یا اصلاً وجود ندارد. کشاورزی حفاظتی معمولاً دستگاه‌های پیشرفته مثل تراکتورهای بزرگ و قوی نیاز دارد که برای زمین‌های بزرگ طراحی شده‌اند.
- در کشاورزی حفاظتی آفات (آفات، بیماری و علف‌های هرز) ممکن است به یک مشکل تبدیل شوند، به ویژه در سال‌های اول که بعداً به تدریج این مشکل کاهش پیدا می‌کند.
- از آن‌جا که کشاورزی حفاظتی سیستمی است که به مهارت‌های جدید احتیاج دارد کشاورز بایستی آن مهارت‌ها را یاد بگیرد. در وهله‌ی نخست باید کارشناسان و مروجین کشاورزی یاد بگیرند و سپس به کشاورزان آموزش بدهند؛ بنابراین کشاورزی حفاظتی به آموزش نیاز دارد که این خود می‌تواند یک چالش باشد.
- برای بقایایی که در کشاورزی حفاظتی توصیه شده است که بر سطح خاک باقی بماند، رقیب وجود دارد. در کشور ما ممکن است که بقایا را برای دامداری‌ها و سایر موارد مشابه استفاده کنند. گاهی پیشنهاد شده است که این بقایا را برای تولید سوخت زیستی استفاده کنند که

کاملاً اشتباه می‌باشد. در واقع این خارج نمودن بقایای گیاهی ضد کشاورزی حفاظتی و کشاورزی پایدار در کشور است (به دلیل پایین بودن ماده آلی خاک‌های کشور). البته این مشکل بیشتر در کشورهای توسعه نیافته مثل کشور ما وجود دارد و معمولاً در کشورهای پیشرفته کمتر مشاهده می‌شود.

۱۴-۲-اگروفارستری

اگروفارستری از دو واژه اگرو و فارستری تشکیل شده است که به ترتیب به معنای کشاورزی و جنگلداری هستند؛ بنابراین ترکیب کشاورزی و جنگلداری است. در برخی منابع زراعت جنگلداری یا جنگل زراعی نیز نامیده شده است. در واقع اگروفارستری عبارت است از ترکیب کردن کشت درختان یا درختچه‌ها با گیاهان زراعی یعنی مزارع یا چراگاه‌ها؛ یعنی هم درخت کشت شود و هم گیاهان یک یا چندساله کوتاه. در شکل ۱۴-۳ ردیف‌هایی از گیاهان زراعی و درختان مشاهده می‌گردد که نمونه‌ای از اگروفارستری می‌باشد.

شکل ۱۴-۳- نمونه‌ای از اگروفارستری

در اگروفارستری منظور این نیست که مثلاً در باغی که وجود دارد لابه‌لای درختان گیاهان زراعی کشت شود که این کار در کشور ما صورت می‌گیرد، به خصوص در سال‌های اول که درختان کوتاه هستند، بلکه اگروفارستری بایستی برنامه‌ریزی‌شده باشد که کشت گیاهان زراعی بین درختان به صورت دائمی انجام پذیرد و نه فقط در سال‌های اول. بنابراین، معمولاً فاصله‌ی

درختان را بیشتر می‌گیرند و در فاصله ردیف درختان کشت و تولید گیاهان زراعی به طور دائمی انجام می‌شود. در کشور ما کشت یونجه در لابه‌لای ردیف‌های درختان در برخی نقاط دیده می‌شود که نمونه‌ای از اگروفارستری است و از گذشته وجود داشته است. به عنوان مثال، باغ سیب را در نظر بگیرید که بین ردیف‌های درختان یونجه کشت و تولید می‌شود.

مزایای اگروفارستری در فصول قبل بیان شده است. گفته شد که اگروفارستری یکی از راه‌کارهای مهم در پایدارسازی سیستم‌های کشاورزی است که مزایای آن به طور مختصر عبارتند از:

- افزایش تنوع زیستی
- بهبود ساختمان و سلامت خاک
- کاهش فرسایش
- افزایش ترسیب کربن
- افزایش عملکرد
- افزایش درآمد و رفاه کشاورزان

اگروفارستری در سال‌های قبل‌تر بیشتر یک روش مفید برای مناطق گرمسیری مثل کشورهای آفریقایی و برخی کشورهای گرمسیری آسیایی به شمار می‌رفت. اگر به منابع علمی ۲۰ سال پیش مراجعه کنید می‌بینید که اکثر پژوهش‌های اگروفارستری مربوط به مناطق گرمسیری بوده‌اند ولی در سال‌های اخیر این روش در اروپا و آمریکا که مناطق معتدله یا خنک و سرد هستند نیز استفاده می‌شود و اقبال به این روش در این مناطق نیز مشاهده می‌شود. اگروفارستری در کشور ما نیز می‌تواند روش مناسبی باشد، در صورتی که موانع آن برطرف شود و توسعه پیدا کند. سه روش اگروفارستری قابل استفاده در کشور عبارتند از:

۱- کشت نواری درخت و گیاه: این روش در مناطق معتدله توصیه شده و رو به گسترش می‌باشد که به دو روش تقسیم می‌شود: (الف) یک ردیف از درختان کشت می‌کنند و سپس گیاهان زراعی را در بین آن‌ها می‌کارند[1] و (۲) نوارهایی از درختان و گیاهان زراعی را به صورت

[1] Alley cropping

متناوب کشت می‌کنند[1]. در این روش برگ درختان به تأمین عناصر غذایی گیاهان زراعی کمک می‌کنند و همچنین درختان، میوه تولید می‌کنند که کشاورز می‌تواند برداشت کند. به علاوه، وجود درختان می‌تواند به کاهش فرسایش و تعدیل اثرات منفی بادهای شدید به ویژه در مناطقی که بادخیز هستند، کمک کند. مزیت مهم دیگر افزایش تنوع زیستی است.

۲- سیستم‌های اگروفارستری دام محور: این سیستم ترکیب اگروفارستری با تولید دام است. حالتی است که درختان را کشت می‌کنند و در زیر درختان چراگاه کشت می‌شود یا به عبارت دیگر داخل چراگاه ردیف‌های درختان را کشت می‌کنند و در چراگاه‌ها می‌توان دام‌ها (مثل گاو، بر، گوسفند، گوزن و غیره) را پرورش داد. دام‌ها از علوفه‌ی زیر درختان و گاهی از سرشاخه‌ها و برگ‌های خزان شده از درختان می‌توانند استفاده کنند. در اقلیم‌های داغ از جمله در برخی مناطق کشور ما این روش کمک می‌کند تا دام‌ها کمتر دچار تنش شوند و گرمای هوا دام‌ها را کمتر اذیت کند و در نتیجه تأثیر مثبتی در رشد و تولیدات دام‌ها می‌گذارد؛ چون درختان سایه ایجاد می‌کنند، دام‌ها در هوای خنک‌تر چرا می‌کنند که از نظر رشد و تولید برای دام‌ها بهتر است. همان‌طور که اشاره شد در این روش برگ درختان نیز می‌تواند به عنوان منبع غذایی برای دام‌ها استفاده می‌شود (شکل ۱۴-۴).

۳- سیستم‌های اگروفارستری مرزی: این سیستم‌ها قبلاً توضیح داده شده است و همان نوارهای فیلتری هستند که در فصول قبل به آن اشاره شد. همان‌طور که گفته شد در نوارهای فیلتری (مثل شکل ۱۴-۵) در حاشیه‌ی رودخانه‌ها یا جاهایی که آب به صورت دائمی یا موقت عبور می‌کند، ردیف‌های درختان کشت می‌کنند تا آن خاکی که از مزارع فرسایش پیدا کرده یا آبی که از مزارع و یا باغات زه‌کش یا رواناب شده توسط این درختان جذب شود و در نتیجه آلودگی‌های آن به منابع آبی وارد نشود، یعنی هدف اصلی این است که آلودگی آب را کاهش دهند. این روش اگروفارستری به ویژه در اروپا و آمریکا در حال گسترش است. ایجاد پرچین‌ها یا حصارهای ضخیم از درختان بین مزارع یا قطعات بزرگ مزرعه نیز اگروفارستری از این دسته است که قبلاً به آن اشاره شد. درختان می‌توانند به عنوان حصار یا پرچین از عبور دام و انسان

[1] Strip-cropping

ممانعت به عمل آورند و در کاهش آلودگی‌ها مؤثر واقع شوند. علاوه بر این، می‌توانند مسکن پرندگان، حشرات، حشره‌خوارها و سایر جانداران باشند و از آلودگی آب جلوگیری کنند. ایجاد بادشکن با کمک درختان نیز نوعی اگروفارستری مرزی است. بادشکن‌ها در مناطق بادخیز در حاشیه مزارع احداث شده و اثرات منفی بادهای شدید را تعدیل می‌کنند.

شکل ١٤-٤- سیستم‌های اگروفارستری دام محور

شکل ۱۴-۵- نمونه‌ای از نوارهای فیلتری درختان در حاشیه رودخانه

اما چالش‌هایی برای اگروفارستری وجود دارد که بایستی برای آن‌ها چاره‌ای اندیشیده شود و آن‌ها را مدیریت نمود:

- اختلال در کاشت، داشت و برداشت گیاهان زراعی: طبیعتاً وقتی که گیاه زراعی بین درختان کشت می‌شود، مزاحمت‌هایی برای کاشت، داشت و برداشت آن پیش می‌آید؛ یعنی مثل قبل (کشت خالص) که درخت حضور نداشت، نمی‌توان راحت این عملیات‌ها را انجام داد.
- رقابت بین درختان و گیاه زراعی: از آن‌جا که هر دو گیاه هستند و به آب، عناصر غذایی، نور و نظیر این‌ها نیاز دارند، آن مکان‌هایی که ردیف‌های گیاهان زراعی به درختان نزدیک هستند ممکن است رشد کمتر و متفاوت‌تری نسبت به بقیه مکان‌های مزرعه داشته باشند. برگ‌های ریخته شده اگرچه مفید هستند و عناصر غذایی را به خاک برمی‌گردانند ولی می‌توانند مشکلاتی نیز ایجاد کنند، مثلاً می‌توانند گیاه زراعی را در مراحل اولیه رشد به صورت کامل بپوشانند و رشد آن را کاهش دهند و یا حتی گیاه را خفه کنند. در برخی موارد مزاحمت‌هایی در کار دستگاه‌ها و ادوات ایجاد می‌کنند.
- عدم وجود اطلاعات کافی درباره اگروفارستری: اطلاعات کافی در ارتباط با اگروفارستری وجود ندارد.
- ناآشنایی با روش‌ها: روش‌های که برای اگروفارستری وجود دارد معمولاً بسیاری از افراد با آن‌ها آشنا نیستند.
- فقدان کمک‌های فنّی: اطلاعات از روش‌ها و کمک‌های فنی مثل استفاده از دستگاه‌ها، نحوه‌ی کشت و فاصله‌های بین درختان و گیاهان و دیگر اطلاعات مشابه اندک است.
- فقدان سایت‌های نمایشی: جاهایی برای نمایش سیستم‌های موفق پیاده‌سازی شده‌ی اگروفارستری وجود ندارد تا سایر کشاورزان آن‌ها را بازدید کنند و یا ادارات کشاورزی برای بازدید از آن‌ها استفاده کنند و بتوانند با الگو گرفتن از آن‌ها موارد مشابه آن را ایجاد کنند.
- نیاز به مدیریت سطح بالاتر: اگروفارستری به سطح مدیریت بالاتری نیاز دارد که ممکن است بسیاری از کشاورزان حوصله و یا توان آن را نداشته باشند. به طورکلی مدیریت سطح بالاتر همیشه ممکن است اشکالاتی را ایجاد کنند یعنی ممکن است که کشاورز نتواند از پس آن

برآید.

- فقدان تحقیقات علمی: تحقیقات علمی کافی در مورد اگروفارستری در کشور انجام نشده است.

مواردی که در بالا بیان شد با تأکید بر کشور ماست ولی در سایر کشورها هم کم‌وبیش چنین چالش‌ها یا مشکلاتی وجود دارد که برای گسترش اگروفارستری بایستی برای آن‌ها فکر و چاره‌ای اندیشیده شود.

۱۴-۳-تناوب علفزار-غله

سیستم تناوب علفزار- غله در ابتدا در شرایط دیم کشور استرالیا ایجاد شد. به این صورت که به جای این‌که سیستم گندم-آیش اجرا کنند، یعنی یک سال گندم بکارند و سال بعد زمین را آیش بگذارند، گیاه علوفه‌ای یک‌ساله از جنس شبدر یا یونجه را جایگزین آیش کردند. به این ترتیب، سیستم گندم-آیش به غله- علفزار تبدیل شد. به جای گندم در این سیستم می‌توان از جو نیز استفاده کرد. گیاه اصلی علوفه‌ای گیاهی از خانواده بقولات مثل یونجه و شبدر یک‌ساله است که تثبیت نیتروژن انجام می‌دهند و می‌توانند نیتروژن خاک را افزایش دهند و به شکستن چرخه آفات کمک کنند و چون علوفه هستند می‌توان بعداً دام را نیز وارد سیستم کرد و تلفیق زراعت- دامداری ایجاد نمود.

روش کار در این سیستم به این صورت است که بذر گندم و شبدر یا یونجه را با هم کشت می‌کنند. بذور شبدر و یونجه سخت است و معمولاً سال اول سبز نمی‌شوند و در خاک به صورت سبز نشده باقی می‌مانند. اگر مقداری از بذور آن‌ها سبز شوند با علف‌کش (2-4-D) از بین برده می‌شوند. بنابراین، در سال اول بذر گندم سبز شده و رشد می‌کند و در نهایت برداشت می‌شوند. در سال دوم که زمین قرار بوده آیش باشد، بذور شبدر و یونجه‌ای که در سال اول کشت شده بودند خوابشان شکسته شده (به دلیل رفع سختی بذور) و سبز می‌شوند و در سال دوم در مزرعه شبدر و یونجه سبز و مستقر می‌شوند (خواجه‌پور، ۱۳۸۱). معمولاً کار خاص دیگری نیز انجام نمی‌شود یعنی در سیستم غله-علفزار بذور گندم و شبدر را با هم می‌کارند و در سال دوم کار زیادی نیز انجام نمی‌دهند. علوفه‌ای که رشد کرده (شبدر یا یونجه) را می‌توان به‌طور کامل به

خاک بازگرداند و یا می‌توان توسط دام‌ها چرا نمود که این به شرایط بستگی دارد: اگر کشاورز بخواهد مادهٔ آلی خاک را افزایش دهد، آن را به خاک برمی‌گرداند و اگر به علوفه نیاز داشته باشد، آن را برداشت می‌کند.

امروزه سیستم علفزار-غله گسترده‌تر شده است و گیاهان یک‌ساله و چندساله وارد این سیستم شده‌اند و ترکیبات مختلفی از غله و گیاه علوفه‌ای را می‌توان مشاهده کرد. این روش در کشور ما نیز جای رشد زیادی دارد و می‌توان آن را توسعه داد.

