



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



نقش حیاتی خاک در اکوسیستم‌ها: تهدیدات، تغییر اقلیم و راهبردهای تاب‌آوری

معصومه مصطفائی^{۱*}، حسین عزیزی^۱، زهره الویار^۲، لیلا مرادی^۱

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آذربایجان غربی، ایران.

۲- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

*نویسنده مسئول: mstmsu93@gmail.com

چکیده

خاک، ستون فقرات اکوسیستم‌های خشکی و برای حیات روی زمین و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی ضروری است. این منبع حیاتی رشد گیاهان، تنظیم آب، چرخه‌ی مواد مغذی، تنوع زیستی و ذخیره‌ی کربن را فراهم می‌کند. متأسفانه، فعالیت‌های انسانی مانند جنگل‌زدایی، کشاورزی صنعتی، شهرنشینی و آلودگی، منجر به تخریب گسترده‌ی خاک، فرسایش، شور شدن و بیابان‌زایی شده و توانایی آن در ارائه‌ی خدمات اکوسیستمی را به خطر انداخته است. این مقاله اهمیت چندوجهی خاک را در خدمات اکوسیستمی (تأمین‌کننده، تنظیم‌کننده، پشتیبان‌کننده و فرهنگی)، نقش آن در چرخه‌ی جهانی کربن و ارتباط پیچیده‌اش با تغییرات اقلیمی بررسی می‌کند. خاک نه تنها تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد، بلکه ابزاری کلیدی برای کاهش آن از طریق جداسازی کربن و افزایش انعطاف‌پذیری اکوسیستم است. تهدیداتی مانند بیابان‌زایی، فرسایش، از دست رفتن مواد آلی و آب‌بندی خاک، همراه با تأثیر تغییرات pH خاک، مورد بررسی قرار می‌گیرند. مقاله بر نقش حیاتی خاک در توسعه‌ی پایدار و امنیت غذایی جهانی، به‌ویژه در مواجهه با رشد جمعیت، تأکید کرده و راهکارهایی نظیر کشاورزی احیاکننده را برجسته می‌کند. در نهایت، تأثیر خاک بر عادات غذایی و ردپای زیست‌محیطی مورد بحث قرار می‌گیرد و بر لزوم گذار به رژیم‌های غذایی پایدارتر و کاهش ضایعات غذایی برای حفظ سلامت خاک و محیط زیست تأکید می‌شود تا مدیریت پایدار خاک و شیوه‌های کشاورزی نوآورانه تضمین شود.

کلیدواژه: امنیت غذایی، تغییر اقلیم، خدمات اکوسیستمی خاک، سلامت خاک، کشاورزی پایدار

اهمیت خاک در اکوسیستم‌ها

خاک بستر و اساس اکوسیستم‌های خشکی، نقطه کانونی شبکه پیچیده حیات، و عاملی ضروری در چرخه‌های بیوژئوشیمیایی کره زمین است. خاک یک منبع طبیعی حیاتی است که تقریباً زیربنای تمام جنبه‌های زندگی انسان و عملکرد اکولوژیکی را تشکیل می‌دهد (Dong et al., 2023). نقش چندوجهی خاک در حمایت از رشد گیاهان، تنظیم جریان آب، چرخه مواد مغذی، و میزبانی طیف وسیعی از تنوع زیستی، اساس اکوسیستم‌ها را می‌سازد (Wang, 2022). علاوه بر این، خاک به عنوان مخزن کربن عمل می‌کند و نقشی جدایی‌ناپذیر در تنظیم اقلیم و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌نماید (Rahman et al., 2022). با این حال، فشارها و تأثیرات تغییرات اقلیمی ناشی از فعالیت‌های انسانی، نابودی نگران‌کننده‌ای را در خدمات اکوسیستمی که خاک‌ها ارائه می‌دهند، به وجود آورده است. در زمان اخیر، خاک‌ها با مجموعه‌ای بی‌سابقه از چالش‌ها روبرو شده‌اند که ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند جنگل‌زدایی، کشاورزی صنعتی، شهرنشینی، و آلودگی است. این تهدیدها به تخریب گسترده خاک، فرسایش، شور شدن و بیابان‌زایی کمک کرده‌اند و توانایی خاک‌ها را در ارائه خدمات اکوسیستمی ضروری تحت تأثیر قرار داده‌اند (Devkota et al., 2022). چنین سناریویی، خطرات فرسایش خاک، بیابان‌زایی



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



و از دست دادن تنوع زیستی را افزایش می‌دهد (Francaviglia et al., 2023). این چالش‌ها با تقاضاهای جمعیت رو به رشد جهانی که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ تقریباً به ۱۰ میلیارد نفر برسد و نیازمند ۷۰ درصد افزایش در تولید غذا است، تشدید می‌شود (Cherlet et al., 2018). متعادل کردن این تقاضا با مدیریت پایدار خاک، یک چالش حیاتی جهانی است. این سناریوی نگران‌کننده نادیده گرفته نشده است و سازمان‌ها و نهادهای بین‌المللی مختلفی تلاش‌هایی را برای مدیریت پایدار خاک و کاهش تغییرات اقلیمی آغاز کرده‌اند (Lal et al., 2021).

نقش خاک‌ها در خدمات اکوسیستمی

خاک‌ها سنگ بنای اکوسیستم‌های خشکی را تشکیل می‌دهند و از طیف متنوعی از گیاهان، جانوران و میکروارگانیسم‌هایی که فرآیندهای بیوژئوشیمیایی را پیش می‌برند، حمایت می‌کنند (Ramírez et al., 2017). این تنوع زیستی اساس ارائه خدمات اکوسیستمی را تشکیل می‌دهد و اغلب تحت تأثیر ویژگی‌های خاک مانند بافت، ساختار و میزان ماده آلی آن هستند (Telo et al., 2019). این خدمات را می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم کرد (MEA et al., 2005):

(الف) **خدمات تأمین‌کننده:** این‌ها به محصولات ملموسی اشاره دارند که از خاک به دست می‌آیند، از جمله غذا، فیبر، سوخت، گیاهان دارویی و غیره. در سال ۲۰۰۷، بانک جهانی تخمین زد که بیش از ۲/۵ میلیارد نفر به طور مستقیم برای گذران زندگی خود به کشاورزی وابسته بودند، که نشان‌دهنده اهمیت بسیار زیاد سلامت خاک در حفظ امنیت غذایی جهانی است (World Bank, 2007). این موضوع بر ارتباطات پیچیده بین ویژگی‌های خاک، عملکرد محصول و محتوای غذایی تأکید می‌کند و رابطه‌ای پیچیده را آشکار می‌سازد که به طور فزاینده‌ای درک می‌شود (Tilman et al., 2002). با این حال، شیوه‌های کشاورزی ناپایدار مانند کشت مداوم و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی به تدریج حاصلخیزی خاک را از بین می‌برند، تولید غذای آینده را به خطر می‌اندازند و منجر به سایر پیامدهای ناخواسته زیست‌محیطی می‌شوند (Kumar et al., 2023).

