19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

ضرورت ارزیابی تاب‌آوری خاک

محسن پرویزی[1*]، زینب حزباوی[2]

۱- دبیر آموزش و پرورش استان اردبیل، اردبیل، ایران
۲- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران* **z.hazbavi@uma.ac.ir**

چکیده

خاک به‌عنوان یکپارچه‌کننده فرآیندهای فعال در چشم‌اندازهای زیستی و هیدرولوژیکی عمل می‌کند و به اختلالات و فرآیندهای خارجی در مقیاس‌های زمانی مختلف پاسخ می‌دهد. علی‌رغم اهمیت تاب‌آوری خاک، در تحقیقات داخل کشور از آن غفلت شده است. بر همین اساس، مقاله حاضر از دریچه نو، به تبیین ضرورت ارزیابی تاب‌آوری خاک و امکان‌سنجی بازیابی توان و پایداری خاک از طریق ارتقاء شاخص‌های تاب‌آوری می‌پردازد. تاب‌آوری خاک «ظرفیت خاک برای بازیابی تمامیت عملکردی و ساختاری خود پس از یک اختلال است؛ که این یکپارچگی را می‌توان به‌عنوان ظرفیت خاک برای انجام عملکردهای اساسی خاک در نظر گرفت». تاب‌آوری یک فراعملکرد جامع از خاک است که از تمام ویژگی‌های منفرد آن، در تعامل با فرآیندهای جاری که توسط تعاملات زیستی هدایت می‌شوند، مشتق شده است. تاب‌آوری محصولی از گذشته و حال و نیز چشم‌اندازی از آینده سامانه خاک است. از این‌رو، تمام سطوح مهم برای ارزیابی وضعیت خاک را منعکس می‌کند و هم‌چنین با ارزیابی پتانسیل سازگاری ذاتی، توصیه‌های ممکن را برای بهبود مدیریت جامع خاک در آینده ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی: آستانه تخریب خاک، برگشت‌پذیری، تاب‌آوری، مقاومت خاک، نقطه عطف

مقدمه

تخریب زمین با کاهش بهره‌وری خاک، کاهش حاصلخیزی، از بین رفتن تنوع زیستی و زوال کلی منابع طبیعی مشخص می‌شود (Olaniyi و Abioye، ۲۰۲۳). خاک‌های تخریب‌شده کیفیتی پایین‌تر از حد مطلوب دارند و توانایی آن‌ها را برای پشتیبانی از تولید محصولات کشاورزی و عملکردهای ضروری بوم‌سازگان محدود می‌کنند. در مقابل، تاب‌آوری خاک نشان‌دهنده ظرفیت مقاومت یا بازیابی از تخریب بوده و به‌عنوان یک شاخص کلیدی پایداری بلندمدت عمل می‌کند (Gani و Awwal، ۲۰۲۵). در حوزه‌های آبخیز ایران به‌ویژه از نوع کوهستانی، تغییرات زمین بر حساسیت تخریب خاک تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، شیب‌های تندتر رواناب را تسریع می‌کنند و باعث فرسایش سطحی می‌شوند که حاصلخیزی خاک مناطق مرتفع را کاهش می‌دهد و در عین حال مناطق پست را غنی می‌کند. این فرآیندها همراه با کشت فشرده، به‌تدریج کیفیت خاک را کاهش می‌دهند و ارزیابی سیستماتیک الگوهای تخریب را برای پشتیبانی از مدیریت مؤثر زمین ضروری می‌سازند (Maniyunda و همکاران، ۲۰۲۰؛ Awwal و همکاران، ۲۰۲۲).
با توجه به مرور منابع، مطالعات محدودی در زمینه تاب‌آوری خاک، مقاله حاضر ضمن بیان مفاهیم کلی حاکم بر تاب‌آوری خام، تبیین می‌کند که چگونه تغییرات تاب‌آوری خاک می‌تواند به کاربران و مدیران زمین کمک کند تا تصمیمات مربوط به استفاده از زمین و مدیریت خود را در حمایت از سازگاری فعلی و آینده با تغییرات محیطی ناشی از فشارهای خارجی، مانند تغییر اقلیم،

بهبود بخشند. این مقاله، درک ما را از چگونگی افزایش تاب‌آوری کاربری زمین در مواجهه با تغییرات محیطی از طریق سازگاری بهتر تاب‌آوری طبیعی خاک با مدیریت مناسب کاربری زمین افزایش می‌دهد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر یک مقاله ترویجی است که بر اساس گردآوری اطلاعات از آخرین یافته‌ها در زمینه ارزیابی تاب‌آوری خاک انجام یافته است.