۱۴-٤-کشاورزی ارگانیک

کشاورزی ارگانیک روشی است که در اوایل قرن بیستم میلادی ایجاد شده است. همان‌گونه که قبلاً گفته شد (فصل هفتم) با توجه به تغییرات سریعی که در کشاورزی روی داد، سیستم‌های کشاورزی نیز شبیه سیستم‌های خطی تولید در صنعت شدند. در واکنش به این تغییرات سریع و استفاده از نهاده‌های زیاد بیرونی، کشاورزی ارگانیک به وجود آمد. حرف اصلی کشاورزی ارگانیک این است که تولید گیاه و دام بدون استفاده از آفت‌کش، کودهای شیمیایی، بذور گیاهان و دام‌های تراریخته، آنتی‌بیوتیک یا هورمون‌های رشد و نظیر این‌ها انجام گیرد. به طور کلی در این سیستم هیچ نوع مادهٔ شیمیایی سنتزی مجاز نیست و فقط می‌توان از موادی که در طبیعت وجود دارد یا وجود داشته است، استفاده نمود. اما در این سیستم از ماشین‌آلات برای انجام عملیات کاشت، داشت و برداشت استفاده می‌کنند که طبیعتاً در ماشین‌آلات سوخت ریخته می‌شود و سوخت نیز یک مادهٔ شیمیایی مصنوعی است. از طرفی دیگر گیاهان به آب آبیاری نیاز دارند که باز در این بخش الکتریسیته و سوخت استفاده می‌شوند و این آبیاری می‌تواند باعث افزایش املاح خاک شود ولی در سیستم کشاورزی ارگانیک از ماشین‌آلات، سوخت و آبیاری استفاده می‌کنند و بنابراین اگر دقت کنیم در واقع یک تناقض جزیی وجود دارد

البته کشاورزی ارگانیک فقط این نیست که از مواد شیمیایی استفاده نشود بلکه مشخصات دیگری را نیز شامل می‌شود که برخی از آن‌ها عبارتند از:

- حداقل‌سازی زوال خاک (فرسایش) و کاهش آلودگی محیط: حداقل‌سازی زوال خاک از جمله فرسایش یکی از مهم‌ترین موارد در کشاورزی ارگانیک است. همزمان کاهش آلودگی

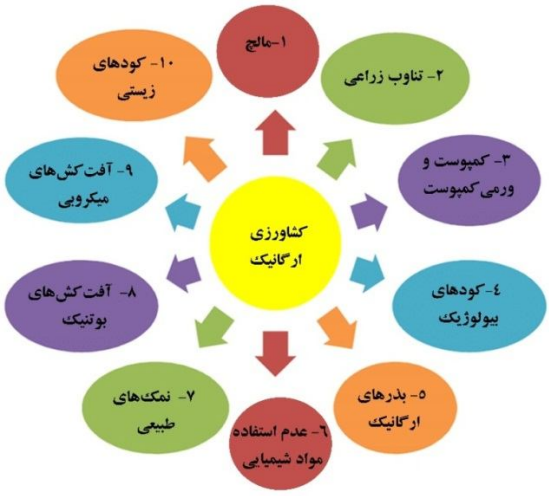
محیط‌زیست در اثر کشاورزی مورد توجه می‌باشد.

- حفظ طولانی‌مدت حاصلخیزی خاک از طریق بهینه‌سازی شرایط برای فعالیت‌های بیولوژیکی در خاک: توجه به حاصلخیزی خاک در طولانی‌مدت از طریق فعال کردن چرخه‌ها و فرآیندهایی که موجودات زنده انجام می‌دهند (فعالیت‌های بیولوژیک) مد نظر است.
- بازچرخش مواد و منابع در بیشترین حد ممکن: در کشاورزی ارگانیک تکیه به بازچرخش مواد یا منابع است تا حدی که امکان داشته باشد.
- کودهای آلی (کمپوست، کود دامی، کود سبز، استخوان): استفاده از کودهای آلی مثل کمپوست، کود دامی، کود سبز، استخوان و نظیر این‌ها در کشاورزی ارگانیک توصیه می‌شود.
- حفظ تنوع بیولوژیک در سیستم‌های ارگانیک انجام می‌گیرد: در سیستم‌های ارگانیک اتکا به تناوب (استفاده از گیاهان متنوع) و گیاهان پوششی بسیار زیاد است.
- در کشاورزی ارگانیک پیشگیری از آفات در اولویت قرار دارد و به توازن میزبان/شکارچی (فصل دوم) توجه زیادی می‌شود. از کنترل بیولوژیک استفاده می‌کنند (فصل ۱۰). در کشاورزی ارگانیک سعی می‌شود برای مقابله با آفات (آفات، بیماری و علف‌های هرز) به جای استفاده از سموم به ارقام مقاوم تکیه شود و اگر هم نیاز باشد از آفت‌کش‌های طبیعی استفاده می‌شود. به عنوان مثال، ممکن است از گوگرد برای کنترل بعضی از بیماری‌ها مثل سفیدک استفاده شود و یا ممکن است از نیکوتین استفاده گردد که از محلول برگ توتون به دست می‌آید.
- سیستم کشاورزی ارگانیک سعی می‌کند که به منابع تجدید پذیر تکیه داشته باشد و همچنین در این سیستم سعی می‌شود که بیشتر کارها در یک منطقه سازمان‌دهی شده باشد؛ یعنی کشاورزی ارگانیک یک سیستم کشاورزی است که محلی سازمان یافته است، نقطه مقابل سیستم‌های کشاورزی که جهانی هستند. در سیستم‌های جهانی ممکن است محصول تولیدی در کشور یا قاره‌ی دیگر به فروش برسد درحالی‌که در سیستم‌های کشاورزی ارگانیک سعی می‌گردد که تبادلاتی در حد امکان در یک منطقه محدود صورت بگیرد.
- در چند سال اول ممکن است که پیاده‌سازی سیستم کشاورزی ارگانیک سخت باشد.

از نظر گسترش کشاورزی ارگانیک در جهان گفته شده است که ۷۰ میلیون هکتار سطح زیر

کشت دنیا زیر سطح کشت کشاورزی ارگانیک گواهی‌شده هستند یعنی بر آن‌ها نظارت صورت می‌گیرد. این نظارت توسط کشورها و یا سازمان‌ها انجام می‌گیرد و سپس گواهی صادر شده و بروی محصولات برچسب‌ها یا علامت‌هایی زده می‌شود (شکل ۱۴-۶). بخش زیادی از کشاورزی ارگانیک دنیا در استرالیا و به ویژه در چراگاه‌های این کشور انجام می‌گیرد. به‌طور کلی ۱/۵ درصد زمین‌های کشاورزی دنیا از این نوع کشاورزی تشکیل شده است و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ نیز سالیانه در حدود ۹ درصد افزایش پیدا کرده است که این رقم، رشد مناسبی محسوب می‌شود.

شکل ١٤-٦- برچسب‌های کشاورزی ارگانیک



شکل ١٤-٧- مؤلفه‌های کشاورزی ارگانیک

در شکل ۱۶-۷ مؤلفه‌های مهم در کشاورزی ارگانیک نشان داده شده است. به طور خلاصه مؤلفه‌ها یا روش‌هایی که در کشاورزی ارگانیک استفاده می‌شود عبارتند از: (۱) استفاده از مالچ، (۲) تناوب، (۳) کمپوست و ورمی کمپوست، (۴) کودهای بیولوژیک مثل کود دامی، (۵) بذرهای ارگانیک (یعنی بذری که در کشاورزی ارگانیک استفاده می‌شود نیز ارگانیک تولید شده باشد)، (۶) عدم استفاده از مواد شیمیایی، (۷) استفاده از نمک‌های طبیعی، (۸) استفاده از آفت‌کش‌های گیاهی، (۹) استفاده از آفت‌کش‌های میکروبی (این میکروب‌ها آفات را از بین می‌برند) و (۱۰) استفاده از کودهای زیستی.

موارد ۴ و ۱۰ در شکل ۱۴-۷ هر دو کودهای زیستی گفته شده است اما منظور از مورد ۴ بیشتر کودهای دامی، کمپوست و نظیر این‌ها است و مورد ۱۰ نیز به کودهای زیستی که مثلاً میکروب‌هایی را استفاده می‌کنند که آن‌ها در خاک نیتروژن تثبیت می‌کنند. مورد ۴ خود ماده‌ی آلی است اما مورد ۱۰ ماده‌ی آلی نیست و معمولاً یک عاملی استفاده می‌کنند که آن عامل بعداً به حاصلخیزی خاک کمک می‌کند.

مسائلی نیز در ارتباط با کشاورزی ارگانیک مطرح است. این‌طور نیست که تصور شود که همیشه کشاورزی ارگانیک خوب و مفید است. برخی مطالعات نشان داده‌اند که این سیستم گاهی برای محیط‌زیست بدتر است، ردپای کربن بالاتری دارند و یا انرژی کمتری ممکن است نیاز داشته باشند ولی از طرفی زمین بیشتری نیاز دارند. قبلاً اشاره شد که هر جا که زمین بیشتر استفاده گردد، ضرر بیشتری برای محیط‌زیست خواهد داشت: یعنی برای این که تولیدات افزایش یابد دو راه وجود دارد (۱) زمین بیشتر استفاده شود و یا (۲) تولید در واحد سطح افزایش یابد. از آن جا که در سیستم کشاورزی ارگانیک تولید در واحد سطح کاهش پیدا می‌کند پس به ناچار زمین بیشتر استفاده می‌شود که تخریب بیشتر محیط‌زیست را به دنبال دارد. گزارشاتی نیز وجود دارد که اگر آبشویی نیتروژن در واحد وزن محصول محاسبه شود، مشاهده می‌گردد که در روش کشاورزی ارگانیک آبشویی نیتروژن بیشتری انجام می‌گیرد. همچنین انتشار N_2O، آمونیاک و فرآیند یوتریفیکاسیون بیشتری در این روش صورت می‌پذیرد.

در یک مطالعه متاآنالیز که توسط دانشگاه آکسفورد انجام شده، بیان شده است که در تولید

ارگانیک به ۸۴ درصد زمین بیشتر نیاز بوده است. علاوه بر این، نتایج پژوهش دیگری که برای تولید حیوانات ارگانیک (مثل تخم‌مرغ ارگانیک، مرغ ارگانیک و یا گاو ارگانیک) صورت گرفته، نشان داده است که برای تولید مرغ به دو برابر زمین بیشتر نیاز بوده است. همچنین مطالعات دیگری هست مبنی بر این که شواهد علمی کافی وجود ندارد که محصولات ارگانیک ایمن‌تر و سالم‌تر از روش رایج باشند. در یک مطالعه ۱۸ ساله دیگر نیز مشاهده شده است که در روش کشاورزی ارگانیک که کود داده نمی‌شود، تخلیه عناصر از خاک صورت می‌گیرد. از طرفی بیشتر مزایایی که کشاورزی ارگانیک دارند بازمی‌گردد به عناصری که تخلیه می‌شوند و جایگزین نمی‌گردند و ممکن است که سال‌ها طول بکشد تا اثرات منفی آن ظاهر شود. بنابراین اگر این موارد لحاظ شود ممکن است ارزشمندی کشاورزی ارگانیک کاهش پیدا کند.

بایستی به این نکته توجه داشت که این مسائلی که بیان شد به معنی نفی این روش نیست بلکه به این معناست که چشم بسته نمی‌توان گفت که کشاورزی ارگانیک در همه شرایط سیستم مناسب و بهتری نسبت به سایر روش‌هاست. همه‌ی سیستم‌ها این‌طور هستند که برخی مسائل منفی نیز دارند و نباید به صورت تعصبی با آن‌ها برخورد شود. ممکن است یک سیستمی که گفته می‌شود عالی است در برخی جاها که استفاده می‌شود اثرات منفی بیشتری داشته باشد؛ پس باید با چشم باز و بر اساس مطالب علمی قضاوت شوند و مورد مقایسه قرار گیرند.

۱۴-۵-کشاورزی دقیق

کشاورزی دقیق به این معنی است که مدیریت خاص نقطه‌ای انجام گیرد. کشاورزی ماهواره‌ای نیز به آن گفته می‌شود. کشاورزی دقیق روشی است که در آن از GPS[1]، GIS[2] و از علم زمین‌آمار[3] استفاده می‌شود. در این روش قطعات مختلف مزرعه که از نظر خصوصیات مختلف شبیه هم هستند را شناسایی می‌کنند و در هر قطعه از مدیریت مناسب برای همان قطعه استفاده می‌شوند. به عنوان مثال در شکل ۱۴-۸الف وب مشاهده می‌کنید که برخی از نقاط مزرعه قرمز

[1] Global Positioning System
[2] Geographic Information System
[3] Geostatistics

رنگ هستند که فرضاً می‌تواند نشان‌دهنده‌ی علف‌های هرز بیشتر باشد و جاهایی که زرد رنگ است تراکم علف هرز کمتر و مناطق سبز رنگ نیز نشان‌دهنده‌ی عدم وجود علف هرز باشند. حال وقتی می‌خواهند علف‌های هرز را کنترل کنند با توجه به شکل ۱۴-۸ نیاز نیست که همه قطعات به میزان یکسان سم‌پاشی گردند چون تراکم علف‌های هرز در تمام قطعات زمین مشابه نیست. در این سیستم مزرعه را به قطعاتی تقسیم‌بندی می‌کنند و هر جا مثلاً علف‌های هرز هست همان جا سم‌پاشی می‌شود و اگر در یک نقطه‌ای علف‌های هرز بیشتر باشد، سم‌پاشی بیشتری نیز انجام می‌گیرد و جایی که تراکم علف‌های هرز کم است و یا وجود ندارد به میزان کمتری سمپاشی می‌شود و یا اصلاً انجام نمی‌گیرد. این روش برای کوددهی، آبیاری و سایر عملیات نیز می‌تواند صورت پذیرد. به‌طور خلاصه، کشاورزی دقیق یعنی نقاط مختلف مزرعه بایستی بررسی شود و هر اقدام در صورت وجود غیریکنواختی، مختص همان قسمت و یا نقطه انجام شود.

الف ب

شکل ١٤-٨- نمونه‌ای از کشاورزی دقیق: عدم یکنواختی با رنگ‌های متفاوت مشخص شده است.

طبیعتاً اگر کشاورز بخواهد از این روش استفاده کند اول باید مزرعه خود را بشناسد یعنی باید مزرعه را مطالعه کند، به این صورت که مزرعه را قطعه قطعه کند و در هر قطعه وضعیت مزرعه را از نظر تراکم علف‌های هرز، حاصلخیزی زمین و هر عامل دیگری که مد نظرش است، بررسی کند. طبیعتاً این کار علاوه بر این که وقت‌گیر است به سرمایه و نیروی زیادی احتیاج دارد. در کشاورزی دقیق ماشین‌آلات به GPS مجهز می‌شوند و به هر نقطه که رسیدند متناسب با شرایط آن نقطه مثلاً سمپاشی و یا کود پاشی صورت می‌گیرد. بنابراین با این روش آب، کود، آفت‌کش و

سایر نهاده‌ها به اندازه کافی در جای خود استفاده می‌شود.

برای استفاده از کشاورزی دقیق دو شرط وجود دارد:

۱- قطعات زمین بزرگ باشد: در کشاورزی دقیق بایستی قطعات مزارع و یا زمین‌ها بزرگ باشد چون وقتی که مزرعه کوچک است امکان وجود غیریکنواختی از نظر عوامل مختلف مثل علف‌های هرز، حاصلخیزی و نظیر این‌ها کم می‌شود و استفاده از این روش با توجه به هزینه‌ها مقرون به صرفه نیست. بنابراین، وقتی مزارع بزرگ نیستند عملاً این روش به درد بخور نیست و هزینه‌های مربوطه را پوشش نمی‌دهد. روش کشاورزی دقیق برای زمین‌های بزرگ ابداع شده است و در کشور ما که اکثر مزارع کوچک هستند، این روش مناسب نیست مگر کشاورزان خاص که زمین‌های بزرگی دارند که البته تعداد آن‌ها خیلی کم می‌باشد. در کشور ما کشاورزی دقیق روشی نیست که بتوان به صورت عمومی از آن استفاده کرد.

۲- زمین دارای غیریکنواختی باشد: در مزرعه بایستی غیریکنواختی وجود داشته باشد؛ یعنی اگر قطعات زمین خیلی بزرگ ولی یک دست باشند دیگر استفاده از این روش معنا ندارد. روش کشاورزی دقیق جایی معنا پیدا می‌کند که زمین یک دست نباشد و به بیانی دیگر مزرعه از نظر تراکم علف‌های هرز، آفات و بیماری، میزان حاصلخیزی خاک و نظیر این‌ها غیریکنواخت باشد.

به‌طور خلاصه اگر زمین بزرگ و غیریکنواختی وجود نداشته باشد معمولاً این روش استفاده نمی‌شود. کشاورزی دقیق روشی است که از فنون و تکنولوژی‌های جدید مثل ربات‌ها، پهپادها و عکس‌های ماهواره‌ای، اینترنت اشیاء، آموزش ماشین و نظیر این‌ها در آن زیاد استفاده می‌شود. در شکل ۱۴-۹ مشاهده می‌کنید که در کشاورزی دقیق یک پهپاد نقطه‌ای از زمین را سم‌پاشی می‌کند.