(ب) **خدمات تنظیم‌کننده:** این خدمات شامل کنترل فرآیندهای و سیستم‌های زیست‌محیطی است. خاک‌ها نقش محوری در تنظیم آب ایفا می‌کنند؛ آنها آب را از طریق تعاملات خاک و آب که تحت تأثیر عواملی مانند ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، تخلخل و مدیریت زمین قرار می‌گیرد، جذب، ذخیره و تصفیه می‌کنند (Loures et al., 2007). این کار به کاهش خطرات سیل کمک کرده و تأمین آب پاک را برای مصارف انسانی و اکولوژیکی تضمین می‌کند (Marín-Sanleandro et al., 2023). یکی دیگر از خدمات تنظیم‌کننده کلیدی، کاهش تغییرات آب و هوایی از طریق جداسازی کربن است. ماده آلی خاک به عنوان یک جذب‌کننده کربن عمل می‌کند و اثرات گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد، با پتانسیل اینکه از طریق شیوه‌های خاص کاربری زمین به طور استراتژیک از آن بهره‌برداری شود (Lacerda et al., 2023).

(ج) **خدمات پشتیبان‌کننده:** این خدمات تنوع زیستی را حفظ می‌کنند و سایر خدمات اکوسیستمی مانند چرخه مواد مغذی (که برای حاصلخیزی خاک بنیادی است)، حفظ ساختار خاک و پرورش تنوع زیستی را ممکن می‌سازند. این فرآیند شامل تعاملات پیچیده‌ای بین گیاهان، میکروارگانیسم‌ها و مواد معدنی خاک است (Bennett et al., 2009).

(د) **خدمات فرهنگی:** این خدمات منافع غیرمادی حاصل از اکوسیستم‌ها مانند توسعه فکری، تفریح و لذت زیبایی‌شناختی را در بر می‌گیرند. خاک‌ها، با تنوع زیستی غنی خود، به طور قابل توجهی به این خدمات فرهنگی کمک می‌کنند و مناظر را شکل می‌دهند، بر سنت‌ها و شیوه‌های محلی تأثیر می‌گذارند و الهام‌بخش تلاش‌های هنری و معنوی هستند، و حس تعلق به مکان و هویت فرهنگی را تقویت می‌کنند (Daniel et al., 2012).

با این حال، فشارهای ناشی از فعالیتهای انسانی و تغییرات آب و هوایی به طور فزاینده‌ای ارائه این خدمات اکوسیستمی را به خطر می‌اندازند. تخریب خاک، که با کاهش مواد مغذی، از دست رفتن ماده آلی خاک و به هم ریختن ساختار خاک مشخص می‌شود، یک نگرانی



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ آذر ۱۳ تا ۱۱



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



جهانی فوری است. تعامل این عوامل شبکه‌ای پیچیده را تشکیل می‌دهد که تخریب زمین را تشدید کرده و انعطاف‌پذیری اکوسیستم را با مشکل مواجه می‌سازد (Rahman et al., 2022). تغییر در الگوهای کاربری زمین، جنگل‌زدایی و شیوه‌های کشاورزی نادرست از جمله دلایل اصلی تخریب خاک، اختلال در چرخه مواد مغذی و تأثیرات نامطلوب بر تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی هستند. این فرآیندها ارتباط نزدیکی با سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی گسترده‌تر دارند و نیازمند یک رویکرد یکپارچه برای حفاظت و مدیریت هستند (Montanarella et al., 2016).

بنابراین، برای حفظ سلامت خاک و اطمینان از تداوم ارائه این خدمات حیاتی اکوسیستمی، باید مدیریت پایدار خاک در اولویت قرار گیرد. سیاست‌ها و اقداماتی که حفاظت از خاک، کاهش تخریب و ترویج احیای خاک‌های فرسوده را با درک اصول اکولوژیکی زیربنایی تقویت می‌کنند، باید در قلب برنامه پایداری قرار گیرند. به این ترتیب، می‌توان نقش مداوم خاک‌ها را در چرخه مواد مغذی و ارائه خدمات اکوسیستمی و آینده‌ای پایدار را برای نسل‌های آینده تضمین کرد.

خاک و تغییرات اقلیمی

تغییرات اقلیمی و خاک‌ها به طور پیچیده‌ای به هم مرتبط هستند و هر یک به شیوه‌های پیچیده‌ای بر دیگری تأثیر می‌گذارند. خاک‌ها اکنون هم قربانی و هم ابزاری حیاتی برای مبارزه با تغییرات اقلیمی هستند. ارتباط متقابل بین خاک‌ها و تغییرات اقلیمی ابعاد گوناگونی از جمله جداسازی کربن، تنظیم آب، تعدیل دما و پشتیبانی از تنوع زیستی را در بر می‌گیرد که هر یک نیاز به بررسی عمیق‌تری دارند (Lal et al., 2021).

تأثیر تغییرات اقلیمی بر خاک پیچیده است و در ارتفاعات مختلف و الگوهای دمایی روزانه، تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود. تحقیقات در مراتع آلپی تبت شمالی نشان می‌دهد که گرمایش بر ساختار جوامع باکتریایی و قارچی خاک تأثیر می‌گذارد، به گونه‌ای که تفاوت‌های قابل توجهی در تنوع قارچی در ارتفاعات مختلف مشاهده شده است (Yu et al., 2019). مطالعه دیگری در سیستم کشاورزی آلپی تبت نشان داد که گرمایش شبانه به طور معنی‌داری برخی از تخمین‌گرهای تنوع را در اعماق خاصی از خاک افزایش می‌دهد، در حالی که گرمایش در روز و گرمایش کلی روزانه چنین تأثیری نداشت. این اثرات افزایشی نبودند و ابعاد مختلف تنوع جامعه قارچی خاک به گرمایش اقلیمی پاسخ‌های متفاوتی نشان دادند (Zhong et al., 2022). این مطالعات بر پیچیدگی واکنش خاک به تغییرات اقلیمی و نیاز به استراتژی‌های مدیریت هدفمند خاک تأکید می‌کنند. درک این پویایی‌ها در مناطق آلپی، جایی که هم ارتفاع و هم الگوهای دمایی روزانه می‌توانند بر سلامت خاک تأثیر بگذارند، برای ترویج اکوسیستم‌های انعطاف‌پذیر و شیوه‌های کشاورزی پایدار بسیار مهم است. خاک‌ها مخازن عظیمی از کربن هستند و نقش‌های کلیدی در چرخه جهانی کربن ایفا می‌کنند. خاک‌ها کربن بیشتری نسبت به اتمسفر و تمام حیات گیاهی جذب و ذخیره می‌کنند (Lal, 2004). این فرآیند جداسازی کربن شامل تعامل دقیق عوامل بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی است و پتانسیل آن برای کاهش قابل توجه سطح CO₂ اتمسفر را نمی‌توان نادیده گرفت. توانایی انواع مختلف خاک در ذخیره کربن متفاوت است و عواملی مانند ترکیب معدنی، بافت، شیوه‌های مدیریت زمین و جوامع میکروبی نقش‌های حیاتی ایفا می‌کنند (Lal, 2015). درک این عوامل می‌تواند مدیریت خاک را برای افزایش جداسازی کربن بهبود بخشد. افزایش تنها ۰/۴ درصدی ذخیره کربن خاک جهانی در سال می‌تواند افزایش سالانه انتشار CO₂ را جبران کند، رقمی که پتانسیل مدیریت خاک را به عنوان یک استراتژی کاهش تغییرات اقلیمی برجسته می‌کند (Minasny et al., 2017).