نتایج و بحث

خاک در مرز زیست‌کره، هیدروسفر، لیتوسفر و جو وجود دارد که با پاسخ به اختلالات و فرآیندهای خارجی در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف، فرآیندهای فعال در این حوزه‌ها را ادغام می‌کند. تغییر در یک سیستم بیوفیزیکی نتیجه حرکت از یک نقطه اوج آستانه است. تأثیر هر تغییری با واکنش سیستم آشکار می‌شود و این به نوبه خود به مقاومت سیستم خاک در برابر اختلال بستگی دارد. برای مثال، تغییر اقلیم نشان‌دهنده عامل استرس‌زای خارجی است که پتانسیل تأثیر قابل توجهی بر بوم‌سازگان‌های خشکی دارد و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر عملکردهای خاک تأثیر می‌گذارد. تأثیرات مستقیم شامل تغییرات در بارش، دما و رژیم رطوبتی است، در حالی‌که اثرات غیرمستقیم شامل سازگاری در آبیاری، شخم، شیوه‌های مدیریت تناوب زراعی و دامی و فرسایش خاک هستند (Rounsevell و همکاران، ۱۹۹۹؛ Varallyay و همکاران، ۲۰۱۰؛ Borrelli و همکاران، ۲۰۲۰؛ Hamidov و همکاران، ۲۰۱۸). پیامدهای تغییر جهانی اقلیم احتمالاً با تغییر در کاربری زمین و مدیریت زمین مرتبط است. گزارش ویژه IPCC در مورد تغییر اقلیمی و زمین (IPCC، ۲۰۱۹) به این موضوع می‌پردازد که چگونه یک اقلیم در حال تغییر به‌طور فزاینده‌ای بر نحوه استفاده ما از زمین تأثیر می‌گذارد. در مقیاس جامع بوم‌سازگان انسانی، خاک نشان‌دهنده پیوند آب، انرژی و غذا است. اگر برای غذا، انرژی، آب، سلامت و رفاه به خاک (و بنابراین زمین) تکیه شود، اثرات تغییر اقلیم هرگونه فشار ناشی از شیوه‌های فعلی مدیریت زمین را تشدید می‌کند (Smith و همکاران، ۲۰۲۲). بر همین اساس، توجه به ظرفیت تاب‌آوری خاک که بیان‌گر پتانسیل بازیابی یکپارچگی عملکردی و ساختاری پس از یک اختلال، است، ضروری است. این پتانسیل، محصول مدیریت گذشته و حال و در عین حال، چشم‌انداز پاسخ‌های احتمالی خاک به اختلالات آینده است. علاوه بر این، با عملکردهای متعدد خاک همبستگی دارد و از این‌رو، منعکس‌کننده چندمنظوره بودن سیستم خاک است. بر همین اساس، در ادامه به مفاهیم مختلف حاکم بر تاب‌آوری خاک پرداخته می‌شود.