شکل ١٤-٩- استفاده از پهباد در کشاورزی دقیق

برای روش‌تر شدن توضیح روش کشاورزی دقیق به مثال زیر دقت کنید. تصور کنید که شما یک مزرعه دارید که با بررسی میزان حاصلخیزی به دو قسمت حاصلخیزی کم و زیاد قابل تقسیم است (قطعاتی با حاصلخیزی کم و زیاد به ترتیب با علامت « − » و « + » در شکل ۱۴-۱۰ نشان داده شده است). اگر در ابتدا وضعیت مزرعه مطالعه نشده و به دو قسمت از نظر حاصلخیزی تقسیم نگردیده باشد و در آن مثلاً گندم کشت کنید ممکن است در تمام مزرعه به طور یکسان ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن استفاده کنید؛ یعنی آن قطعه‌ای که حاصلخیزی کمتری دارد با آن قطعه که حاصلخیزی زیادتری دارد به یک میزان کود بدهید. در این حالت در آن قطعه‌ای که حاصلخیزی بیشتری دارد بخشی از آن ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن تلف می‌شود، درصورتی که در قطعه‌ی دیگری که حاصلخیزی کمتری دارد ۱۰۰ کیلوگرم کود برای جبران حاصلخیزی کم است و در نتیجه عملکرد گیاه پایین‌تر از حد مطلوب خواهد بود. حال اگر وضعیت مزرعه را مطالعه کرده باشید و از میزان حاصلخیزی دو قطعه از آن اطلاع داشته باشید در قطعه‌ای که حاصلخیزی کمتر است مثلاً ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن مصرف می‌کنید که گیاه نیز به آن نیاز دارد و در نتیجه عملکرد بالاتر می‌رود. در قطعه‌ی دیگر که حاصلخیزی آن زیاد است می‌توانید مثلاً ۸۰ کیلوگرم کود نیتروژن مصرف کنید تا بخش کمتری از آن تلف شود و گیاه نیز به میزان کمتری نیتروژن نیاز دارد. مشاهده می‌کنید در این دو حالت شما مقدار کود یکسانی در کل مزرعه استفاده کرده‌اید ولی در جایی که به کود بیشتر نیاز بوده است، مقدار بیشتری مصرف کرده‌اید و در جایی که مقدار کمتری کود نیاز بوده است، مقدار کمتری به‌کار برده‌اید. در این حالت دوم هم محصول افزایش پیدا می‌کند و هم آن پیامدهای منفی ناشی از تلفات کود نیتروژن برای محیط‌زیست

کاهش می‌یابد. همان‌طور که می‌دانید کود نیتروژن یکی از مواردی است که تأثیر منفی زیادی بر محیط‌زیست می‌گذارد به‌ویژه اثر زیادی در تغییر اقلیم جهانی دارد (فصل سوم).

شکل ١٤-١٠- اضافه نمودن کود نیتروژن در حالت اول: از وضعیت حاصلخیزی قطعات زمین اطلاعات وجود ندارد و حالت دوم: از وضعیت حاصلخیزی قطعات زمین اطلاعات وجود دارد. – یعنی حاصلخیزی در این قسمت پایین‌تر است و + یعنی حاصلخیزی در این قسمت بالاتر است.

١٤-٦-خلاصه

سیستم کشاورزی پایدار عبارت است از مجموعه‌ای از روش‌ها که با یک ترکیب و شرایط خاص که از آن‌ها استفاده می‌شود. مهم‌ترین سیستم‌های کشاورزی پایدار که برای کشور ما مناسب هستند به ترتیب عبارتند از:

- کشاورزی حفاظتی
- اگروفارستری
- تناوب غله–علفزار
- کشاورزی ارگانیک
- کشاورزی دقیق

در کشور ما سه سیستم کشاورزی حفاظتی، اگروفارستری و علفزار–غله جای گسترش زیاد دارند و نیازمند توجه جدی و فوری هستند.

تکلیف درسی

۱- برای این بخش درس خلاصه‌ای نیم تا یک‌صفحه‌ای تهیه کنید.

۲- از اقدامات یا کارهایی که در کشاورزی انجام می‌شود یک لیست طلایی و یک لیست قرمز تهیه کنید.

- ✓ لیست طلایی: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین مزیت یا اثر مثبت است، دارای هزینه کم و پذیرش اجتماعی می‌باشد.
- ✓ لیست قرمز: اقدام یا عملیات یا روشی که دارای چندین عیب یا اثر منفی است.

فصل پانزدهم
کشاورزی پایدار در ایران

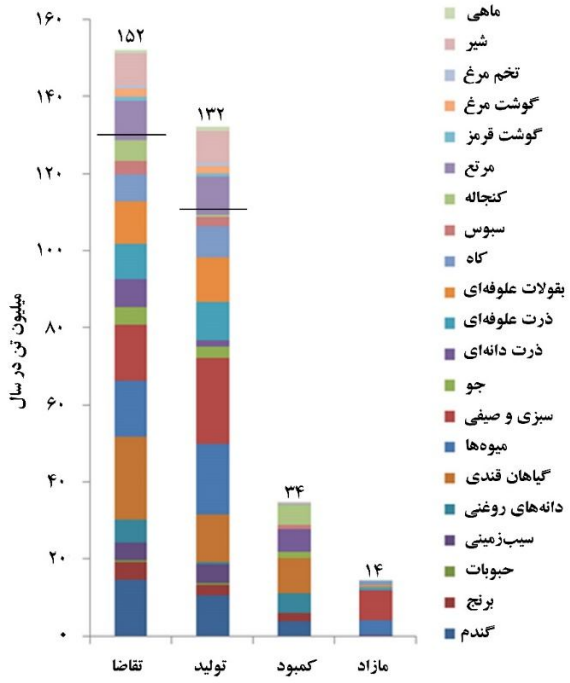
در این فصل به کشاورزی پایدار در ایران (آنچه هست و آنچه باید باشد) پرداخته می‌شود. با توجه به مطالبی که در فصول گذشته بیان شد، می‌خواهیم ببینیم که از نظر پایداری چه خطرات، تهدیدات و یا نگرانی‌هایی در کشاورزی امروز کشور وجود دارد و راه‌حل‌ها چه هستند؟ لازم به ذکر است که اکثر مطالب این فصل از گزارش سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) گرفته شده است.

۱۵-۱-وضعیت کنونی کشاورزی و غذا

در ابتدا خوب است که نگاهی داشته باشیم و ببینیم کشور از نظر کشاورزی و غذا در چه وضعیتی قرار دارد. با توجه به جمعیت کشور، رژیم غذایی که استفاده می‌کنند و تلفات-ضایعاتی که در کشور وجود دارد، میزان تقاضا برای محصولات مختلف کشاورزی ۱۵۲ میلیون تن (برحسب وزن تر درب مزرعه، باغ، کشتارگاه یا مرکز پرورش دام‌ها.) برآورد شده است (شکل ۱۵-۱). از این میزان حدود ۱۳۰ میلیون تن (خط مشکی در شکل ۱۵-۱) تولیدات گیاهی در مزارع، باغات و گلخانه‌ها هستند که بیشترین منابع (مثل آب)، زمین و نهاده‌ها (مثل کودها، انرژی و سوخت) را مصرف می‌کند. در مقابل این نیاز به ۱۵۲ میلیون تن محصولات کشاورزی، میزان تولید محصولات کشاورزی (گیاهی و دامی) ۱۳۲ میلیون تن است که از این میزان حدود ۱۱۰ میلیون تن آن گیاهی می‌باشد (خط مشکی در شکل ۱۵-۱).

سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) برآورد کرده‌اند که ۳۰ میلیون تن از ۱۳۲ میلیون تن تولیدات کشاورزی کشور به صورت تلفات-ضایعات تلف می‌شود که طبیعتاً در تولید آن زمین، آب و انرژی به‌کار رفته است. اگر میزان تولید و تقاضای هر یک از محصولات کشاورزی را به صورت نظیر به نظیر مقایسه کنیم، ۳۴ میلیون تن کمبود تولیدات و ۱۴ میلیون تن مازاد تولیدات وجود دارد. این ۳۴ و ۱۴

میلیون تن بر حسب وزن تر هستند. از نظر خودکفایی اگر ۱۳۲ را به ۱۵۲ تقسیم کنیم، ۰/۸۶ به دست می‌آید به این معنی است که ۸۶درصد نیازها در داخل کشور تولید می‌شود. بنابراین، از این نظر وضعیت مناسبی وجود دارد که یکی از بالاترین میزان خودکفایی در بین کشورهای مختلف است.



شکل ۱۵-۱- وضعیت کنونی کشاورزی و غذا در کشور (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸).

۱۵-۲-نگرانی‌ها، مسائل و مشکلات مهم مرتبط با کشاورزی

نگرانی‌ها، مسائل و مشکلات مهم مرتبط با کشاورزی کشور شامل موارد زیر است که در شکل ۱۵-۲ نیز به صورت خلاصه نشان داده شده است:

۱- افزایش جمعیت و نیاز به غذا و آب بیشتر: پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ جمعیت کشور به ترتیب به ۹۳ و ۱۰۳ میلیون نفر برسد که یعنی به غذای بیشتری نیاز خواهد بود که باید از طریق کشاورزی تولید شود یا وارد گردد. برای افزایش تولیدات کشاورزی نیاز به منابع و نهاده‌های مختلف است که محدودکننده‌ترین آن‌ها آب می‌باشد.

۲- اقلیم نامطلوب: اقلیم کشور خشک است و بارندگی‌ها کم و نامنظم هستند. تغییر اقلیم نیز در حال وقوع است که می‌تواند وضعیت را نامناسب‌تر کند.

۳- در حال حاضر ۸۶ میلیارد مترمکعب در سال آب برای کشاورزی برداشت می‌شود که از نظر وزارت نیرو ۲۸ درصد آن اضافه برداشت است ولی از دیدگاه پایدار اضافه برداشت بیش از ۵۰ درصد برداشت فعلی از منابع آب سطحی و زیرزمینی را تشکیل می‌دهد (به فصل ششم مراجعه شود).

۴- بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۷، ۸/۴ میلیون هکتار زمین تحت کشت آبی (۴/۵ غیرباغی، ۲/۲ باغی و ۱/۷ آیش) و ۹/۷ میلیون هکتار زمین تحت کشت دیم (۶/۵ غیر باغی، ۰/۴ باغی و ۲/۸ آیش) قرار دارد. بررسی‌ها نشان داده است که ۵۰ درصد این زمین‌ها کیفیت نامناسب یا ضعیفی دارند، ۲۵ درصد دارای مشکل شوری هستند و در ۸۲ درصد زمین‌ها ماده‌ی آلی خاک کمتر از یک درصد است که وضعیت بسیار نامناسبی محسوب می‌شود. فرسایش خاک در کشور بالاتر از میانگین‌های جهانی است (۱۶ در برابر ۱۰/۵ تن در هکتار). همچنین خلأ کودی بزرگی در کشور وجود دارد (۳۷ درصد برای نیتروژن؛ ۵۲ درصد برای فسفر؛ ۹۳ درصد برای پتاسیم) یعنی کمتر از آن چیزی که لازم است، کود استفاده می‌شود که خود این می‌تواند عامل اصلی کاهش ماده‌ی آلی خاک‌های کشور باشد چون خاک‌ها فقیر شده و در برابر فرسایش آسیب‌پذیرتر می‌شوند (به فصل ۵ رجوع شود).

۵- راندمان آبیاری و راندمان تولید (یعنی نسبت عملکرد واقعی به پتانسیل عملکرد) در کشاورزی کشور پایین است: راندمان آبیاری کشور (انتقال و کاربرد) ۳۸ درصد است که در حالت مطلوب می‌تواند به ۶۰ درصد برسد و عملکرد نسبی تولیدات کشاورزی ۴۰ درصد است که در حالت مطلوب می‌تواند به ۸۰ درصد برسد. پایین بودن این دو شاخص نشان از سطح پایین مدیریت در کشاورزی کشور دارد (به فصل ۱۳ رجوع شود).

۶- مزارع در کشور کوچک هستند و در اثر قوانین ارث روز به روز کوچکتر هم می‌شوند که در نتیجه جذب سرمایه‌گذاری و تکنولوژی مشکل می‌شود.

۷- سطح دانشی از کشاورزان تا محققان و مدیران پایین است، به ویژه این که دیدگاه کل‌نگر

وجود ندارد. یعنی هر کسی در زمینه تخصصی خود، مشکلات و راه‌حل‌ها را می‌بیند و دیدگاه جامع با نگاه از بالا وجود ندارد.

۸- لازم است مصرف سوخت و انرژی در کشاورزی مدیریت شود چون مقادیر مصرف بالاست و اگر مدیریت نشود بخش کمی برای صادرات و یا استفاده در سایر بخش‌ها باقی می‌ماند.

۹- انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز باید کمتر شود که از تکالیف کشور در جوامع بین‌المللی است و این وظیفه را داریم که با همراهی سایر کشورها تغییر اقلیم را کنترل کنیم چون مشکل شماره‌ی یک در دنیا محسوب می‌شود.

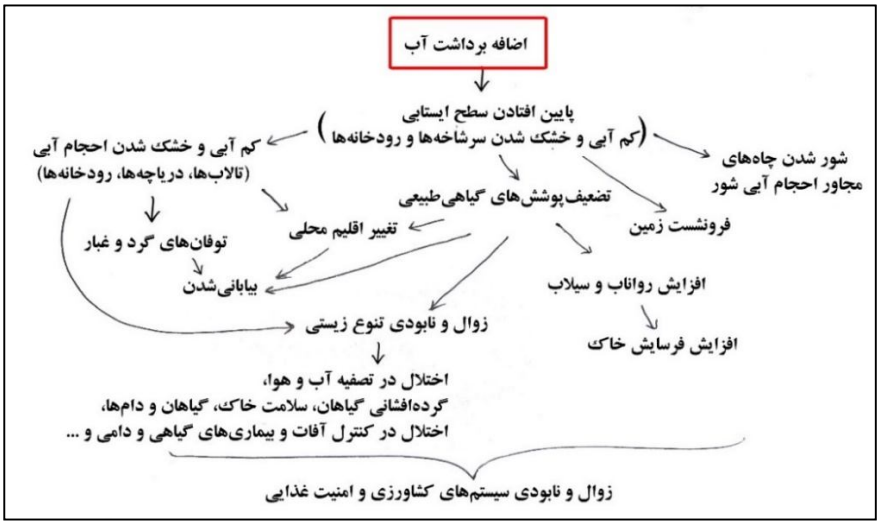
۱۰- در کنار همه موارد بالا تخریب گسترده محیط‌زیست نیز در همه جای کشور مشاهده می‌شود، مخصوصاً تنوع زیستی که خود این می‌تواند خدمات اکوسیستم را دچار مشکل کند و پایداری سیستم‌های کشاورزی را کاهش دهد (به فصل دوم رجوع شود).

شکل ۱۵-۲- نگرانی‌ها، مسائل و مشکلات مهم مرتبط با کشاورزی

همان‌طور که مشاهده می‌شود مشکلات متعدد هستند. هر کسی بسته به دیدگاه و تخصص خود ممکن است یکی از این موارد را مهم‌تر ببیند ولی مشکل اصلی که مثل سرطان به جان منابع طبیعی

و محیط‌زیست کشور افتاده است و پایداری و آینده‌ی تولید در کشاورزی را نیز تهدید می‌کند، مسأله اضافه برداشت آب است که باید هرچه سریع‌تر برای آن چاره‌ای اندیشیده شود. اگر این مشکل چاره شود سایر مشکلات نیز تا حد زیادی مرتفع می‌شوند. برنامه‌ریزی اصلی بایستی برای کاهش برداشت آب در کشاورزی و سازگار شدن کشاورزی با کم‌آبی صورت پذیرد که در این راه مشکلاتی که در شکل ۱۵-۲ ذکر شده‌اند، رفع شده یا کم‌رنگ می‌شوند.