شیوه‌هایی مانند کشت پوششی، کاهش شخم‌زنی، تناوب زراعی و اصلاح‌کننده‌های آلی نه تنها توانایی خاک را برای ذخیره کربن افزایش می‌دهند، بلکه با ترویج تنوع میکروبی و تثبیت مواد آلی، به سلامت کلی خاک نیز کمک می‌کنند (Emde et al., 2021). تحقیقات برای



19th Iranian Soil Science Congress
2023-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ آذر ۱۳ تا ۱۱



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



بهینه‌سازی این شیوه‌ها به منظور به حداکثر رساندن ذخیره کربن و در عین حال حفظ بهره‌وری کشاورزی در حال انجام است (Kane et al., 2015). در مقابل، تغییرات اقلیمی می‌تواند بر سلامت و عملکرد خاک تأثیر بگذارد. همانطور که توسط IPCC اشاره شده است، افزایش دمای جهانی و تغییر الگوهای بارندگی تأثیرات آشکاری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند (Masson-Delmotte et al., 2021). افزایش دما باعث تسریع تجزیه مواد آلی خاک می‌شود و منجر به سرعت بالاتر آزادسازی کربن و مواد مغذی می‌گردد (Telo et al., 2019). این تغییرات حلقه‌های بازخوردی را تحریک می‌کنند که گازهای گلخانه‌ای بیشتری را آزاد کرده و به تغییرات اقلیمی بیشتر کمک می‌کنند. علاوه بر این، تغییر در الگوهای بارندگی می‌تواند باعث فرسایش خاک و آبشویی مواد مغذی شود و به ساختار و حاصلخیزی خاک آسیب برساند (Telo da Gama et al., 2021). چنین تغییراتی فراتر از کشاورزی، اکوسیستم‌های طبیعی، چرخه‌های هیدرولوژیکی و حتی سلامت انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین، این تغییرات اقلیمی می‌توانند اکوسیستم خاک را مختل کنند و تأثیرات گسترده‌ای بر فعالیت‌های میکروبی و فرآیندهای چرخه مواد مغذی داشته باشند (de Lacerda et al., 2023).

تعاملات پیچیده ارگانیک‌های خاک، با محیط و یکدیگر، تعادل ظرفیتی را تشکیل می‌دهند که تغییرات اقلیمی به راحتی می‌توانند آن را بر هم زنند. پیامدهای این تغییرات گسترده و متنوع است و حوزه‌هایی از بهره‌وری محصول و امنیت غذایی گرفته تا تنوع زیستی و پایداری اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خاک‌ها قربانیان منفعل تغییرات اقلیمی نیستند؛ آن‌ها پتانسیل سازگاری و نشان دادن انعطاف‌پذیری را دارند. این ظرفیت در تنوع زیستی خاک ریشه دارد، جایی که طیف متنوعی از موجودات به استحکام بیشتر و توانایی بازیابی کمک می‌کنند (Bakó et al., 2021). اجرای شیوه‌هایی برای حفظ و افزایش تنوع زیستی خاک برای حفظ این انعطاف‌پذیری و چندکارکردی بودن خاک حیاتی است (Bélanger and Pilling, 2019). همکاری جهانی و همسویی سیاست‌ها برای اطمینان از اتخاذ این شیوه‌ها در مقیاس مورد نیاز ضروری است. تعاملات بین خاک و تغییرات اقلیمی گسترده است و عوامل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را در مقیاس جهانی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Abbass et al., 2022). با افزایش خطرات مرتبط با اقلیم و تخریب خاک، بشریت با چالشی عظیم روبرو است. آینده ممکن است نامشخص به نظر برسد، اما یک مسیر انعطاف‌پذیر و پایدار از طریق درک دقیق، سیاست‌گذاری آگاهانه و به کارگیری شیوه‌های مدیریت پایدار خاک قابل دستیابی است. با پذیرش این استراتژی‌ها، می‌توان اکوسیستمی انعطاف‌پذیرتر را پرورش داد که برای مقابله با چالش‌های دنیای در حال تغییر مجهز باشد. تهدیدات خاک و بیابان‌زایی خاک‌ها نقشی جدایی‌ناپذیر در اکوسیستم‌های جهانی و سیاست‌هایی که مدیریت پایدار آن‌ها را هدایت می‌کنند، ایفا می‌کنند؛ بنابراین، باید تهدیدات فزاینده‌ای که خاک‌ها در سراسر جهان با آن روبرو هستند نیز در نظر گرفته شوند (Gomiero, 2016). در مرکز این تهدیدات، خطر بیابان‌زایی قرار دارد، جایی که تخریب زمین باعث می‌شود خاک‌ها به طور فزاینده‌ای نابارور شوند، که معمولاً به دلیل خشکسالی، جنگل‌زدایی و شیوه‌های کشاورزی نامناسب است. به طور حتم، سلامت خاک به طور اساسی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و منجر به از دست دادن حاصلخیزی و کاهش بهره‌وری کشاورزی می‌شود (Spinoni et al., 2015).