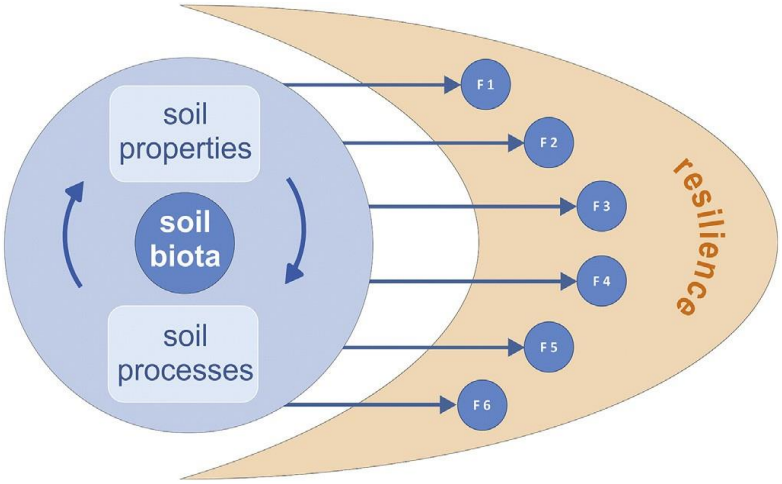
تاب‌آوری به‌عنوان مفهومی از پایداری

مفهوم تاب‌آوری از حوزه‌های مختلفی پدیدار شده است. به‌عنوان مثال، ریشه‌های طولانی‌تری در روان‌شناسی نسبت به بوم‌شناسی دارد (Olsson و همکاران، ۲۰۱۵). در روان‌شناسی، این مفهوم یک ویژگی شخصیتی را توصیف می‌کند، اگرچه معمولاً به‌عنوان یک فرآیند - یک فرآیند پویای سازگاری مثبت - با تهدید، ناملایمات، تروما، تراژدی یا استرس قابل توجه شناخته می‌شود. برای بوم‌سازگان‌ها، دو تعریف بسیار متفاوت از تاب‌آوری وجود دارد. هر دو به جنبه‌هایی از پایداری سیستم می‌پردازند. تعریف اول، این پایداری را بر اساس ویژگی‌های کارایی، کنترل، ثبات و پیش‌بینی‌پذیری تعریف می‌کند و در مطالعات مختلف به‌عنوان تاب‌آوری مهندسی از آن یاد می‌شود (Holling، ۱۹۹۶). طبق گفته Pimm (۱۹۸۴)، در این مفهوم، تاب‌آوری با زمان لازم برای بازگشت یک سامانه به حالت تعادل پس از یک اختلال تعیین می‌شود. تعریف دوم، پایداری را با ویژگی‌هایی مانند پایداری، سازگاری، تغییرپذیری و غیرقابل‌پیش‌بینی بودن توصیف می‌کند. این تعریف به تاب‌آوری بوم‌شناختی اشاره دارد و بر ویژگی‌های پویایی یک مفهوم بوم‌سازگان بدون هیچ حالت تعادل واحدی تأکید می‌کند (Holling، ۱۹۷۳). به‌طور دقیق، مهندسی تاب‌آوری

به معنای حفظ کارایی عملکرد است، در حالی‌که تاب‌آوری بوم‌شناختی به معنای حفظ وجود عملکرد است. این دو جنبه متضاد از پایداری، پیامدهای اساساً متفاوتی برای درک، ارزیابی و مدیریت پیچیدگی و تغییر، به‌ویژه در مورد یک سیستم چندمنظوره مانند خاک دارند (Gunderson و Holling، ۲۰۰۲).

تاب‌آوری به‌عنوان یک فراعملکرد خاک

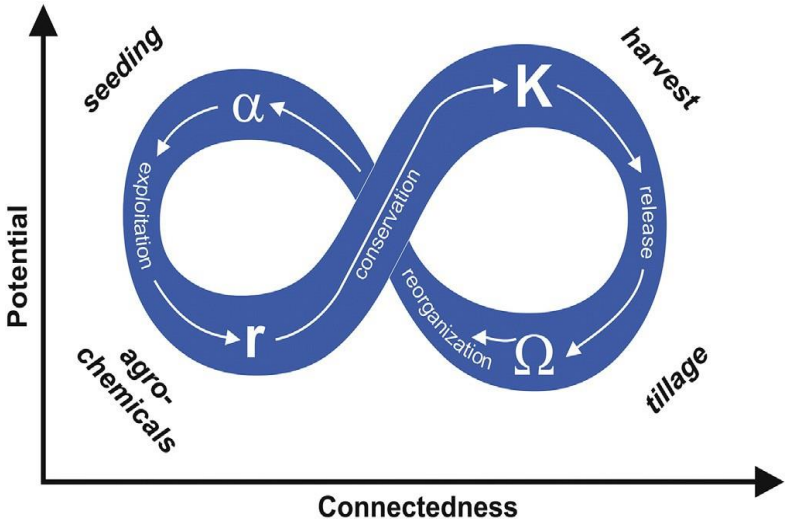
بررسی پایداری مستلزم تأکید بر این تعریف از تاب‌آوری است، زیرا میزان اختلالی را که می‌تواند قبل از وقوع تغییر قابل توجه در عملکرد بوم‌سازگان تحمل شود، توصیف می‌کند. بنابراین، تاب‌آوری یک پارامتر واحد نیست، بلکه به احتمال زیاد یک فراعملکرد جامع (شکل ۱) از یک جامعه، یک خاک یا یک بوم‌سازگان کامل است که از تمام ویژگی‌های منفرد آن، در تعامل با فرآیندهای جاری که توسط تعاملات زیستی هدایت می‌شوند، مشتق شده است. این معیاری از پتانسیل (پیش)سازگاری برای مقابله با اختلالات آینده است و در عین حال نشان‌دهنده چندکارکردی بودن سیستم است. تاب‌آوری محصولی از گذشته و حال و نیز چشم‌اندازی از آینده سیستم است. از این‌رو، تمام سطوح مهم برای ارزیابی وضعیت خاک را منعکس می‌کند: این شاخص از گذشته [مدیریت] خاک به‌عنوان بخشی از حافظه خاک مشتق شده است، وضعیت فعلی خاک را تحت تأثیر فشارها و اختلالات نشان می‌دهد و از طریق ارزیابی پتانسیل سازگاری ذاتی، توصیه‌های ممکن را برای بهبود مدیریت جامع خاک در آینده ارائه می‌دهد. از این‌رو، در بسیاری از مفاهیم، تاب‌آوری به‌عنوان بخش مهمی از پایداری یا حتی معادل با اصطلاح پایداری در نظر گرفته می‌شود (Marchese و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین، تاب‌آوری خاک می‌تواند به‌عنوان معیار مناسبی برای پایداری مدیریت خاک مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱- تاب‌آوری به‌عنوان یک فراعملکرد خاک. موجودات زنده خاک عامل اصلی تعامل بین ویژگی‌های خاک و فرآیندهای خاکی هستند که سرمایه طبیعی خاک را می‌سازند. از این تعامل، عملکردهای مختلف خاک (که به‌صورت شماتیک به‌صورت توابع F1 تا F6 نشان داده شده‌اند) مشتق شده‌اند که به‌طور مشترک در تنوع عملکردی و پاسخ خاک منعکس می‌شوند، که نشان‌دهنده تاب‌آوری کل بوم‌سازگان خاک است (Ludwig و همکاران، ۲۰۱۸).