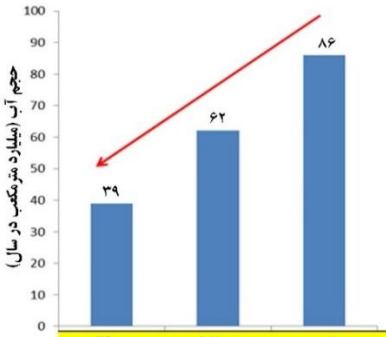
در فصل ششم اشاره شد که اضافه برداشت آب به طور مستقیم و غیرمستقیم عامل اصلی بسیاری از مشکلات مثل فرونشست زمین، افزایش فرسایش، تضعیف پوشش‌های گیاهی، خشک‌شدن تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، افزایش طوفان‌های گردوغبار، بیابانی‌شدن و نابودی تنوع زیستی است (شکل ۱۵-۳) و همان‌طور که اشاره شد ۹۰ درصد اضافه برداشت آب برای کشاورزی صورت می‌گیرد. پیامدهای اضافه برداشت آب باعث کاهش مقاومت و تاب‌آوری سیستم‌های کشاورزی می‌شوند و در نتیجه باعث زوال و نابودی سیستم‌های کشاورزی شده و امنیت غذایی را مورد تهدید قرار می‌دهند. بنابراین، نمی‌توان اضافه برداشت آب را نادیده گرفت.



شکل ۱۵-۳- اثرات زیانبار اضافه برداشت آب

۱۵-۳-پیامدهای رفع اضافه برداشت از منابع آب آبی

همان‌طور که در فصل ششم بیان شد، به منظور رفع اضافه برداشت آب بایستی برداشت از منابع آب برای کشاورزی از ۸۶ میلیارد مترمکعب در سال به حد برداشت پایدار یعنی به ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال برسد. اما، وزارت نیرو بیان کرده است که برداشت آب برای کشاورزی باید به ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال کاهش پیدا کند. حال ببینیم این کاهش برداشت به ۶۲ و سپس به ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال چه پیامدهایی به همراه دارد. بر اساس برآوردی که سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) داشتند، نتیجه گرفتند که در شرایط اقلیمی، مدیریتی و الگوی کشت فعلی این کاهش برداشت از ۸۶ به ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال باعث می‌شود که ۲۹ درصد از اراضی آبی فعلی قابل آبیاری نباشند یا به عبارت دیگر ۲۹ درصد از سطح زیرکشت آبی از دست می‌رود. در کاهش برداشت از ۸۶ به ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال این کاهش سطح زیر کشت آبی، ۵۶ درصد خواهد بود یعنی برای نزدیک به ۶۰ درصد از اراضی آبی فعلی، دیگر آبی برای آبیاری وجود نخواهد داشت. کاهش سطح زیر کشت باعث می‌شود که تعداد شاغلین فعال در کشاورزی، تولیدات گیاهی در شرایط کشت آبی، درآمد کشاورزان و همچنین خودکفایی در تولیدات گیاهی کاهش یابد (شکل ۱۵-۴). میزان کاهش تولیدات گیاهی و بازده اقتصادی برای کاهش برداشت آب به ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال بین ۲۵ تا ۲۹ درصد است و برای کاهش برداشت آب به ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال بین ۴۸ تا ۵۶ درصد می‌باشد. طبیعتاً این کاهش‌ها باعث افزایش وابستگی به واردات، افزایش مسائل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی می‌گردد. ممکن است گفته شود اکنون که این اتفاق افتاده است، وضعیت برداشت آب به همین صورت رها شود. اما، بایستی به این نکته اشاره شود که حتی اگر وضعیت را به همین صورت رها کنیم همه‌ی پیامدهایی که شمرده شد احتمالاً با تأخیر زمانی اتفاق می‌افتند در حالی که در انتها منابع طبیعی و کشاورزی کشور نیز نابود شده است. بنابراین، چاره‌ی کار رهاسازی این وضعیت نیست. بهترین کار این است که مشکل اضافه برداشت رفع شود و سپس بررسی گردد که با چه راه‌هایی می‌توان پیامدهای ناشی از رفع اضافه برداشت آب را تخفیف داد.



اقلیم، مدیریت و الگوی کشت فعلی

شاخص	۸۶	۶۲	۳۹
سطح زیر کشت آبی (هزار هکتار)	۸۴۰۹	-۲۹	-۵۶
تعداد شاغلین فعال (هزار نفر)	۴۰۱۵۹۱۸	-۲۷	-۵۱
تولید گیاهی در شرایط کشت آبی (میلیون تن)	۹۱	-۲۹	-۵۶
بازده برنامهای کشت آبی (هزار میلیارد ریال)	۱۷۳	-۲۵	-۴۸
کل تولیدات گیاهی (جمع آبی و دیم) (میلیون تن)	۱۰۹	-۳۶	-۵۰
خودکفایی در تولیدات گیاهی (درصد)*	۸۵	-۲۷(۶۳)	-۵۱(۴۲)

*بر اساس ۱۲۹ میلیون تن نیاز به تولیدات گیاهی برای جمعیت ۸۰ میلیون نفری و رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی

شکل ۱۵-٤- پیامدهای رفع اضافه برداشت از منابع آب آبی و کاهش برداشت آب برای کشاورزی از ۸۶ به ۶۲ یا ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸). دو ستون آخر در جدول در حد کاهش نسبت به وضعیت فعلی را نشان می‌دهد.

۱۵-٤-برنامه‌های راهبردی پیشنهادی برای پایدارسازی

۱۵-٤-۱-وضعیت کشاورزی در اقتصاد کشور

قبل از این‌که به راه‌های تخفیف پرداخته شود بهتر است بررسی کنیم کشاورزی کشور چه جایگاهی در اقتصاد کل کشور دارد که اضافه برداشت‌های آب برای آن انجام می‌گیرد؟ بر اساس آمارهای سال ۱۳۹۶ بخش کشاورزی ۱۰ درصد از تولیدات ناخالص داخلی، ۱۴ درصد از ارزش صادرات، ۲۰ درصد ارزش واردات و ۱۸ درصد اشتغال کشور را بر عهده دارد. بنابراین، با بخشی سر و کار داریم که سهم آن در اقتصاد کشور ۱۰ تا ۲۰ درصد است (شکل ۱۵-۵). بنابراین، مشکلات این بخش را بایستی حل کنیم و اجازه ندهیم بیش از این، منابع طبیعی و محیط‌زیست کشور و خود کشاورزی دچار آسیب شود.

ب الف

شکل ۱۵-۵- سهم بخش کشاورزی در بخش‌های الف: تولید ناخالص، ب: ارزش صادرات، ج: ارزش واردات و د: اشتغال کشور

۱۵-٤-۲-راه‌های سازگاری به کم‌آبی

چگونه می‌توان اضافه برداشت را مرتفع و در کنار آن کشاورزی کشور را به کم‌آبی سازگار کرد؟ دو دسته اقدامات قابل انجام است:

(۱) کاهش فشار یا تقاضا برای محصولات کشاورزی و در نتیجه آب و زمین و سایر منابع و نهاده‌ها

(۲) افزایش تولید محصولات کشاورزی به ازای منابع قابل دسترس آب (افزایش بهره‌وری).

اقداماتی که در طرف تقاضا قابل انجام است عبارتند از:

- جمعیت کشور: جمعیت کشور اگر کمتر باشد، فشار برای تولید غذا بر روی کشاورزی و منابع طبیعی نیز کمتر خواهد بود. برعکس اگر جمعیت کشور افزایش یابد تقاضا برای محصولات کشاورزی و در نتیجه برای منابع مثل زمین و آب و نهاده‌ها مثل سوخت و کودها افزایش پیدا می‌کند. اما، جمعیت کشور قابل دست‌ورزی نیست و همچنین تحت تأثیر سیاست‌ها در سایر بخش‌ها است. سیاست رسمی کشور این است که جمعیت کشور افزایش داده شود ولی شرایط نامناسب اقتصادی مانعی برای افزایش جمعیت است. در مجموع پیش‌بینی‌ها حاکی از این است که در سال ۲۰۳۰ جمعیت کشور به ۹۳ میلیون نفر می‌رسد.
- رژیم غذایی: در فصل هشتم توضیح داده شد که چگونه رژیم غذایی باعث کاهش فشار بر بخش کشاورزی و در نتیجه منابع زمین و آب می‌شود. اگر رژیم‌هایی استفاده کنیم که

محصولات گیاهی در آن بیشتر باشد، به آب و زمین کمتر نیاز خواهد بود.

- تلفات-ضایعات: در فصل هشتم توضیح داده شد که اگر تلفات-ضایعات را کاهش دهیم، منابع آب، زمین و نهاده‌هایی که در تولید آن‌ها به کار رفته است، به هدر نخواهد رفت و در نتیجه فشار بر کشاورزی و منابع و نهاده‌ها کاهش می‌یابد.
- صنایع تبدیلی و دامی: صنایع تبدیلی می‌توانند از اهمیت زیادی برخوردار باشند برای مثال، درصد استخراج روغن از دانه‌ی روغنی، درصد تهیه آرد از گندم و یا میزان تولید محصول دامی به ازای علوفه مصرفی می‌توانند بر روی تقاضا اثرگذار باشند.
- استفاده از تکنولوژی‌های موجود و یا تکنولوژی‌هایی که در آینده ممکن است وارد شوند نیز می‌توانند بر روی تقاضا تأثیر داشته باشند. برای مثال، می‌توان از گوشت سنتزی و یا شیر گیاهی و یا روش‌های نوظهور برای تبدیل و نگهداری مواد غذایی نام برد که می‌توانند در کاهش فشار بر کشاورزی و منابع و نهاده‌های لازم مؤثر باشند.

در طرف تولید اقدامات زیر قابل انجام هستند:

- الگوی کشت را می‌توان تغییر داد یعنی توسعه کشت گیاهانی که با مصرف آب کمتر، درآمد یکسان یا بیشتری را برای کشاورزان ایجاد می‌کنند.
- فشرده‌سازی راه دیگری است که به معنی افزایش بهره‌وری است یعنی از هر واحد زمین و آب و نهاده‌ها، تولید بیشتری به دست آید، به عبارت دیگر کشاورزی به صورت علمی انجام گیرد (در فصل ۱۳ توضیح داده شد).
- افزایش دسترسی به آب در کشاورزی (به فصل ۱۲ رجوع شود)
- صرفه‌جویی در آب کشاورزی (به فصل ۱۲ رجوع شود)
- استفاده از تکنولوژی‌های موجود و آینده در هر یک از موارد ذکر شده بالا.

۱۵-٤-۳-شرایط و فرضیات برنامه‌های راهبردی

سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) با ترکیب گزینه‌های مدیریت تقاضا و افزایش تولید، دو برنامه برای این‌که کشاورزی کشور در افق ۲۰۳۰ پایدار و سازگار با کم‌آبی شود و در عین حال از نظر

امنیت غذایی نیز وضعیت مناسبی داشته باشد، پیشنهاد کرده‌اند (جدول ۱۵-۱). در برنامه یکم (اقدام حداقلی) فرض بر این گذاشته شده است که اضافه برداشت آب در کشور به اولویت مهمی تبدیل نشود و توجهات را به قدر کافی جلب نکند و در نتیجه سرمایه‌گذاری خوبی برای مدیریت منابع آب و نیز کشاورزی قابل انجام نباشد. بنابراین، در این برنامه بسیاری از گزینه‌های ذکر شده فوق، در طرف تولید و تقاضا در برنامه لحاظ نشده است. در این برنامه دست‌کاریِ برنامه‌ریزی‌شده و هزینه‌بر در هیچ یک از گزینه‌های تقاضا لحاظ نشده است، اما با توجه به مشکلات اقتصادی ناشی از تحریم‌ها ممکن است تغییر رژیم غذایی به سمت محصولات گیاهی و کاهش تلفات-ضایعات تا حدود زیادی به‌خودی‌خود اتفاق بیافتند؛ یعنی خانواده‌ها سعی می‌کنند که تلفات-ضایعات غذایی خود را کاهش دهند و یا سعی می‌کنند به جای گوشت و برنج که گرانتر هستند به ترتیب از حبوبات و نان استفاده کنند. در طرف تولید، این برنامه فقط تغییر الگوی کشت را مدنظر دارد که آن هم نیازمند سرمایه‌گذاری زیاد نیست و با استفاده از ابزارهایی مثل خرید تضمینی، قیمت‌گذاری، بیمه، وام، بهره بانکی، تعرفه واردات و صادرات و نظیر این‌ها قابل پیاده‌سازی است. منظور از تغییر الگوی کشت، اجبار کشاورزان به کاشتن یا نکاشتن محصولات خاص در هر منطقه نیست. منظور این است که با کمک ابزارهای اقتصادی و اجتماعی مناسب، کشاورزان به سمت کاشت محصولات مناسب سوق داده شوند.

الگوهای مختلف کشت با اهداف متفاوت قابل تعریف و بررسی هستند. در برنامه‌های پیشنهادی هدف از الگوی کشت حداکثرسازی درآمد کشاورزی از منابع محدود آب بوده است طوری که با کاهش منابع آب و سطح زیرکشت، درآمد آن‌ها کاهش نیابد و حتی افزایش پیدا کند. شرایط مورد استفاده برای بهینه‌سازی الگوی کشت در برنامه یکم و دوم در جدول ۱۵-۲ آورده شده است.

جدول ۱۵-۱- اقدامات لحاظ شده یا لحاظ نشده در برنامه حداقلی (یکم) و حداکثری (دوم) در چشم‌انداز ۲۰۳۰.

اقدامات	برنامه یک (اقدام حداقلی)	برنامه دو (اقدام حداکثری)
برداشت از منابع آب آبی	از ۸۶ به ۶۲	از ۸۶ به ۳۹
طرف تقاضا		
جمعیت کشور (پیش‌بینی چشم‌انداز ۲۰۳۰)	۹۳ میلیون نفر	۹۳ میلیون نفر
رژیم غذایی (مصرف بیشتر محصولات گیاهی)	لحاظ نشده*	لحاظ شده
کاهش تلفات-ضایعات	لحاظ نشده*	لحاظ شده
بهبود صنایع تبدیلی (گندم به نان، علوفه به محصول دامی)	لحاظ نشده	لحاظ نشده
تکنولوژی نو موجود	لحاظ نشده	لحاظ شده
تکنولوژی آینده	لحاظ نشده	لحاظ نشده
طرف تولید		
الگوی کشت	لحاظ شده	لحاظ شده
فشرده‌سازی (افزایش بهره‌وری)*	لحاظ نشده	لحاظ شده
افزایش دسترسی به آب	لحاظ نشده	لحاظ نشده
صرفه‌جویی در آب در کشاورزی	لحاظ نشده	لحاظ نشده
تکنولوژی نو موجود	لحاظ نشده	لحاظ شده
تکنولوژی آینده	لحاظ نشده	لحاظ نشده

* اگرچه لحاظ نشده است ولی به دلیل شرایط نامناسب اقتصادی ممکن است خود به خود رخ دهد یا با سرمایه‌گذاری اندک قابل اجرا باشد.

در برنامه دوم (اقدام مطلوب یا سقف)، از بین گزینه‌های طرف مدیریت تقاضا، دو گزینه‌ی تغییر رژیم غذایی و کاهش تلفات-ضایعات در نظر گرفته شده‌اند. از بین گزینه‌های طرف تولید نیز الگوی کشت و فشرده‌سازی منظور گردیده است. در فشرده‌سازی فرض شده است که خلأ عملکرد از ۶۰ به ۴۰ درصد کاهش پیدا کند و راندمان آبیاری از ۳۸ به ۵۵ درصد افزایش یابد که راجع به این دو در فصل ۱۳ توضیح داده شد. در برنامه دوم، تکنولوژی‌های نو موجود مرتبط با تغییر رژیم غذایی، کاهش تلفات-ضایعات و فشرده‌سازی لحاظ شده‌اند.

جدول ۱۵-۲- شرایط و فرضیات به‌کاررفته برای بهینه‌سازی الگوی کشت در برنامه یکم و دوم. در بهینه‌سازی در تابع هدف، حداکثرسازی برای مجموع بازده برنامه‌ای ناخالص محصولات هر استان منظور شده است. بازده برنامه‌ای ناخالص از حاصل‌ضرب قیمت در عملکرد هر محصول منهای هزینه‌های تولید محاسبه شده است. بهینه‌سازی می‌توانست برای حداقل‌سازی کاهش سطح زیر کشت (اشتغال) و یا دستیابی به سطوح خاص خودکفایی در محصولات مختلف صورت گیرد.