تهدیدات خاک و بیابان‌زایی

تخریب زمین و بیابان‌زایی توانایی ما را برای دستیابی به امنیت غذایی، حفظ سلامت اکوسیستم و کاهش تغییرات اقلیمی به شدت تهدید می‌کنند. گزارش ارزیابی جهانی تخریب و احیای زمین از IPBES نشان می‌دهد که بیش از ۷۵ درصد از خشکی‌های کره زمین به طور قابل توجهی تخریب شده‌اند و این زمین‌ها به طور مداوم تحت تأثیر بیابان‌زایی قرار دارند (Montanarella et al., 2018). سناریوهای چشم‌انداز جهانی زمین UNCCD نیز نشان می‌دهد که چگونه بیابان‌زایی به طور مستقیم بر عوامل اقتصادی-اجتماعی تأثیر می‌گذارد، معیشت مردم را تحت شعاع قرار می‌دهد و منجر به آوارگی و مهاجرت می‌شود (van der Esch, 2017).

pH خاک، که شاخصی حیاتی برای کیفیت خاک است، هم تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و هم فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد و منجر به الگوهای پیچیده‌ای از اسیدی شدن و قلیایی شدن خاک می‌شود. مطالعه‌ای در فلات تبت در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان داد که تغییرات اقلیمی با تأثیرات متفاوتی بسته به نوع مرتع و عمق خاک باعث قلیایی شدن خاک در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری و اسیدی شدن خاک در عمق‌های ۱۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری شده است (Sun et al., 2023). در حوضه مدیترانه، شوری، سدیمی شدن و قلیایی شدن خاک



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



مرتبط با فشارهای انسانی و تغییرات اقلیمی مشاهده شده است که پایداری اکوسیستم را تهدید می‌کند. تحلیل خاک‌های آبیاری شده در پرتغال بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ نشان‌دهنده افزایش قابل توجهی در محتوای Ca^{2+} ، K^+ و Na^+ و افزایش ۵ درصدی pH بود که به روند قلیایی شدن اشاره دارد (Telo da Gama et al., 2021). تعامل بین اسیدی شدن و قلیایی شدن خاک، که توسط تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی هدایت می‌شود، بر ضرورت شیوه‌های مدیریت پایدار خاک با در نظر گرفتن این دینامیک‌های پیچیده تأکید می‌کند. یافته‌ها همچنین هشدار می‌دهند که تأثیر تغییرات تابش بر pH خاک را نباید نادیده گرفت و می‌توان مدیریت بهتر خاک و شیوه‌های حفاظتی را برای مقابله با تغییرات اقلیمی ثبت شده در منطقه اتخاذ کرد (Sun et al., 2023). خاک‌ها علاوه بر بیابان‌زایی، با چندین تهدید دیگر نیز روبرو هستند. فرسایش، از دست رفتن مواد آلی، فشرده‌گی، شور شدن، رانش زمین، آلودگی و آب‌بندی (پوشاندن خاک با مواد نفوذناپذیر) از جمله مسائل متعددی هستند که خاک‌ها را درگیر کرده‌اند (Telo da Gama et al., 2021). بهره‌برداری بیش از حد، کشاورزی فشرده، شیوه‌های نامناسب آبیاری، آلودگی صنعتی و شهرنشینی به طور قابل توجهی به این تهدیدات کمک کرده و روند تخریب را تسریع می‌کنند. در میان این تهدیدات، فرسایش اهمیت ویژه‌ای دارد، این فرآیند طبیعی، که با فعالیت‌های انسانی تسریع می‌شود، منجر به حذف لایه حاصلخیز خاک سطحی می‌شود و توانایی خاک را در حفظ آب، مواد مغذی و مواد آلی تحت تأثیر قرار می‌دهد. پیامدهای آن فراتر از بهره‌وری کشاورزی است و بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد و به رسوب‌گذاری در پهنه‌های آبی کمک می‌کند (Panagos et al., 2016). آب‌بندی خاک، یعنی پوشاندن خاک با مواد نفوذناپذیر که اغلب ناشی از شهرنشینی است، تهدید مهم دیگری محسوب می‌شود. این امر منجر به از دست رفتن دائمی عملکردهای خاک و تخریب زیستگاه‌ها می‌گردد (Prokop et al., 2011). تمام این تهدیدات بر نیاز فوری به مدیریت پایدار خاک و تلاش‌های احیایی تأکید دارند.

تأثیر خاک بر توسعه پایدار و تولید غذا

نقش خاک‌ها در تضمین امنیت غذایی جهانی با توسعه پایدار در هم تنیده است، اما توسط فعالیت‌های مختلف انسانی و تغییرات محیطی تهدید می‌شود (Bélanger and Pilling, 2019). پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۱۰ میلیارد نفر برسد که نیازمند ۷۰ درصد افزایش در تولید غذا است (Cassman et al., 2020). تشدید پایدار از افزایش بهره‌وری غذا از زمین‌های کشاورزی موجود به شیوه‌ای حمایت می‌کند که تأثیرات زیست‌محیطی را کاهش داده و انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات اقلیمی را افزایش دهد (Xie et al., 2019). شیوه‌هایی مانند کشاورزی احیاکننده و مدیریت آب، در اینجا نیز حیاتی هستند، همانطور که درک عمیقی از نقش خاک در تولید غذا مهم است. سلامت خاک، که توسط فرسایش، بیابان‌زایی، شور شدن و تغییرات اقلیمی تهدید می‌شود، با شیوه‌های ناپایدار که سلامت خاک را تخریب می‌کنند، تشدید شده و سیستم‌های غذایی (Telo da Gama et al., 2021) و طیف وسیعی از خدمات حیاتی برای کشاورزی (Bangashet al., 2013) را به خطر می‌اندازد. گذار به شیوه‌های کشاورزی پایدار که سلامت خاک را بهبود می‌بخشند، گامی حیاتی در کاهش این تهدیدات است. شیوه‌هایی مانند کشاورزی ارگانیک، کشاورزی حفاظتی، جنگل‌ورزی زراعی و تناوب زراعی می‌توانند حاصلخیزی خاک را افزایش داده، تنوع زیستی را افزایش دهد و مقاومت کلی سیستم‌های کشاورزی را بهبود بخشند (Newton et al., 2020). کشاورزی احیاکننده، یک روش کشاورزی که با هدف احیای خاک سطحی و بازیابی تنوع زیستی انجام می‌شود، مسیری امیدبخش برای تولید پایدار غذا ارائه می‌دهد (Schreefel et al., 2020). استراتژی "از مزرعه تا چنگال" اتحادیه اروپا یک نمونه قابل توجه از رویکرد سیاستی با هدف سیستم‌های غذایی پایدار است که اهداف مشخصی مانند کاهش ۵۰ درصدی مصرف آفت‌کش‌ها و کودها و اطمینان از اینکه ۲۵ درصد از کل اراضی کشاورزی تا سال ۲۰۳۰ به صورت ارگانیک کشت می‌شوند را تعیین کرده است. اتحادیه اروپا با استفاده از این رویکرد، قصد دارد بین نیازهای تولید غذا و لزوم حفظ محیط زیست تعادل برقرار کند (Nicastro et al., 2021).

با تحلیل بیشتر جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی که می‌توانند بر توسعه پایدار و تولید غذا تأثیر بگذارند، یکی از عوامل اولیه اقتصادی-اجتماعی، آموزش کشاورزان و خدمات ترویجی است (Davis, 2008). دانش در مورد شیوه‌های کشاورزی پایدار، سلامت خاک و مدیریت کارآمد آب و مواد مغذی برای کشاورزان حیاتی است و باید تلاش‌هایی برای دسترسی‌پذیری و کاربردی کردن این دانش صورت گیرد. مشوق‌های مالی می‌توانند نقش مهمی در ترویج کشاورزی پایدار ایفا کنند. یارانه‌ها و سیستم‌های حمایت مالی می‌توانند به سمت تشویق شیوه‌هایی که



19th Iranian Soil Science Congress
2025
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ آذر ۱۳ تا ۱۱



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



سلامت خاک را حفظ یا بهبود می‌بخشند، مانند استفاده از محصولات پوششی، تناوب زراعی و کاهش شخم، سوق داده شوند. این برنامه‌ها می‌توانند با کاهش خطرات اقتصادی مرتبط با این تغییرات، به کشاورزان در گذار به شیوه‌های پایدارتر کمک کنند (Schader et al., 2017). علاوه بر این، پیشرفت‌ها در فناوری‌های کشاورزی، مانند کشاورزی دقیق، و استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در پیش‌بینی پارامترهای سلامت خاک و بهره‌وری محصول، می‌تواند در دستیابی به اهداف تشدید پایدار موثر باشد. این فناوری‌ها می‌توانند نهاده‌ها را بهینه کرده، تأثیرات زیست‌محیطی را به حداقل برسانند و به مدیریت عدم قطعیت فزاینده ناشی از تغییرات اقلیمی کمک کنند (Liakos et al., 2018). رابطه پیچیده بین خاک‌ها، توسعه پایدار و تولید غذا، بر فوریت مدیریت پایدار خاک و لزوم گذار به شیوه‌های کشاورزی پایدارتر تأکید می‌کند (Keesstra et al., 2016). اگرچه این چالش‌ها ممکن است نگران‌کننده به نظر برسند، اما شیوه‌های کشاورزی نوآورانه، پیشرفت‌های علمی و چارچوب‌های سیاستی جامع، مسیرهای امیدبخشی را به سمت تولید پایدار غذا و حفاظت از خاک ارائه می‌دهند. این رویکردهای چندوجهی، شامل سیاست، فناوری و جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی، می‌توانند به صورت هم‌افزا برای ترویج توسعه پایدار و تضمین امنیت غذایی جهانی در مواجهه با افزایش جمعیت و عدم قطعیت اقلیمی عمل کنند. در نهایت، افزایش آگاهی در مورد تأثیرات زیست‌محیطی تولید غذا می‌تواند تقاضای بازار را به سمت محصولات تولید شده به روش پایدارتر سوق دهد (Hartmann et al., 2017).

تأثیر خاک بر عادات غذایی و تأثیرات زیست‌محیطی

تأثیر خاک بر زندگی ما فراتر از کشاورزی و اکولوژی است. این تأثیر بر عادات غذایی ما و از طریق آنها، بر ردپای زیست‌محیطی ما اثر می‌گذارد. درک این ارتباط می‌تواند بینش‌های جدیدی را در مورد پایداری، تغییرات اقلیمی و انتخاب‌های غذایی ما ارائه دهد (Searchinger et al., 2018). غذایی که روزانه مصرف می‌کنیم، محصول سیستم‌های غذایی پیچیده جهانی است که عمیقاً با خاک زمین در هم تنیده‌اند. نوع غذایی که انتخاب می‌کنیم، نحوه تولید، فرآوری، حمل و نقل و هدر رفتن آن، پیامدهای قابل توجهی برای سلامت خاک و محیط زیست وسیع‌تر دارد. همانطور که Bajželj و همکاران تأکید کرده‌اند، افزایش تقاضا برای محصولات حیوانی منجر به تغییر کشاورزی به سمت دامداری در مقیاس بزرگ شده است (Bajželj et al., 2014). این تغییر، جنگل‌زدایی، از دست رفتن تنوع زیستی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را تسریع کرده است (Behera et al., 2015). یک عامل کلیدی که به این مشکل کمک می‌کند این است که این محصولات حیوانی اغلب به مساحت زمین بسیار بزرگ‌تر و ورودی انرژی بیشتری در مقایسه با جایگزین‌های گیاهی نیاز دارند (Shepon et al., 2018). با این حال، تغییر در الگوهای غذایی به سمت رژیم‌های غذایی گیاهی می‌تواند این تأثیرات زیست‌محیطی را کاهش دهد. به عنوان مثال، گزارش کمیسیون EAT-Lancet می‌کند که تغییر به سمت رژیم‌های غذایی غنی از غذاهای گیاهی و کم در غذاهای حیوانی می‌تواند استفاده از زمین‌های کشاورزی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد، در حالی که سلامت انسان را نیز بهبود می‌بخشد. مفهوم "رژیم‌های غذایی سلامت سیاره‌ای" نمونه قدرتمندی از چگونگی همسویی تنظیمات رژیم غذایی با سلامت انسان و پایداری زیست‌محیطی را ارائه می‌دهد (Willett et al., 2019). این رژیم‌های غذایی از نظر تغذیه‌ای کافی و انعطاف‌پذیر هستند و با ترجیحات غذایی محلی و سیستم‌های کشاورزی سازگارند، در حالی که رژیم‌های غذایی متنوع و گیاهی را ترویج می‌کنند که خاک سیاره ما را پایدار نگه می‌دارند (Lynch et al., 2018). ترویج چنین تغییرات غذایی نیازمند اقدام در سطوح مختلف، از انتخاب‌های فردی تا تصمیمات سیاستی است. کارزارهای آموزشی می‌توانند آگاهی در مورد تأثیرات زیست‌محیطی انتخاب‌های غذایی را افزایش دهند، در حالی که سیاست‌های برچسب‌گذاری مواد غذایی و قیمت‌گذاری می‌توانند مصرف پایدار را تشویق کنند (Nicastro and Carillo, 2021). ضروری است که تشخیص دهیم گذار به سمت عادات غذایی پایدار فقط در مورد انتخاب فردی نیست، بلکه در مورد تغییرات سیستمی در تولید غذا، زنجیره‌های تأمین و چارچوب‌های سیاستی نیز هست. یک جنبه کلیدی این تغییر سیستمی، توسعه منابع پروتئین جایگزین و پایدار است. نوآوری‌هایی مانند پروتئین‌های گیاهی، حشرات خوراکی و گوشت آزمایشگاهی می‌توانند نقش مهمی در کاهش ردپای زیست‌محیطی رژیم‌های غذایی ما ایفا کنند (Lynch and Pierrehumbert, 2019).