شرایط و فرضیات
• بهینه‌سازی فقط برای کشت آبی صورت گرفته است.
• زمین زیر کشت ولی بدون ثمر برای درختان میوه لحاظ شده است.
• قیمت محصولات به‌صورت استانی در بازه ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ استفاده شده است.
• محدودیت صادراتی وجود ندارد و اضافه تولید محصولات قابل صادرات است.
• برای همه محصولات حداکثر افزایش مجاز سطح زیر کشت، دو برابر سطح کنونی (۲۰۱۱ تا ۲۰۱۷) لحاظ شد.
• برای گندم حداکثر کاهش مجاز سطح زیر کشت ۳۰ درصد.
• برای سایر محصولات حداکثر کاهش مجاز سطح زیر کشت، یک سوم سطح قابل کشت بر اساس سناریوی آبی مورد نظر لحاظ شد.
• جمع سطح زیر کشت گیاهان پاییزه، تابستانه و گیاهان دائمی (باغی و علوفه‌ای) محدود به مقدار فعلی گردید.
• محصولات هر استان محدود به محصولات مورد کشت فعلی شده است و محصول جدید وارد نشده‌اند.
• عملکردها مربوط به ارقام فعلی گیاهان هستند که مورد کشت و کار قرار دارند.
• تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد و نیاز آبیاری لحاظ نشده است با این فرض که زمان اجرای الگوها کوتاه (مثلاً ۵ تا ۱۵ سال) خواهد بود.

۱۵-٤-٤-نتایج مورد انتظار از برنامه‌های راهبردی

سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) نتیجه و پیش‌بینی دو برنامه یکم و دوم را نیز انجام داده‌اند که در جدول ۱۵-۳ نشان داده شده است. در این برنامه‌ها سال مبنا ۲۰۱۵ بوده و سال هدف ۲۰۳۰ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۵-۳- پیش‌بینی نتایج حاصله از برنامه یکم و دوم تا افق سال ۲۰۳۰

شاخص	تغییر			برنامه‌های پیشنهادی با ترکیب مدیریت تقاضا، فشرده‌سازی و الگوی کشت
	فعلی	برنامه ۱	برنامه ۲	
سال مبنا	۲۰۱۵	۲۰۳۰	۲۰۳۰	
الگوی کاشت	فعلی	الگوی ۱	الگوی ۲	
سطح فشرده‌سازی	فعلی	فعلی	زیاد	
آب برای تولید گیاهی (میلیارد مترمکعب)	۸۱/۷۵	-۲۷	-۵۵	بهره‌برداری پایدار از آب
سطح زیر کشت (هزار هکتار)	۸۴۰۹	-۱۸	-۳۹	کوچک شدن سطح زیر کشت آبی و اشتغال
کود نیتروژن (هزار تن)	۹۹۹	-۱۱	۱۳	کاهش نیاز به نهاده‌های تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای
کود فسفر (هزار تن)	۱۴۹	-۱۷	۰	کاهش نیاز به نهاده‌های تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای
کود پتاسیم (هزار تن)	۷۶۰	-۱۶	۲	کاهش نیاز به نهاده‌های تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای
انرژی (میلیون مگا ژول)	۴۴۱۸۶۳	-۲۳	-۳۹	کاهش نیاز به نهاده‌های تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای
سوخت (میلیون لیتر)	۳۲۶۸	-۱۸	-۳۶	کاهش نیاز به نهاده‌های تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای
الکتریسیته (میلیون کیلووات ساعت)	۱۸۳۶۸	-۲۸	-۵۳	کاهش نیاز به نهاده‌های تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای
انتشار گازهای گلخانه‌ای (میلیون کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن)	۳۲۴۹۰	-۲۱	-۳۵	کاهش نیاز به نهاده‌های تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای
تولیدات گیاهی در کشت آبی (میلیون تن)	۹۳	-۱۷	-۳	
کل تولیدات گیاهی در کشت آبی و دیم (میلیون تن)	۱۰۹	-۱۳	۴	کاهش جزئی یا عدم‌تغییر در کل تولیدات گیاهی
بازده برنامه‌ای کشت آبی (هزار میلیارد ریال)	۱۷۳	۹	۳۳	افزایش درآمد بخش کشاورزی
واردات (میلیون دلار)	۱۴۴۶۸	۷۵	۵۶	
صادرات (میلیون دلار)	۱۲۲۵۱	۴۶	۴۵	

جمعیت کشور	۸۰	۱۶	۱۶	
تقاضا ۱ (رژیم غذایی و تلفات فعلی- میلیون تن)	۱۲۸/۷	۱۶	۱۶	مدیریت تقاضا
تقاضا ۲ (رژیم غذایی مطلوب و تلفات فعلی -میلیون تن)	–	۲۶	۲۶	مدیریت تقاضا
تقاضا ۳ (رژیم B30 و ۱۵ درصد کاهش تلفات- میلیون تن)	–	۲	۲	مدیریت تقاضا
خودکفایی بر اساس تقاضا ۱ (درصد)	۸۵	(۶۳) ۲۵-	(۷۵) ۱۱-	کاهش خودکفایی در حد قابل قبول
خودکفایی بر اساس تقاضا ۲ (درصد)	–	(۵۸) ۳۱-	(۶۹) ۱۸-	کاهش خودکفایی در حد قابل قبول
خودکفایی بر اساس تقاضا ۳ (درصد)	–	(۷۲) ۱۵-	(۸۶) ۱	کاهش خودکفایی در حد قابل قبول

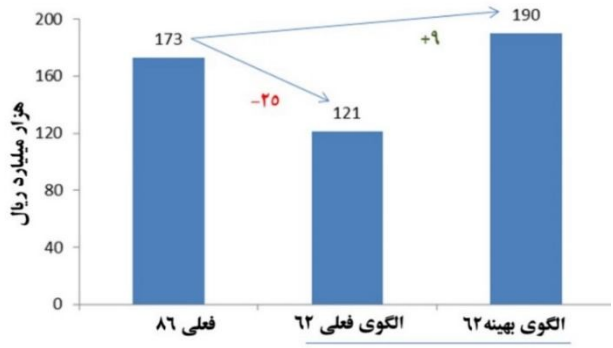
در برنامه یکم، برداشت آب برای کشاورزی از ۸۶ به ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال می‌رسد یعنی ۲۷ درصد کاهش می‌یابد. در برنامه دوم کاهش برداشت آب از ۸۶ به ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال (حد پایدار) رخ می‌دهد، یعنی ۵۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، در هر دو برنامه، بهره‌برداری پایدار از منابع آب مدنظر است (البته میزان آن متفاوت است). در برنامه یکم، با الگوی کشت مربوطه کاهش سطح زیرکشت آبی ۱۸ درصد خواهد بود ولی در برنامه دوم کاهش ۳۹ درصدی سطح زیر کشت آبی پیش‌بینی می‌شود. یادآوری می‌شود که کاهش سطح زیر کشت با الگوی فعلی اگر برداشت آب برای کشاورزی از ۸۶ به ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال کاهش یابد، ۲۹ درصد برآورد شد که به ۱۸ درصد تبدیل شده است (شکل ۱۵-۴ در برابر جدول ۱۵-۳ و شکل ۱۵-۶). با الگوی فعلی اگر برداشت آب از ۸۶ به ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال کاهش یابد کاهش سطح زیر کشت آبی ۵۶ درصد پیش‌بینی می‌شود که در برنامه دوم با الگوی کشت مربوطه این کاهش ۳۹ درصد خواهد بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود برنامه‌های پیشنهادی، کاهش سطح زیرکشت را کمتر کرده‌اند. کاهش سطح زیر کشت آبی به تفکیک استان‌ها در برنامه‌های یکم و دوم در شکل ۱۵-۷ نشان داده شده است.

شکل ۱۵-۶- تغییرات سطح زیر کشت در کشور و استان‌ها در برنامه یکم نسبت به وضع فعلی

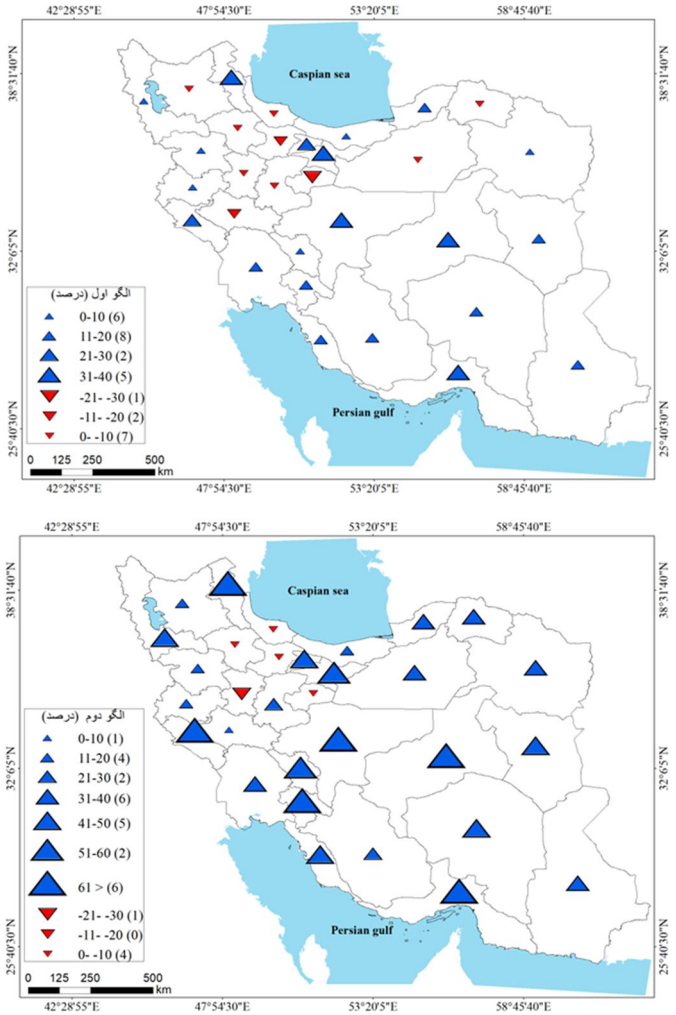
شکل ۱۵-۷- برآورد کاهش سطح زیر کشت آبی در استان‌ها در برنامه‌های یکم و دوم (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸)

در برنامه یکم، استفاده از نهاده‌ها و نیز انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش پیدا می‌کند. در برنامه دوم نیاز به کود نیتروژن به دلیل فشرده‌سازی و افزایش تولید، ۱۳ درصد افزایش پیدا می‌کند ولی نیاز به کودهای فسفر و پتاسیم در حد فعلی خواهد بود. امّا، نیاز به سوخت حدود ۳۷ کاهش می‌یابد و انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز ۳۵ درصد کمتر می‌شود. بنابراین، هر دو برنامه اثرات مثبتی برای محیط‌زیست کشور دارند.

تولیدات گیاهی در برنامه‌ی یکم، ۱۳ درصد کاهش و در برنامه دوم، ۴ درصد افزایش می‌یابد. بازده برنامه‌ای کشت آبی (درآمد ناخالص در کشت آبی) در برنامه‌ی یکم، ۹ درصد و در برنامه‌ی دوم، ۳۳ درصد افزایش پیدا می‌کند (جدول ۱۵-۳). برای نمونه، در شکل ۱۵-۸ مشاهده می‌شود که اگر کاهش برداشت آب از ۸۶ به ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال با الگوی کشت فعلی انجام گیرد ۲۵ درصد درآمد کم می‌شود ولی اگر این کار را با تغییر الگوی کشت توأم گردد، نه تنها درآمد کشاورزان کم نمی‌شود بلکه ۹ درصد افزایش می‌یابد که ناشی از کشت گیاهانی است که با آب یکسان و یا آب کمتر، درآمد بیشتری را برای کشاورز ایجاد می‌کنند. در شکل ۱۵-۹ تغییر درآمد کشاورزان در برنامه‌های یکم و دوم نسبت به وضع فعلی برای استان‌های مختلف آورده شده است.



شکل ۱۵-۸- تغییر بازده اقتصادی در کشت آبی در اثر کاهش برداشت آب برای کشاورزی از ۸۶ به ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال با الگوی فعلی یا با الگوی کشت در برنامه یکم (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸).



شکل ۱۵-۹- درصد تغییرات بازده برنامه‌ای ناخالص استان‌های کشور در الگوهای بهینه‌شده برنامه‌های یکم و دوم نسبت به الگوی کشت فعلی. شکل بالا: درصد تغییرات بازده برنامه‌ای ناخالص در شرایط کاهش منابع آب از ۸۶ به ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال با تغییر الگوی کشت بدون فشرده‌سازی در برنامه یکم، شکل پایین: درصد تغییرات بازده برنامه‌ای ناخالص در شرایط کاهش منابع آب از ۸۶ به ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال همراه با تغییر الگوی کشت و فشرده‌سازی در برنامه دوم (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸).

اگر در برنامه‌های یکم و دوم، تقاضا مدیریت شود می‌تواند مفید واقع شود. در افق ۲۰۳۰

جمعیت کشور ۱۶ درصد افزایش پیدا می‌کند که می‌تواند تقاضا را با رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی ۱۶ درصد افزایش دهد. تغییر رژیم غذایی فعلی و جایگزینی آن با یک رژیم غذایی بیشتر گیاهی (B30) که در آن ۳۰ درصد گوشت قرمز با گوشت مرغ، ۳۰ درصد گوشت مرغ با حبوبات و ۳۰ درصد برنج با گندم جایگزین شده‌اند و بقیه اقلام غذایی مشابه رژیم فعلی هستند (این رژیم با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی انطباق دارد) همراه با کاهش ۱۵ درصدی تلفات-ضایعات در کاهش تقاضا برای محصولات گیاهی مؤثر می‌باشد (شکل ۱۵-۱۰). در شکل ۱۵-۱۰، محور افقی تقاضا برای محصولات گیاهی را نشان می‌دهد که در حال حاضر در حدود ۱۲۹ میلیون تن است (خط‌چین عمودی قرمز رنگ). در سال ۲۰۳۰ در اثر افزایش جمعیت (۱۳ میلیون افزایش جمعیت پیش‌بینی می‌شود) با رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی، میزان تقاضا از ۱۲۹ به ۱۴۹ میلیون تن افزایش پیدا می‌کند. اما، اگر تلفات-ضایعات ۱۵ درصد کاهش داده شود و رژیم غذایی B30 جایگزین رژیم غذایی فعلی گردد مشاهده می‌شود که تقاضا علی‌رغم افزایش جمعیت در محدوده فعلی می‌ماند: یعنی ۱۳۱ میلیون تن که اختلاف معنی‌داری با تقاضای ۱۲۹ میلیون تن فعلی ندارد. این عدم افزایش تقاضا یعنی فشار بر روی کشاورزی و در نتیجه منابع آب، زمین و انرژی افزایش نمی‌یابد.

شکل ۱۵-۱۰- تأثیر رژیم غذایی و کاهش تلفات-ضایعات بر تقاضا برای محصولات گیاهی در افق ۲۰۳۰ (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸). برای تعریف رژیم غذایی B30 به متن مراجعه شود.

در برنامه یکم، خودکفایی با رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی ۲۵ درصد کاهش می‌یابد ولی اگر تقاضا مدیریت شود، ۱۵ درصد کاهش پیدا می‌کند، بدین معنی که در برنامه یکم، ۲۷

درصد اضافه برداشت آب برای کشاورزی رفع شده است، ولی درآمد کشاورزان کاهش نیافته بلکه اندکی افزایش پیدا کرده است. اما، خودکفایی برای محصولات گیاهی بین ۱۵ تا ۲۵ درصد بسته به این‌که تقاضا مدیریت بشود یا نه، کم می‌شود. به عبارت دیگر، با از دست دادن ۱۵ تا ۲۵ درصد خودکفایی می‌توانیم، ۲۷ درصد اضافه برداشت آب برای کشاورزی را کاهش دهیم درحالی که شرایط برای محیط‌زیست کشور بهبود یافته و درآمد کشاورزان نیز بهتر شده است.

در برنامه دوم با رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی، خودکفایی ۱۱ درصد کاهش می‌یابد. اما اگر تلفات-ضایعات و رژیم غذایی مدیریت شود، خودکفایی در سطح فعلی خواهد بود. در برنامه دوم نیز مشاهده می‌شود که برداشت آب ۵۵ درصد کاهش یافته است (یعنی برداشت آب نصف شده است) و در نتیجه اثرات زیانبار آن نیز حذف شده است. با این که خودکفایی بین صفر تا ۱۱ درصد کاهش پیدا می‌کند ولی درآمد کشاورزان افزایش می‌یابد. در برنامه دوم با کشاورزی سروکار خواهیم داشت که درآمد کشاورزان بالاتر و آلودگی و اثرات منفی آن برای محیط‌زیست کمتر است. همچنین چون اضافه برداشت وجود ندارد، بسیاری از اثرات منفی مرتبط با آن حذف می‌شود (به فصل ۶ رجوع شود).

فشرده‌سازی پیش‌بینی‌شده در برنامه دوم باید با تغییراتی همراه شود که عبارتند از:

- یکپارچه‌سازی اراضی، خارج‌سازی اراضی کم بازده و حفاظت شدید از اراضی مناسب: باید اراضی کشاورزی یکپارچه‌سازی شوند که در نتیجه جذب تکنولوژی و سرمایه سریع‌تر صورت پذیرد. از آن جا که اراضی کم‌بازده، صدمه‌ای که به محیط‌زیست می‌زنند بیشتر از تولیدی است که انجام می‌دهند، یا بایستی از چرخه تولید خارج و یا به صورت اراضی طبیعی احیا شوند. اما، از اراضی حاصلخیز موجود به شدت محافظت گردد.
- گسترش کشاورزی حفاظتی و خاک‌ورزی حفاظتی (به فصل ۱۱ رجوع شود)
- گسترش سیستم‌های اگروفارستری (به فصل ۱۴ رجوع شود)
- کوددهی متوازن و افزایش ماده آلی خاک‌های کشور (به فصل ۱۱ رجوع شود)
- تحوّل در باغبانی کشور: تحوّل در باغبانی کشور مهم است چون در بخش باغبانی مدیریت ضعیف‌تر و خلأ عملکرد بزرگ‌تر است. اما، در الگوی کشتی که برای کشور در شرایط

سازگاری با کم‌آبی مناسب است، گیاهان باغبانی جایگاه مهمی دارند.

- سیستم‌های دامی جایگزین و کارآمد: کاهش جمعیت دامی کشور گریزناپذیر است و ممکن است نیاز باشد از انواع جدید دام‌ها یا سیستم‌های پرورش دام یا علوفه جدید استفاده شود.

در اثر تغییر الگوی کشت در برنامه یکم و دوم، ترکیب تولیدات گیاهی کشور تغییر پیدا می‌کند (جدول ۱۵-۶: تغییرات مهم یعنی بیشتر از ۱۰ درصد با رنگ آبی و قرمز مشخص شده‌اند). در برنامه‌ی یکم نسبت به حال حاضر تولید حبوبات، سیب‌زمینی و سبزی-صیفی افزایش یافته و بیشتر از نیاز کشور خواهد بود که باید صادر شوند. تولید میوه‌جات کم می‌شود ولی نزدیک به خودکفایی است. در مقابل تولید گیاهان قندی، جو، ذرت سیلویی و علوفه (عمدتاً یونجه) کاهش یافته و وابستگی به واردات افزایش می‌یابد (گیاهان قندی: از ۴۳ به ۸۲ درصد، جو: از ۳۳ به ۶۶ درصد، ذرت سیلویی: از صفر به ۴۹ درصد و علوفه: از صفر به ۶۴ درصد). در برنامه‌ی دوم، خودکفایی در گندم، حبوبات، سیب‌زمینی، میوه‌ها و سبزی-صیفی افزایش می‌یابد که برای همه آن‌ها به جز گندم بیش از نیاز کشور خواهد بود و باید صادر شوند. بر عکس تولید برنج، گیاهان قندی، جو، ذرت سیلویی و علوفه کاهش پیدا می‌کند و نیاز به واردات آن‌ها افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود که پیاده‌سازی این برنامه‌ها باعث افزایش کشت محصولاتی می‌شود که آب‌بری کمتری دارند (مثل سیب‌زمینی، حبوبات و سبزی-صیفی) و باید به فکر صادرات آن‌ها بود و در مقابل تولید محصولاتی که آب‌بری بالایی دارند (مثل گیاهان علوفه‌ای، قندی و برنج) کاهش می‌یابد و باید به فکر واردات بیشتر آن‌ها بود.

ممکن است گفته شود که به جای این‌که بیاییم در برنامه‌ها اضافه تولید داشته باشیم و صادر کنیم، منابع آب مربوطه صرف تولید محصولاتی گردند که باید وارد شوند، در این صورت وابستگی کشور کمتر خواهد شد. این اقدام شدنی است و می‌توان آن را مورد بررسی قرار داد. به عنوان مثال، اگر در برنامه‌ی یکم خودکفایی حبوبات (۹۸ درصد)، سیب‌زمینی (۲۰۸ درصد) و سبزی-صیفی (۲۹۱ درصد) را در حد ۹۰ درصد در نظر بگیریم (یعنی ۹۰ درصد را خودمان تولید کنیم و ۱۰ درصد را وارد کنیم) و منابع آب مربوطه را برای تولید دانه‌های روغنی و قندی استفاده کنیم، خودکفایی دانه‌های روغنی و قندی به ترتیب از ۸ و ۱۸ درصد فعلی به حدود ۳۵ درصد

افزایش خواهد یافت و میزان وابستگی آن‌ها به واردات کاهش می‌یابد (شکل ۱۵-۱۱). در برنامه دوم نیز اگر این جابجایی منابع آب انجام شود یعنی منابع آب مربوطه به مازاد تولید حبوبات، سیب‌زمینی و سبزی- صیفی را صرف تولید دانه‌های روغنی و گیاهان قندی کنیم، خودکفایی دانه‌های روغنی و گیاهان قندی به ترتیب از ۹ و ۱۵ درصد به ۵۰ درصد افزایش می‌یابد که در نتیجه نیاز به واردات آن‌ها کاهش می‌یابد. توجه داشته باشید که در مثال فوق خودکفایی گیاهان مورد استفاده به عنوان علوفه ۴۰ درصد باقی می‌ماند (شکل ۱۵-۱۱).

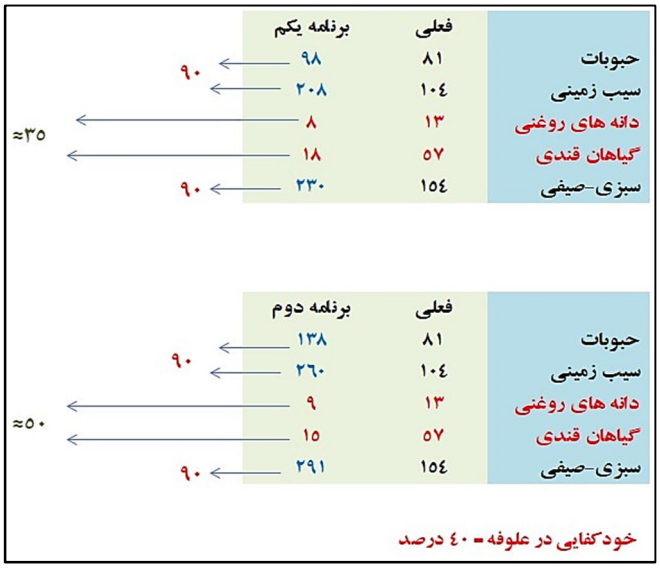
جدول ۱۵-٦- خودکفایی و درصد وابستگی به واردات در برنامه یکم و دوم در محصولات مختلف کشور (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸). تغییرات بیش از ۱۰ درصد در خودکفایی یا وابستگی به واردات به صورت زیر خط‌دار نشان داده شده است.

محصول	خودکفایی (درصد)			وابستگی به واردات (درصد)		
	فعلی	برنامه یک	برنامه دو	فعلی	برنامه یک	برنامه دو
گندم	۷۳	۷۱	**۸۸**	۲۷	۲۹	۱۲
برنج	۵۶	۵۰	۳۶	۴۴	۵۰	**٦٤**
حبوبات	۸۱	**۹۸**	**۱۳۸**	۱۹	۲	۰
سیب‌زمینی	۱۰۴	**۲۰۸**	**۲٦۰**	۰	۰	۰
دانه‌های روغنی	۱۳	۸	۹	۸۷	۹۲	۹۱
گیاهان قندی	۵۷	۱۸	۱۵	۴۳	**۸۲**	**۸۵**
میوه‌ها	۱۴۴	**۹۵**	**۱۲۱**	۰	۵	۰
سبزی-صیفی	۱۵۴	**۲۳۰**	**۲۹۱**	۰	۰	۰
جو	۶۷	۳۴	۴۵	۳۳	**٦٦**	**۵۵**
ذرت دانه‌ای	۲۰	۱۰	۱۷	۸۰	۹۰	۸۳
ذرت سیلویی	۱۱۰	۵۱	۳۵	۰	**٤۹**	**٦۵**
علوفه (بقولات)	۱۰۶	۳۶	۳۸	۰	**٦٤**	**٦۲**
کاه	۱۱۵	۱۰۰	۱۱۷	۰	۰	۰
سبوس	۶۹	۶۵	۶۹	۳۱	۳۵	۳۱
کنجاله	۹	۶	۶	۹۱	۹۴	۹۴

بنابراین، این جابه‌جایی تا حدودی کمک‌کننده است ولی این طور نیست که مثلاً خودکفایی

در این محصولات را به حد بالایی برساند. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که خودکفایی کامل غیر ممکن است و حتی خودکفایی در محصولات استراتژیک امکان‌پذیر نیست و بهتر است منابع طبیعی و محیط‌زیست کشور بیش از این قربانی این هدف غیر واقعی نشود.

در اینجا باید خاطر نشان شود که برنامه راهبردی دوم سقف کارهای قابل انجام در شرایط مطلوب را نشان می‌دهد. برای حصول نتایج این برنامه، نیاز به سرمایه‌گذاری گسترده است که باید با انتقال و گسترش تکنولوژی، آموزش و نظیر این‌ها همراهی شود که تا به حال در کشور تجربه نشده است. حتی اگر چنین سرمایه‌گذاری امکان‌پذیر باشد، اجرای این برنامه حداقل به ۱۵ سال زمان نیاز دارد. تغییرات اساسی در کشاورزی مثل رفع خلأ عملکرد و یا کاهش تلفات-ضایعات یک شبه قابل انجام نیستند و زمان نیاز است که اقدامات به بار بنشیند و نتیجه حاصل گردد. برای موفقیت این برنامه همچنین باید برخی مشکلات ذاتی که گریبانگیر کشاورزی کشور هستند، مرتفع شوند. برای مثال، قطعات زمین در کشور کوچک هستند که باعث می‌شود جذب سرمایه‌گذاری، تکنولوژی و آموزش موفق نباشد. بدون یکپارچه‌سازی زمین‌ها و یا تغییرات مناسب در قوانین وراثت زمین، سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی راه به جایی نخواهد برد.



شکل ۱۵-۱۱- جابه‌جایی منابع آب گیاهان برای افزایش خودکفایی در روغن و قند. برای توضیحات به متن مراجعه شود.

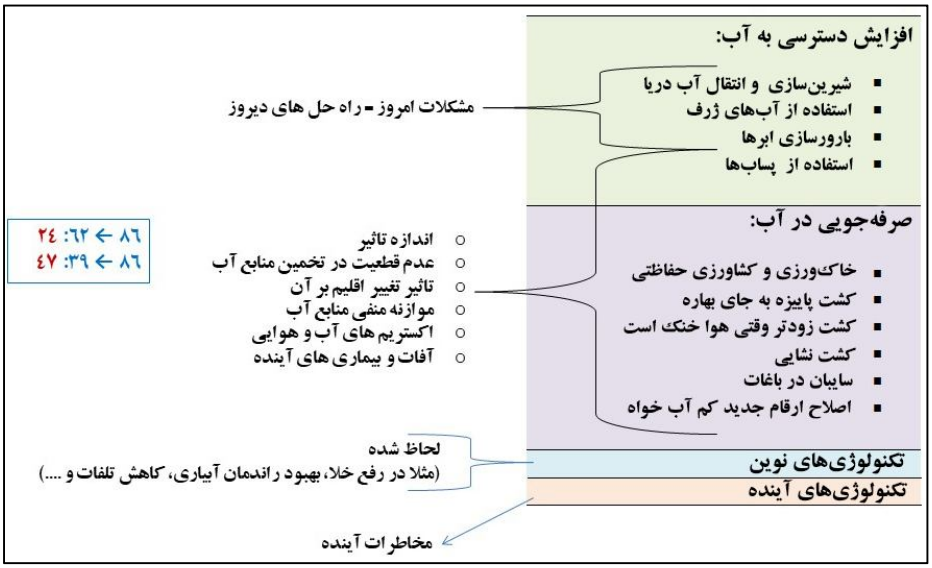
۱۵-٤-٥-نقش سایر گزینه‌های سازگاری به کم‌آبی در برنامه‌ها

گزینه‌های دیگری نیز برای سازگاری با کم‌آبی و پایداری کشاورزی وجود دارد که عبارتند از (شکل ۱۵-۱۲):

- افزایش دسترسی به آب: از طریق شیرین‌سازی و انتقال آب دریا، استفاده از آب‌های ژرف، بارورسازی ابرها و استفاده از پساب‌ها قابل انجام است که سه مورد اول چون اثر بخشی کم و یا نامعلومی دارند و یا مستلزم دستکاری زیاد در اکوسیستم‌ها هستند، در نظر گرفته نشده‌اند و پیشنهاد نمی‌شوند. یادمان باشد که گفته‌اند مشکلات امروز ما راه‌حل‌های دیروز ما هستند! برای نمونه می‌توان به سدسازی‌های گسترده‌ای که در کشور انجام‌شده اشاره کرد که تصور می‌شد راه‌حل مناسب برای مدیریت آب و کشاورزی هستند ولی مشکلات عدیده‌ای را باعث شده‌اند. استفاده از پساب‌ها مفید است اما در ادامه توضیح داده خواهد شد که چرا در نظر گرفته نشده است.
- صرفه‌جویی در آب در کشاورزی: خاک‌ورزی و کشاورزی حفاظتی، کشت پاییزه گیاهان به جای بهاره آن‌ها، کشت زودتر گیاهان وقتی هوا خنک است، کشت نشایی، استفاده از سایبان در باغات و اصلاح ارقام کم‌آب‌خواه گزینه‌های قابل تأمل در این زمینه هستند. اما، این گزینه‌ها به همراه استفاده از پساب‌ها که در بالا اشاره شد به دلایل زیر به حساب آورده نشدند. اول این‌که تأثیر این گزینه‌ها زیاد نیست به‌عنوان مثال سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که اگر میزان تبخیر در ۵۰ درصد از زمین‌های تحت کشت آبی کشور شامل باغات از طریق خاک‌ورزی حفاظتی به میزان ۵۰ درصد کم شود، ۳ میلیارد مترمکعب در سال در مصرف آب آبی صرفه‌جویی می‌شود که این رقم در مقایسه با ۲۴ میلیارد مترمکعب در سال آبی که باید کاهش پیدا کند تا برداشت از ۸۶ به ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال کاهش یابد و یا ۴۷ میلیارد مترمکعب در سال آبی که بایستی کاهش پیدا کند تا برداشت از ۸۶ به ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال برسد، عدد بزرگی نیست. استفاده از پساب‌ها هم همین‌طور است و حجم آن‌ها در حدود ۳ میلیارد مترمکعب در سال تخمین زده شده است. دوم این‌که هر گونه اثرات مثبت ناشی از این گزینه‌ها را باید برای خنثی‌سازی برخی اثرات منفی در نظر گرفت که لحاظ نشده‌اند مثل

عدم قطعیت در برآورد منابع آب، تغییر اقلیم پیش‌رو، موازنه منفی بزرگ در آبخوان‌ها و احجام آبی کشور، افزایش وقوع اکستریم‌های آب‌وهوایی، افزایش وقوع آفات و بیماری‌های خاص ناشی از تغییر اقلیم.