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



با این حال، تحقق پتانسیل این جایگزین‌ها نیازمند غلبه بر چالش‌های مختلفی مانند پذیرش مصرف‌کننده، ملاحظات نظارتی و موانع فناوری است. تحقیق و توسعه در علم و فناوری مواد غذایی، همراه با کمپین‌های آموزشی هدفمند عمومی، می‌تواند به رفع این چالش‌ها کمک کند (Bryant et al., 2019). ضایعات غذایی یک مسئله مهم در سیستم‌های غذایی ما است که به استفاده غیرضروری از منابع و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند (Stenmarck et al., 2016). کاهش ضایعات غذایی می‌تواند تأثیر قابل توجهی در بهبود پایداری رژیم‌های غذایی ما داشته باشد. سیاست‌هایی با هدف کاهش ضایعات غذایی، همراه با آموزش مصرف‌کننده و نوآوری‌ها در ذخیره‌سازی و بسته‌بندی مواد غذایی، می‌توانند نقش کلیدی در این زمینه ایفا کنند (Hebrok et al., 2017). علاوه بر این، پرداختن به مسائل دسترسی و مقرون به صرفه بودن برای ترویج رژیم‌های غذایی پایدار در مقیاس وسیع حیاتی است. گزینه‌های غذایی پایدار اغلب برای بسیاری از مردم، به ویژه در جوامع کم‌درآمد، غیرقابل دسترس یا گران هستند. سیاست‌هایی با هدف رفع این نابرابری‌ها، مانند یارانه‌ها برای گزینه‌های غذایی پایدار و سرمایه‌گذاری در کشاورزی شهری، می‌تواند به پایدار شدن رژیم‌های غذایی برای افراد بیشتری کمک کند (Saxe et al., 2013). ضروری است که تشخیص دهیم رژیم‌های غذایی پایدار یک راه‌حل یکسان برای همه نیست. ترجیحات فرهنگی، منطقه‌ای و شخصی باید هنگام ترویج عادات غذایی پایدار در نظر گرفته شوند. یکپارچه‌سازی این ملاحظات در دستورالعمل‌های غذایی می‌تواند به اطمینان از مناسب بودن فرهنگی و پذیرش گسترده رژیم‌های غذایی پایدار کمک کند (Kramer et al., 2017). گذار به سمت رژیم‌های غذایی پایدار شامل سطوح مختلف تغییر، از انتخاب‌های فردی تا تغییرات سیستمی در تولید و سیاست غذا است (Springmann et al., 2018). درک ارتباط بین عادات غذایی و سلامت خاک گامی حیاتی در ترویج پایداری زیست‌محیطی است. این بر قدرت انتخاب‌های فردی تأکید می‌کند و روشن می‌سازد که همه می‌توانند از طریق عادات غذایی خود به حفاظت از محیط زیست و پایداری کمک کنند (Mueller et al., 2012). با پرداختن به این جنبه‌ها به صورت جامع، می‌توانیم به سلامت خاک، کاهش تغییرات اقلیمی و پایداری کلی کمک کنیم، در حالی که سلامت و رفاه انسان را نیز ارتقا می‌دهیم.

نتیجه‌گیری

خاک، به عنوان بستر اصلی اکوسیستم‌های خشکی و منبعی حیاتی برای بقای انسان، نقشی چندوجهی در حمایت از حیات، تنظیم چرخه‌های بیولوژیکی و پایداری محیط زیست ایفا می‌کند. این ماده ارزشمند، تنها یک بستر ساده نیست، بلکه سیستمی پویا و پیچیده است که خدماتی حیاتی نظیر تأمین غذا، تنظیم آب و اقلیم، پشتیبانی از تنوع زیستی و حتی ارائه منافع فرهنگی را به ما ارزانی می‌دارد. با این حال، فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی، سلامت خاک را به شدت به خطر انداخته و منجر به تخریب گسترده، فرسایش، بیابان‌زایی و از دست رفتن تنوع زیستی خاک شده‌اند. این چالش‌ها، در کنار نیاز فزاینده جمعیت جهانی به غذا، اهمیت مدیریت پایدار خاک را بیش از پیش نمایان می‌سازند. ارتباط متقابل خاک و تغییرات اقلیمی، جنبه‌های پیچیده‌ای را در بر می‌گیرد؛ از یک سو، خاک‌ها مخازن عظیمی از کربن هستند که پتانسیل قابل توجهی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق جداسازی کربن دارند. از سوی دیگر، افزایش دما و تغییر الگوهای بارندگی ناشی از تغییرات اقلیمی، به طور مستقیم بر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیر می‌گذارد و چرخه‌های کربن و مواد مغذی را مختل می‌کند. شیوه‌های کشاورزی ناپایدار و شهرنشینی نیز به این فرآیندهای مخرب دامن می‌زنند. برای مقابله با این تهدیدات، اتخاذ رویکردهای جامع و یکپارچه در مدیریت خاک، از جمله ترویج کشاورزی احیاکننده، بهینه‌سازی مصرف آب و کود، و استفاده از فناوری‌های نوین، ضروری است. علاوه بر این، تأثیر خاک بر عادات غذایی و ردپای زیست‌محیطی ما، ارتباطی عمیق بین انتخاب‌های شخصی و پایداری سیاره‌ای را آشکار می‌سازد. افزایش تقاضا برای محصولات حیوانی، منجر به فشار مضاعف بر منابع خاکی شده، در حالی که تغییر به سمت رژیم‌های غذایی گیاهی، می‌تواند به کاهش تخریب خاک و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند. کاهش ضایعات غذایی، توسعه منابع پروتئین جایگزین و افزایش آگاهی عمومی، گام‌های مهمی در جهت ترویج عادات غذایی پایدار هستند. در نهایت، حفظ سلامت خاک و تضمین تداوم ارائه خدمات اکوسیستمی آن، نیازمند همکاری جهانی، سیاست‌گذاری آگاهانه و به‌کارگیری شیوه‌های مدیریت پایدار خاک در تمامی سطوح است. با پذیرش این استراتژی‌ها، می‌توان اکوسیستمی انعطاف‌پذیرتر را پرورش داد و آینده‌ای پایدار و امن غذایی را برای نسل‌های آینده تضمین کرد.



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ آذر ۱۳ تا ۱۱



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



فهرست منابع

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental science and pollution research*, 29(28), 42539-42559.
- Bajželj, B., Richards, K. S., Allwood, J. M., Smith, P., Dennis, J. S., Curmi, E., & Gilligan, C. A. (2014). Importance of food-demand management for climate mitigation. *Nature Climate Change*, 4(10), 924-929
- Bakó, G., Molnár, Z., Bakk, L., Horváth, F., Fehér, L., Ábrám, Ö., ... & Molnár, A. (2021). Toward a high spatial resolution aerial monitoring network for nature conservation—how can remote sensing help protect natural areas?. *Sustainability*, 13(16), 8807.
- Bangash, R. F., Passuello, A., Sanchez-Canales, M., Terrado, M., López, A., Elorza, F. J., ... & Schuhmacher, M. (2013). Ecosystem services in Mediterranean river basin: climate change impact on water provisioning and erosion control. *Science of the Total Environment*, 458, 246-255.
- Bank, T. W. (2007). Agriculture for development.
- Behera, S. K., & Shukla, A. K. (2015). Spatial distribution of surface soil acidity, electrical conductivity, soil organic carbon content and exchangeable potassium, calcium and magnesium in some cropped acid soils of India. *Land Degradation & Development*, 26(1), 71-79.
- Bélanger, J., & Pilling, D. (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. FAO;
- Bennett, E. M., Peterson, G. D., & Gordon, L. J. (2009). Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology letters*, 12(12), 1394-1404.
- Bryant, C., Szejda, K., Parekh, N., Deshpande, V., & Tse, B. (2019). A survey of consumer perceptions of plant-based and clean meat in the USA, India, and China. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 432863.
- Cassman, K. G., & Grassini, P. (2020). A global perspective on sustainable intensification research. *Nature Sustainability*, 3(4), 262-268
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., & VON, M. G. (2018). *World atlas of desertification*.
- Daniel, T. C., Muhar, A., Arnberger, A., Aznar, O., Boyd, J. W., Chan, K. M., ... & Von Der Dunk, A. (2012). Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(23), 8812-8819
- Davis, K. (2008). Extension in Sub-Saharan Africa: Overview and Assessment of past and current models and future prospects, proceedings of the 24th annual meeting.
- de Lacerda, N. B., Lustosa Filho, J. F., Blum, S. C., Escobar, M. E. O., & de Oliveira, T. S. (2023). Organic matter pools in a fluvisol after 29 years under different land uses in an irrigation region in northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, 208, 104861.
- de Lacerda, N. B., Lustosa Filho, J. F., Blum, S. C., Escobar, M. E. O., & de Oliveira, T. S. (2023). Organic matter pools in a fluvisol after 29 years under different land uses in an irrigation region in northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, 208, 104861.
- Devkota, K. P., Devkota, M., Rezaei, M., & Oosterbaan, R. (2022). Managing salinity for sustainable agricultural production in salt-affected soils of irrigated drylands. *Agricultural Systems*, 198, 103390.
- Dong, X., Martin, J. B., Cohen, M. J., & Tu, T. (2023). Bedrock mediates responses of ecosystem productivity to climate variability. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 114.
- Emde, D., Hannam, K. D., Most, I., Nelson, L. M., & Jones, M. D. (2021). Soil organic carbon in irrigated agricultural systems: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 27(16), 3898-3910
- Francaviglia, R., Almagro, M., & Vicente-Vicente, J. L. (2023). Conservation agriculture and soil organic carbon: Principles, processes, practices and policy options. *Soil Systems*, 7(1), 17
- Gomiero, T. (2016). Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. *Sustainability*, 8(3), 281.
- Hartmann, C., & Siegrist, M. (2017). Consumer perception and behaviour regarding sustainable protein consumption: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 11-25.



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ آذر ۱۳ تا ۱۱



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



22. Hebrok, M., & Boks, C. (2017). Household food waste: Drivers and potential intervention points for design—An extensive review. *Journal of Cleaner Production*, 151, 380-392.
23. Kane, D., & Solutions, L. L. C. (2015). Carbon sequestration potential on agricultural lands: a review of current science and available practices. *National sustainable agriculture coalition breakthrough strategies and solutions, LLC*, 1-35.
24. Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., ... & Fresco, L. O. (2016). Forum paper: The significance of soils and soil science towards realization of the UN sustainable development goals (SDGs). *Soil Discussions*, 2016, 1-28.
25. Kramer, G. F., Tyszler, M., van't Veer, P., & Blonk, H. (2017). Decreasing the overall environmental impact of the Dutch diet: how to find healthy and sustainable diets with limited changes. *Public health nutrition*, 20(9), 1699-1709.
26. Kumar, A., Burdak, B., Thakur, H., Harshavardhan, S., & Nalamala, S. (2023). A review on role of micro irrigation for modern agriculture. *Pharma Innov. J*, 12, 2585-2589
27. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *science*, 304(5677), 1623-1627.
28. Lal, R. (2015). Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Journal of soil and water conservation*, 70(3), 55A-62A.
29. Lal, R., Bouma, J., Brevik, E., Dawson, L., Field, D. J., Glaser, B., ... & Zhang, J. (2021). Soils and sustainable development goals of the United Nations: An International Union of Soil Sciences perspective. *Geoderma Regional*, 25, e00398
30. Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
31. Loures, L., Gama, J., Nunes, J. R., & Lopez-Piñeiro, A. (2017). Assessing the sodium exchange capacity in rainfed and irrigated soils in the Mediterranean basin using GIS. *Sustainability*, 9(3), 405.
32. Lynch, H., Johnston, C., & Wharton, C. (2018). Plant-based diets: Considerations for environmental impact, protein quality, and exercise performance. *Nutrients*, 10(12), 1841.
33. Lynch, J., & Pierrehumbert, R. (2019). Climate impacts of cultured meat and beef cattle. *Frontiers in sustainable food systems*, 3, 421491.
34. Marín-Sanleandro, P., Gómez-García, A. M., Blanco-Bernardeau, A., Gil-Vázquez, J. M., & Alías-Linares, M. A. (2023). Influence of the type and use of soil on the distribution of organic carbon and other soil properties in a sustainable and resilient agropolitan system. *Forests*, 14(6), 1085.
35. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 2(1), 2391.
36. MEa, M. E. A. (2005). Ecosystems and Human Well-Being: wetlands and water synthesis
37. Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., ... & Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59-86
38. Montanarella, L., Pennock, D. J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., ... & Vargas, R. (2016). World's soils are under threat. *Soil*, 2(1), 79-82.
39. Montanarella, L., Scholes, R., & Brainich, A. (2018). The IPBES assessment report on land degradation and restoration. *Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: Bonn, Germany*
40. Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490(7419), 254-257
41. Newton, P., Civita, N., Frankel-Goldwater, L., Bartel, K., & Johns, C. (2020). What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 577723.
42. Nicastro, R., & Carillo, P. (2021). Food loss and waste prevention strategies from farm to fork. *Sustainability*, 13(10), 5443.
43. Nicastro, R., & Carillo, P. (2021). Food loss and waste prevention strategies from farm to fork. *Sustainability*, 13(10), 5443.