- تکنولوژی‌های نو موجود در رفع خلأ عملکرد، بهبود راندمان آبیاری، فشرده‌سازی، کاهش تلفات-ضایعات و تغییر رژیم غذایی مورد نیاز هستند و استفاده از آن‌ها در واقع لحاظ شده است ولی تکنولوژی‌های آینده که هنوز به کاربرد نرسیده‌اند لحاظ نشده است و فرض بر این است که هر گونه اثرات مثبت این‌ها را باید برای جبران مخاطرات آینده که فعلاً قابل پیش‌بینی نیستند مثل وقوع ویروس کرونا در سال ۲۰۱۹ در نظر گرفته شود.



شکل ۱۵-۱۲- سایر گزینه‌های سازگاری با کم‌آبی و پایداری کشاورزی

۱۵-٤-٦-خلاصه برنامه راهبردی پیشنهادی

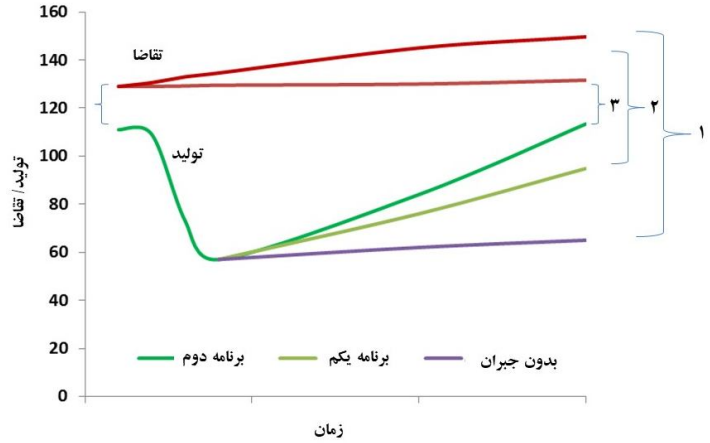
شکل ۱۵-۱۳ خلاصه اقدامات برنامه‌های یکم و دوم را نشان می‌دهد و شکل ۱۵-۱۴ روند تقاضا برای محصولات گیاهی و تولید آن‌ها را برای سناریوهای احتمالی در مقابل زمان به تصویر کشیده است. به طور خلاصه برای سازگاری به کم‌آبی و پایدارسازی کشاورزی در ابتدا باید

بپذیریم که اضافه برداشت آب وجود دارد و ۹۰ درصد آن نیز برای کشاورزی است. این اضافه برداشت آب سرطان بدخیمی است که در حال نابودی منابع طبیعی و کشاورزی کشور می‌باشد (به فصل ششم رجوع شود). علاج سرطان بدخیم این است که جراحی و شیمی‌درمانی شود که دشوار است و حتی ممکن است نتیجه گرفته نشود و یا نتیجه‌ی مناسبی که مد نظر است حاصل نگردد. وقتی این موضوع پذیرفته شد باید برای پایدارسازی کشاورزی و سازگاری به کم‌آبی، بلافاصله برداشت آب در یک دوره‌ی کوتاه (۴ یا ۵ سال) کاهش یابد (از ۸۶ میلیارد مترمکعب در سال فعلی به ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال). اگر بخواهیم این اقدام را به صورت فوری انجام دهیم تنها راه این است که سطح زیر کشت موجود در کشور ۴۰ تا ۶۰ درصد کاهش یابد و به تناسب در بخش دامداری نیز تعداد دام‌ها کم شود. در نتیجه‌ی این اقدام، خسارتی که به کشاورزان وارد می‌شود باید پرداخت شود. علاوه بر این، کمبود محصولات کشاورزی و غذایی باید با واردات جبران شود که طبیعتاً هزینه‌ی زیادی خواهد داشت و باید تحمل شود. تحمل این هزینه‌ها با توجه به نقش کشاورزی در اقتصاد کشور در شرایط غیرتحریمی به راحتی قابل تحمل است. ممکن است گفته شود که این اقدامات مخصوصاً در شرایط تحریمی کشور امکان‌پذیر نیست که در این صورت باید گفته شود اگر این اقدامات صورت نگیرد با گذشت زمان کاهش سطح زیر کشت به‌صورت قهری اتفاق می‌افتد و در آن زمان باید خسارت کشاورزان جبران شود و کمبود محصولات از خارج وارد گردد. ضمن این که تا آن زمان پدیده‌های زیست‌محیطی (مثل رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها) را که می‌توانستند منبع درآمد باشند از دست رفته‌اند. بنابراین، اگرچه به نظر می‌رسد که این کاهش فوری آب از طریق کاهش سطح زیر کشت یک کار هزینه‌زایی باشد و هزینه‌ی زیادی را ایجاد کند ولی باید توجه داشت که انجام ندادن آن باعث می‌شود که همین هزینه‌ها به مقدار بیشتر بعداً انجام گیرد. ممکن است این بعداً ۱۰ یا ۲۰ سال دیگر باشد ولی در آن نقطه بسیاری از منابع طبیعی کشور مثل رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها را هم از دست داده‌ایم.

شکل ۱۵-۱۳- خلاصه اقدامات پیشنهادی برای سازگاری با کم‌آبی و حفظ منابع طبیعی و کشاورزی کشور در برنامه‌های راهبردی یکم و دوم.

در بخش دوم باید برنامه‌های اجرایی تهیه و اجرا شوند که به ازای ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال منابع آبی که در حالت پایدار وجود دارد، تولیدات را افزایش دهند (در شکل ۱۵-۱۳ با رنگ سبز نشان داده شده است). این برنامه‌ها باید با برنامه‌های دیگری که فشار و تقاضا برای محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهند، همراه شوند. با کاهش سریع برداشت آب تا حد پایدار، تولیدات کشاورزی کشور به سرعت کاهش پیدا می‌کند و اگر هیچ اقدام جبرانی انجام نشود در همان سطح باقی می‌ماند (شکل ۱۵-۱۴: نمودار بنفش رنگ). اما، با الگوی کشت و فشرده‌سازی، تولیدات به تدریج افزایش پیدا می‌کنند (شکل ۱۵-۱۴: نمودار سبز کم‌رنگ). موفقیت در انجام فشرده‌سازی باعث می‌شود افزایش تولیدات شیب تندتری به خود بگیرد (شکل ۱۵-۱۴: نمودار سبز پررنگ). در طرف تقاضا، اگر اقدامی انجام نشود، تقاضا به‌تدریج با افزایش جمعیت، افزایش پیدا می‌کند (شکل ۱۵-۱۴: نمودار قرمز بالایی). اما اگر تقاضا مدیریت شود، علی‌رغم افزایش جمعیت، در حد فعلی حفظ خواهد شد (شکل ۱۵-۱۴: نمودار قرمز پایینی). نکته مهم در برنامه‌های پیشنهادی این است که کاهش برداشت آب برای کشاورزی به تهیه و اجرای برنامه‌های جبرانی بخش کشاورزی گره زده نشود. پیاده‌سازی برنامه‌های جبرانی (شکل ۱۵-۱۳) نیاز به زمان دارد در حالی که برای

حفظ محیط‌زیست، منابع طبیعی و اکوسیستم‌های کشاورزی کشور همین الان هم دیر شده است.



شکل ۱۵-۱٤- حالت‌های مختلف تولید و تقاضا در اثر اجرای برنامه‌های یکم و دوم. اعداد ۱، ۲ و ۳ اختلاف تولید و تقاضا را برای سناریوهای احتمالی در یک دوره‌ی حدوداً ۱۵ ساله را نشان می‌دهند.

۱۵-۵-چالش‌های اجرای برنامه‌های راهبردی پیشنهادی

اجرای این برنامه‌ها با چالش‌هایی مواجه است که این چالش‌ها و برخی راه‌حل‌های پیشنهادی عبارتند از:

۱- زمین‌های آبی که دیگر آب برای آبیاری آن‌ها نیست. برای کمک به رفع این مشکل می‌توان:

- تعداد محصول که در زمین کشت می‌شود را از ۲ به ۱ کاهش داد که در نتیجه سطح زیر کشت آبی افت کمتری خواهد داشت.
- از زمین‌های آبی غیرقابل آبیاری برای تولید دیم علوفه استفاده شود و در این راه استفاده از گیاهان علوفه‌های غیر عادی مثل خارشتر قابل بررسی است.
- اجرای تناوب‌های پیچیده‌تر که زمین بیشتری نیاز دارند و نه آب بیشتر.
- گسترش اگروفارستری در سطح کشور.
- بخشی از این اراضی اجباراً باید رهاسازی شوند. در این رهاسازی اولویت با آن زمین‌هایی باشد که نامستعد یا کوچک هستند و یا تولید در آن پرهزینه است و همچنین زمین‌هایی که در حاشیه هستند مثلاً در حاشیه‌ی جنگل یا رودخانه و یا زمین‌هایی که شور و یا فرسوده هستند.

این اراضی باید از کشاورزان خریداری شده، رهاسازی و یا احیا شوند. گزینه مناسب این است که این اراضی آبی غیرقابل آبیاری را به ایجاد نوارهای بافری بین مزارع و حاشیه رودخانه‌ها اختصاص دهیم (به فصل ۱۰ رجوع شود).

- در مقابل موارد فوق باید از زمین‌های آبی حاصلخیز به شدت محافظت گردد و از تبدیل آن‌ها به سایر مصارف مثل جلوگیری شود.

۲- شغل‌هایی که در بخش کشاورزی از دست می‌روند چالش دیگری است که از طرق زیر قابل مدیریت می‌باشد:

- بخشی از کاهش اشتغال از طریق اجرای برنامه‌های فشرده‌سازی قابل جبران است. فشرده‌سازی مستلزم استفاده از روش‌ها و ماشین‌های جدید است و به نیروهای بیشتری نیاز خواهد بود.
- گسترش مشاغل جایگزین در روستاها مثل ترویج روستاگردی و اسکان بازنشسته‌ها در روستاها.
- تکمیل زنجیره‌ی ارزش محصولات کشاورزی در روستاها و مراکز تولید. برای مثال، کشاورز به جای این‌که سبزی تولید کند و مستقیماً به بازار بفرستد، می‌تواند همان سبزی را تمیز کرده، شستشو داده و بسته‌بندی نماید و سپس به بازار عرضه کند. این اقدام به نفرات بیشتری نیاز خواهد داشت.
- رونق دادن بخش‌های غیرکشاورزی طوری که افرادی که در بخش کشاورزی شغل خود را از دست می‌دهند بتوانند در سایر بخش‌ها مثل صنعت، خدمات و نظیر این‌ها مشغول به کار شوند.

۳- مشکل دیگر وقوع کمبود علوفه در بخش دامی است که برای رفع و جبران آن بایستی اقدامات زیر را مورد توجه قرار داد:

- جلوگیری از ایجاد واحدهای جدید دامی.
- تولید علوفه به صورت دیم در اراضی غیر قابل آبیاری (در مورد ۱ اشاره شد) و توجه بیشتر به تناوب غله–علفزار (به فصل ۱۴ رجوع شود).
- عدم تولید اضافی سبزی–صیفی و سیب‌زمینی که در برنامه‌ها پیش‌بینی شده و باید صادر شود و اختصاص منابع آب مربوطه به تولید علوفه.

- استفاده از تلفات-ضایعات کشاورزی و غذایی در تغذیه دام‌ها که تجربه خوبی در دنیا از این نظر وجود دارد.
- تغییر و جایگزینی نژاد دام‌ها، سیستم‌های پرورشی و علوفه مورد استفاده دام‌ها.
- بهبود کارایی تبدیل علوفه به محصولات دامی.
- در نهایت باید بخشی از جمعیت دام‌های کشور کم شود، یعنی کوچک‌سازی بخش دامپروری صورت گیرد.

۱۵-٦-شرط‌های لازم برای اجرای برنامه‌های راهبردی

برای این‌که برنامه‌های پیشنهادی امکان وقوع داشته باشند پیش‌شرط‌ها و شرط‌هایی وجود دارند که عبارتند است:

۱- مسئله‌ی بحران آب در اولویت قرار گیرد که بدین منظور باید اثرات منفی آن برای همه (از کشاورزان تا دانشگاهیان) توضیح داده شود تا جامعه به این مسئله فکر کند و در نتیجه حل بحران آب به یک خواست عمومی در جامعه تبدیل شود.

۲- منابع آب و زمین تحت کنترل قرار گیرند و ترجیحاً این کنترل به گونه‌ای باشد که توسط نهادهای مردمی انجام شود. بدون کنترل این منابع، هیچ برنامه‌ای قابل پیاده‌سازی نیست: چگونه می‌توان برداشت آب کم کرد درحالی که در اختیار ما نیست؟ در این قسمت باید فکری اساسی اندیشیده شود و شرط مهمی در اجرای پایدارسازی محیط‌زیست و کشاورزی کشور می‌باشد.

۳- در مدیریت منابع آب کشور تجدید نظر صورت پذیرد. مدیریت منابع آب از دهه‌ی ۵۰ شمسی که حفر چاه‌های عمیق در کشور آغاز گردید بیشتر دیدگاه مهندسی داشته است که باید به سمت دیدگاه اکولوژیک سوق پیدا کند. مدیریت منابع آب با وزارت نیرو است و این وزارت با تناقض در مسئولیت مواجه است، یعنی وزارت نیرو هم مسئول حفاظت از منابع آب است و هم مسئول تأمین آن برای کشاورزی، صنعت و مصارف خانگی می‌باشد. بنابراین، هر موقع در تأمین کم می‌آورد از مسئولیت پاسداری خود چشم‌پوشی می‌کند. در نتیجه بهتر است که این

دو از هم جدا شوند یعنی پاسداری و حفاظت از منابع آب به مرجع دیگری سپرده شود و وزارت نیرو وظیفه تأمین آب از منابع معین‌شده برای مصارف خانگی و صنعتی را برنامه‌ریزی و مدیریت کند. علاوه بر این، یک ساختاری متفاوت هم نیاز می‌باشد که در آن مدیریت منابع آب استانی نباشد بلکه همان‌طور که در فصل ۶ توضیح داده شد به صورت حوضه‌ی آبخیزی باشد یعنی هر حوضه‌ی آبخیز یک مدیریت داشته باشد که از آن محافظت می‌کند و تخصیص‌ها را انجام می‌دهد و متناسب با تخصیص‌ها، استان‌ها می‌توانند برنامه‌ریزی داشته باشند. بهتر آن است که این مدیریت منابع آب با مدیریت منابع طبیعی (جنگل‌ها و مراتع) و محیط‌زیست یک کاسه و یکپارچه شود.

۴- منافع ذی‌نفعان را بایستی در نظر گرفت. یکی از این ذی‌نفعان شرکت‌های فنی و مهندسی مرتبط با آب هستند. همان شرکت‌هایی که سد می‌سازند و امروزه به دنبال پروژه‌های انتقال و شیرین‌سازی آب دریا هستند. این‌ها گروه بزرگی هستند (سرمایه‌گذار، مدیر، کارشناس، کارمند و نظیر این‌ها) که درآمد و زندگیشان از این طریق تأمین می‌شود و طبیعتاً دنبال این هستند که این‌طور برنامه‌ها و پروژه‌ها هر چه بیشتر در کشور اجرا شود. بنابراین، سعی می‌کنند با برنامه‌هایی که درآمدشان را کم می‌کند، مخالفت کنند و جلوی آن‌ها را بگیرند و متأسفانه به دلیل داشتن منابع مالی و لابی قوی در این کار موفق هم می‌شوند. بنابراین، در ابتدا بایستی فکری برای این‌ها اندیشیده شود. باید مشاغل و یا پروژه‌های جایگزین برای آن‌ها برنامه‌ریزی شود تا بتوان برنامه‌های پایدارسازی را پیگیری نمود. برای مثال، می‌توان ایجاد نوارهای بافری در کل کشور را به این شرکت‌ها واگذار کرد و یا احیا زمین‌هایی که دیگر قابل آبیاری نیستند را به آن‌ها سپرد. کشاورزان و دامدارانی که دام‌ها و شغلشان را از دست می‌دهند نیز طبیعتاً بخشی دیگر از ذی‌نفعان مخالفت هستند که بایستی به نحوه مقتضی خسارت آن‌ها پرداخت شود.