19th Iranian Soil Science Congress
20-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ آذر ۱۳ تا ۱۱



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



44. Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Meusburger, K., Ballabio, C., Lugato, E., ... & Alewell, C. (2016). Reply to the comment on "The new assessment of soil loss by water erosion in Europe" by Fiener & Auerswald. *Environmental science & policy*, 57, 143-150
45. Prokop, G., Jobstmann, H., & Schönbauer, A. (2011). Overview of best practices for limiting soil sealing or mitigating its effects in EU-27. *European Communities*, 227, 24
46. Rahman, S., Jama Ali, A., & Raihan, A. (2022). Soil carbon sequestration in agroforestry systems as a mitigation strategy of climate change: a case study from Dinajpur, Bangladesh. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 3(4), 1-13
47. Ramírez, M., López-Piñeiro, A., Peña, D., Rato Nunes, J., Albarrán, Á., Muñoz, A., ... & Loures, L. (2017). Seasonal and interannual fluctuation of the microbial soil community in a maize field under long-term conservation agriculture management. *Sustainability*, 9(5), 778
48. Saxe, H., Larsen, T. M., & Mogensen, L. (2013). The global warming potential of two healthy Nordic diets compared with the average Danish diet. *Climatic Change*, 116(2), 249-262.
49. Schader, C., Grovermann, C., Frick, R., Grenz, J., & Stolze, M. (2017). Towards a new public goods payment model for remunerating farmers under the CAP Post-2020.
50. Schreefel, L., Schulte, R. P., De Boer, I. J. M., Schrijver, A. P., & Van Zanten, H. H. E. (2020). Regenerative agriculture—the soil is the base. *Global Food Security*, 26, 100404
51. Searchinger, T. D., Wierseni, S., Beringer, T., & Dumas, P. (2018). Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. *Nature*, 564(7735), 249-253.
52. Shepon, A., Eshel, G., Noor, E., & Milo, R. (2018). The opportunity cost of animal based diets exceeds all food losses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(15), 3804-3809
53. Spinoni, J., Vogt, J., Naumann, G., Carrao, H., & Barbosa, P. (2015). Towards identifying areas at climatological risk of desertification using the Köppen-Geiger classification and FAO aridity index
54. Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., ... & Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519-525.
55. Stenmarck, Å., Jensen, C., Quested, T., & Moates, G. (2016). Estimates of European food waste levels.
56. Sun, W., Li, S., Zhang, G., Fu, G., Qi, H., & Li, T. (2023). Effects of climate change and anthropogenic activities on soil pH in grassland regions on the Tibetan Plateau. *Global Ecology and Conservation*, 45, e02532.
57. Telo da Gama, J., Loures, L., Lopez-Piñeiro, A., Quintino, D., Ferreira, P., & Nunes, J. R. (2021). Assessing the long-term impact of traditional agriculture and the mid-term impact of intensification in face of local climatic changes. *Agriculture*, 11(9), 814.
58. Telo da Gama, J., Loures, L., Lopez-Piñeiro, A., Quintino, D., Ferreira, P., & Nunes, J. R. (2021). Assessing the long-term impact of traditional agriculture and the mid-term impact of intensification in face of local climatic changes. *Agriculture*, 11(9), 814
59. Telo da Gama, J., Rato Nunes, J., Loures, L., Lopez Piñeiro, A., & Vivas, P. (2019). Assessing spatial and temporal variability for some edaphic characteristics of Mediterranean rainfed and irrigated soils. *Agronomy*, 9(3), 132.
60. Telo da Gama, J., Rato Nunes, J., Loures, L., Lopez Piñeiro, A., & Vivas, P. (2019). Assessing spatial and temporal variability for some edaphic characteristics of Mediterranean rainfed and irrigated soils. *Agronomy*, 9(3), 132.
61. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
62. van der Esch, S. (2017). Exploring future changes in land use and land condition and the impacts on food, water, climate change and biodiversity: scenarios for the UNCCD Global Land Outlook.
63. Wang, X. Managing Land Carrying Capacity: Key to Achieving Sustainable Production Systems for Food Security. *Land* 2022, 11, 484
64. Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., ... & Murray, C. J. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The lancet*, 393(10170), 447-492.
65. Xie, H., Huang, Y., Chen, Q., Zhang, Y., & Wu, Q. (2019). Prospects for agricultural sustainable intensification: A review of research. *Land*, 8(11), 157.



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



66. Yu, C., Han, F., & Fu, G. (2019). Effects of 7 years experimental warming on soil bacterial and fungal community structure in the Northern Tibet alpine meadow at three elevations. *Science of the Total Environment*, 655, 814-822.
67. Zhong, Z., & Fu, G. (2022). Response of soil fungal species, phylogenetic and functional diversity to diurnal asymmetric warming in an alpine agricultural ecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 335, 107993.

The Vital Role of Soil in Ecosystems: Threats, Climate Change, and Resilience Strategies

Masoumeh Mostafaei^{1*}, Hossein Azizi^{*}, Zohreh Alvyar², Leila Moradi¹

^{1*}Department of Soil and Water Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of West Azerbaijan, Agricultural Research, Education and Extension Organization, West Azerbaijan, Iran

²Department of Soil and Water Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Ardebil (Moghan), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ardebil, Iran.

Email: mstmsu93@gmail.com

Abstract

Soil serves as the backbone of terrestrial ecosystems, essential for life on Earth and biogeochemical cycles. This vital resource underpins plant growth, water regulation, nutrient cycling, and biodiversity, while also acting as a carbon sink in climate regulation. However, human activities such as deforestation, industrial agriculture, urbanization, and pollution have led to widespread soil degradation, erosion, salinization, and desertification, jeopardizing its ability to provide crucial ecosystem services. These challenges are exacerbated by a growing global population and the increasing demand for food production. This article examines the multifaceted importance of soil in ecosystem services (provisioning, regulating, supporting, and cultural), its role in the global carbon cycle, and its intricate relationship with climate change. It emphasizes that soil is not only a victim of climate change but also a key tool for mitigation through carbon sequestration and enhancing ecosystem resilience. Major threats such as desertification, erosion, loss of organic matter, and soil sealing, along with the impact of changes in soil pH, are also discussed. Furthermore, the article addresses the critical role of soil in sustainable development and global food security, particularly in the face of population growth, highlighting solutions like regenerative agriculture. Finally, the impact of soil on dietary habits and environmental footprints is explored, underscoring the necessity of transitioning to more sustainable diets and reducing food waste to preserve soil health and the environment. The ultimate goal is to promote sustainable soil management and innovative agricultural practices to ensure a sustainable future.

Keywords: Food security, climate change, soil ecosystem services, soil health, sustainable agriculture



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