۵- تحریم‌ها مانع مهمی برای اجرای برنامه‌های پایدارسازی هستند که باید برای رفع آن‌ها و خنثی‌سازی آن‌ها تلاش شود تا امکان سرمایه‌گذاری ایجاد شود و بتوان تکنولوژی (مثل ماشین‌آلات جدید) و نهاده‌های مناسب‌تر را تولید یا وارد کرد و در اختیار کشاورزان قرار داد.

۶- انتظارات از منابع زیربنایی و کشاورزی بایستی تعدیل شود. انتظاراتی که فعلاً از کشاورزی وجود دارد انتظارات معقولی نیست، به ویژه این‌که برخی تصور می‌کنند تولید غذا برای مثلاً چند صد میلیون نفر در کشور میسر است. طبیعتاً تا وقتی این طور انتظارات وجود دارد امکان کاهش اضافه برداشت آب برای کشاورزی و در نتیجه حفظ محیط‌زیست و آینده کشاورزی کشور وجود نخواهد داشت. باید بپذیریم که سطح زیر کشت آبی جدید به هیچ وجه اضافه نکنیم (شامل کشت دو یا چند محصول در سال) و برعکس به سمت کوچک کردن سطح کشت آبی برویم. علاوه بر آن، بایستی بپذیریم که خودکفایی حتی در محصولات استراتژیک نیز غیرممکن است و بنابراین باید صورت مسئله‌ی مدیران کشور تغییر کند. الآن صورت مسئله این است که چطور می‌توانیم تولیدات بیشتری داشته باشیم و خودکفا شویم که بایستی تغییر کند به این‌که چطور کاهش تولیداتمان را در اثر سازگاری با کم‌آبی و حذف اضافه برداشت آب مدیریت کرده و کم‌تر کنیم. علاوه بر این، همان‌طور که در سیاست‌های رسمی کشور به دنبال این هستیم که جمعیت کشور را زیاد کنیم باید به این نکته نیز توجه داشته باشیم که این امر مستلزم واردات بیشتر مواد غذایی است.

۷- افزایش بنیه علمی- اجرایی مدیران، مسئولین و مشاوران بایستی مدنظر قرار گیرد. همان‌طور که برای پروژه‌هایی مثل ایجاد پالایشگاه، بزرگراه و مواردی از این دست از خارج کارشناس و مدیر آورده می‌شود، برای مسئله بحران آب و پایدارسازی کشاورزی که پیچیده‌تر است، به فکر استفاده از مدیران و مشاوران خارجی شایسته باشیم.

۱۵-۷-سایر مشکلات و چالش‌های مرتبط با کشاورزی پایدار

اگر به لیست مشکلات که در شکل ۱۵-۲ فهرست شده‌اند نگاهی بیاندازیم خواهیم دید که اقدامات ذکر شده برای رفع اضافه برداشت آب و سازگاری با کم‌آبی موجب می‌شود سایر مشکلات نیز به طور کامل یا نسبی مدیریت شوند که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

- با کاهش اضافه برداشت آب، سطح زیر کشت کاهش پیدا می‌کند در نتیجه فشار بر روی اراضی کم می‌شود، می‌توان زمین‌های نامناسب و شور را از چرخه تولید کنار گذاشته و احیا

نمود که باعث بهبود تنوع زیستی در کشور خواهد شد. همچنین در اثر فعالیت‌هایی مثل کوددهی متوازن، ماده‌ی آلی خاک‌ها افزایش پیدا خواهد کرد. پیاده‌سازی نوارهای بافری، اگروفارستری و تناوب‌های پیچیده‌تر و بهینه‌سازی الگوی کشت نیز می‌توانند فشار را از روی خاک‌های کشور برداشته و به بازسازی خاک‌ها کمک کنند و در همین حال در بهبود تنوع زیستی بسیار مؤثر هستند.

- فشرده‌سازی که برای سازگاری به کم‌آبی مورد نیاز است باعث می‌شود که سطح مدیریت آب و تولید در کشور بهبود یابد. همان‌طور که بارها ذکر شد فشرده‌سازی از طریق بهبود بهره‌وری و اجرای مدیریت علمی رخ می‌دهد.
- برای فشرده‌سازی مورد نیاز در برنامه‌ی دوم مدیریت علمی لازم است در نتیجه بایستی برای بالا بردن سطح دانش کشاورزان، مدیران، محققان و مشاوران نیز تلاش شود که با این اقدام مشکل پایین بودن سطح دانش بخش کشاورزی برطرف می‌گردد.
- در راه سازگاری با کم‌آبی پیشنهاد شد که مزارع یکپارچه‌سازی شوند که در نتیجه مشکل کوچک بودن مزارع و عدم امکان سرمایه‌گذاری و جذب تکنولوژی از این طریق برطرف می‌شود.
- اجرای برنامه یکم و دوم با کاهش مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه است و از این طریق مشکل مدیریت سوخت، انرژی و کاهش گازهای گلخانه‌ای نیز مرتفع می‌گردد.
- و مهمتر از همه، چون بیش از ۵۰ درصد از منابع آب برداشت‌شده برای کشاورزی در کشور با اجرای این برنامه‌ها به طبیعت رها می‌شود (مثل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها)، بخش قابل‌توجهی از کاهش تنوع زیستی و تخریب محیط‌زیست که در اثر اضافه برداشت آب صورت گرفته است به‌تدریج جبران می‌شود.

بنابراین، مشاهده می‌گردد که اگر در مسیر حذف اضافه برداشت آب و سازگاری با کم‌آبی و پایدارسازی کشاورزی حرکت شود، سایر مشکلاتی که برای کشاورزی ذکر شد نیز کم‌وبیش در همین مسیر مرتفع می‌گردند.

۱۵-۸-خلاصه

کشاورزی ایران با مشکلات و چالش‌های متعددی مواجه هست ولی کم‌آبی بزرگترین چالش کشاورزی بلکه کل کشور است. در این شرایط اضافه برداشت آب برای کشاورزی خود منشأ مشکلات متعددی است و رفع آن موجب خواهد شد این مشکلات و چالش‌های مهم دیگر برطرف شوند. کشاورزی ایران باید کوچکتر و فشرده‌تر شود که در این صورت با نصف منابع آب اختصاصی فعلی امکان تولیدات در حد فعلی وجود خواهد داشت. اما، مقداری کاهش در خودکفایی اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد.

فهرست منابع

۱. آرنون، ای. ۱۹۷۲. اصول و عملیات کشاورزی در مناطق خشک. ۱۳۷۷. ترجمه کوچکی، ع و سلطانی، ا. ۱۳۷۷. نشر آموزش کشاورزی. ۹۸۴ صفحه.

۲. ادواردز، ک.؛ لال، ار.؛ مادن، پ.؛ میلر، ار. اچ و هاوس، گ. ۱۹۹۰ . کشاورزی پایدار. ترجمه کوچکی، ع و هاشمی دزفولی، ا. ۱۳۷۹. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۶۴ صفحه.

۳. پاورز، ال. ای. و مک‌شورلی، ار. ۱۹۹۹. اصول بوم شناسی کشاورزی. ترجمه کوچکی، ع.؛ جامی‌الاحمدی، م.، کامکار، ب. و مهدوی دامغانی، ع. ۱۳۸۰. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۷۲ صفحه.

۴. ترابی، ب.، ا.، سلطانی، س. رهبان، ا. حبیب-پور کاشفی، ش. پورشیرازی، م. عالیمقام. ۱۳۹۸. ارزیابی اثر اقلیم آینده بر عملکرد گیاهان زراعی و باغی مهم ایران، پیوست ۷ در سلطانی و همکاران. ۱۳۹۸. تحلیل امنیت غذایی کشور تا ۲۰۵۰ با مدل سازی همبست آب، زمین، غذا و محیط-زیست: چشم انداز و سیاست-های لازم. گزارش طرح تحقیقاتی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

۵. خواجه‌پور، م. ۱۳۸۱. اصول و مبانی زراعت. جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی اصفهان). ۳۸۶ صفحه.

۶. زینلی، ا. خسرویان، ت.، سلطانی، ا. ۱۳۹۸. برآورد تخلیه عناصر غذایی و نیاز کودی برای عناصر غذایی اصلی (NPK) در تولید محصولات گیاهی کشور، پیوست ۱۰ در سلطانی و همکاران. ۱۳۹۸. تحلیل امنیت غذایی کشور تا ۲۰۵۰ با مدل سازی همبست آب، زمین، غذا و محیط-زیست: چشم انداز و سیاست-های لازم. گزارش طرح تحقیقاتی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

۷. سلطانی، ا. و عالیمقام، م. ۱۳۹۷. گزارش طرح پژوهشی چالش‌های پیش روی رشته‌های کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۲۷ صفحه.

۸. سلطانی، ا.، زند، ا.، عالیمقام، م.، نه‌بندانی، ع.، بارانی، ح.، ترابی، ب.، زینلی، ا.، میرکریمی، ش.، جولایی، ر. ۱۳۹۸. تحلیل امنیت غذایی کشور تا با مدل‌سازی همبست آب، زمین، غذا و محیط زیست ۲۰۵۰: چشم‌انداز و سیاست‌های لازم. گزارش طرح تحقیقاتی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۱۳۰ صفحه.

۹. سلطانی، ا. نه بندانی، ع.، زینلی، ا.، ترابی، ب.، زند، ا.، قاسمی، ث.، الستی، ا.، دادرسی، ا.، حسینی، ر.، عالیمقام، س.م.، زاهد، م.، فیاضی، ح.، کمری، ح.، عرب عامری، ر.، محمدزاده، ز.، رهبان، س.، پورشیرازی، ش.، محمدی، س.، کرامت، ص.، ۱۳۹۷. اطلس خلا عملکرد و توان تولید گیاهان زراعی مهم در کشور در شرایط

اقلیمی فعلی و آینده. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی. ۲۷۸ صفحه.

۱۰. سینکلر، ت. و گاردنر، ف. ۱۹۴۴. اصول اکولوژی در تولیدات گیاهی. ترجمه رحیم‌زاده خوئی، ف.؛ جوانشیر، ع و هادی، ه. ۱۳۸۰. انتشارات دانشگاه تبریز. ۲۷۰ صفحه.

۱۱. کارول، سی. آ. ۱۹۴۱. کشاورزی از دیدگاه اکولوژی. ترجمه کوچکی، ع و زند، ا. ۱۳۷۵. نشر آموزش کشاورزی. ۲۲۸ صفحه.

۱۲. کامکار، ب. و مهدوی دامغانی، ع. ۱۳۸۷. مبانی کشاورزی پایدار. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۲۰ صفحه.

۱۳. مطیعی لنگرودی، س. ح. و شمسایی، ا. ۱۳۹۴. توسعه و کشاورزی پایدار (از دیدگاه اقتصاد روستایی). انتشارات دانشگاه تهران. ۲۱۰ صفحه.

14. Abubakar, M. S. and Attanda, M. L. 2013. The Concept Sustainable Agriculture: Challenges and Prospects. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 53 (1): 1-6. International Conference on Mechatronics (ICOM'13) 2–4 July 2013, Kuala Lumpur, Malaysia.
15. Dharmasena, P. B. 2005. Sustainable Agricultural Practices. Theme talk made at the Tenth Annual Forestry and Environment Symposium held at Kabool Lanka International Training Center, Thulhiriya on 2nd and 3rd December 2005 organized by Department of Forestry and Environmental Science, University of Sri Jayawardenapura. 4 pp.
16. Dickie, A., Streck, C., Roe, S., Zurek, M., Haupt, F., Dolginow, A. 2014. Strategies for Mitigating Climate Change in Agriculture: Abridged Report. Climate Focus and California Environmental Associates, prepared with the support of the Climate and Land Use Alliance. 87 pages. Report and supplementary materials available at: www.agriculturalmitigation.org
17. Duru, M., Therond, O., Martin, G. and Martin-Clouaire, R. 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. Agron. Sustain. Dev. 35, 1259–1281.
18. Edwards, T., Howieson, J., Nutt, B., Yates, R., O'Hara, G. and Van Wyk, B. E. 2019. A ley-farming system for marginal lands based upon a self-regenerating perennial pasture legume. Agronomy for Sustainable Development. 39(13): 1-19.
19. Erisman, J. W., Van Eekeren, N., de Wit, J., Koopmans, C., Cuijpers, W. Oerlemans, N. and Koks, B. J. 2016. Agriculture and biodiversity: a better balance benefits both. AIMS Agriculture and Food. 1(2): 157-174.
20. FAO. 2019. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture, J. Bélanger & D. Pilling (Eds.). FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome. 572 pp.

21. Gregory J.M., and Borrelli, J., 1986. The Texas Tech wind erosion equation. American Society of Agricultural Engineers, Washington, DC. Paper no. 86-2528.
22. Gliessman, Stephen R. Agroecology. 2007. The Ecology of Sustainable Food Systems. Boca Raton, FL: CRC Press. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300. Boca Raton, FL 33487. 2007. 384 pp.
23. https://www.washingtonpost.com/news/morning-mix/wp/2014/08/28/californias-drought-what-losing-63-million-gallons-of-water-looks-like/
24. https://www.afp.com/en/products/graphics. Data from: Natural History Museum Data Portal (data.nhm.ac.uk): Lawrence Hudson; Tim Newbold; Sara Contu; Samantha L L Hill et al. (2016). Dataset: The 2016 release of the PREDICTS database. https://doi.org/10.5519/0066354
25. Loomis, R.S. and Connor, D.J. (1992) Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems. Cambridge University Press, Cambridge, 538 pp.
26. Magdoff, F. 2007. Ecological agriculture: Principles, practices, and constraints. Renewable Agriculture and Food Systems. 22: 109 - 117.
27. Mateo-Sagasta, J., Marjani Zadeh, S., Turral, H. and Burke, J. 2017. Water pollution from agriculture: a global review - Executive summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy; International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka. 35 pp.
28. Menalled, F., Bass, T., Buschena, D., Cash, D., Malone, M., Maxwell, B., McVay, K., Miller, P., Soto, R. and Weaver, D. 2008. An Introduction to the Principles and Practices of Sustainable Farming: Despite growing popularity, the concept of sustainable agriculture is evolving as it encompasses both changing attitudes towards farming and developing environmental awareness. A Self-Learning Resource from Montana State University Extention. 4 pages. Article Code: MT200813AG New 11/08. MSU Extension office: www.msuextension.org/publications.asp
29. Osman, K.T., 2014. Soil degradation, conservation and remediation. Springer Netherlands.
30. Pereira, L. S., Cordery, I. and Iacovides, I. 2009. Coping with water scarcity: addressing the challenges. Springer. 385 pp.
31. Pretty, J. 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences. 363(1491): 447–465.
32. Pretty, J. and Bharucha, Z.P. 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. Annals of Botany. 114(8): 1571-1596.
33. Resource Megazine: Engineering and technology for a sustainable world. 2021. American of Agricultural and Biological Engineers. 28(2). 1-40.

34. Thomas, V. G. and Kevan, P. G. 1993. Basic principles of agroecology and sustainable agriculture. J Agric Environ Ethics. 6:1–19.
35. Tisdell, C. 1995. Biodiversity Conservation: Sudies in its economics and management, Mainly in Yunnan, China. Working Paper No 22: Economic and Environmental Perspectives on Sustainable Agriculture Developments. 16 pp.
36. Velten, S., Leventon, J., Jager, N. and Newig, J. 2015. What Is Sustainable Agriculture? A Systematic Review. Sustainability. 7: 7833-7865.

Dr. **Afshin Soltani**
In cooperation with **Abdolrahman Mirzaei** (Ph.D. Student)

Sustainable Agriculture

ISBN:978-623-6696-15-7