تاب‌آوری به‌عنوان بُعد سوم عملکرد بوم‌سازگان

بوم‌سازگان‌ها هیچ تعادل واحدی ندارند (Scheffer و همکاران، ۲۰۰۱). آن‌ها سیستم‌های پویا و در حال تغییر مداوم، مانند حلقه‌های بی‌پایان متشکل از مراحل بهره‌برداری (r)، حفاظت (K)، فروپاشی ساختاری و آزادسازی (Ω) و نیز سازماندهی مجدد (α) هستند (شکل ۲). در ایده مفهومی یک چرخه سازگاری (Angeler و همکاران، ۲۰۱۵؛ Gunderson و Holling، ۲۰۰۲)، تغییر نه پیوسته و تدریجی و نه به‌طور مداوم آشفته است. احتمالاً تغییر به‌صورت دوره‌ای و با دوره‌های انباشت آهسته سرمایه طبیعی (مانند زیست‌توده، ساختارهای زیستی یا مواد مغذی) رخ می‌دهد که با آزادسازی ناگهانی و سازماندهی مجدد آن میراث‌های زیستی قطع می‌شود (Franklin و همکاران، ۲۰۰۰؛ Franklin و MacMahon، ۲۰۰۰). این میراث‌ها، مفهوم چرخه سازگاری را از نظریه کلاسیک جانشینی بوم‌شناختی متمایز می‌کنند.



شکل ۲- چرخه سازگاری (اصلاح‌شده پس از Gunderson و Holling، ۲۰۰۲) شامل مراحل بهره‌برداری (α → r)، حفاظت (r → K)، فروپاشی ساختاری و آزادسازی (K → Ω) و سازماندهی مجدد (Ω → α). برای خاک‌های در مقیاس مزرعه، چرخه توسط توسعه فصلی و سالانه و نیز رویدادهای مدیریت خاک هدایت می‌شود (Ludwig و همکاران، ۲۰۱۸).

در بوم‌شناسی، گونه‌های پیشگام دوره بهره‌برداری به‌عنوان راهبردشناس‌های-r شناخته می‌شوند، در حالی‌که انباشت سرمایه طبیعی به‌عنوان محرک راهبردشناس‌های-K در نظر گرفته می‌شود. این دو راهبردشناس، اکوتیپ‌های مخالف پراکندگی و تولیدمثل (MacArthur و Wilson، ۱۹۶۷؛ Pearl، ۱۹۲۷) را نشان می‌دهند و به‌عنوان نام‌های مستعار برای این دو دوره از توسعه بوم‌سازگان استفاده می‌شوند (شکل ۲). در این تغییر راهبردی، بوم‌سازگان تغییر از گونه‌هایی که با تغییرپذیری خارجی سازگار می‌شوند (راهبردشناس‌های-r) به گونه‌هایی که تغییرپذیری را کنترل می‌کنند (راهبردشناس‌های-K) را تجربه می‌کند. بنابراین، سامانه با اعمال کنترل خارجی از طریق تغییر عملکردی گونه‌ها، کنترل داخلی (ارتباط) را به دست می‌آورد. با این افزایش ارتباط، یعنی تخصص و شبکه‌سازی گونه‌ها و به‌طور کلی درجه نظم سامانه، افزایش کارایی عملکردی همزمان با پتانسیل سامانه افزایش می‌یابد (شکل ۲). این مستلزم رشد سرمایه طبیعی است: از منابع و موجودات زنده، که به‌ترتیب تعامل بین ویژگی‌ها و فرآیندهای خاک (شکل ۱) تا عملکردهای خاک یا خدمات بوم‌سازگان خاک را تشکیل می‌دهند (Ludwig و همکاران، ۲۰۱۸).

تا نقطه‌ای که سیستم از نظر پتانسیل، پیوستگی و سرمایه طبیعی انباشته به اوج خود می‌رسد، نظریه‌های کلاسیک و چرخه سازگاری دقیقاً از الگوی یکسانی پیروی می‌کنند. این را می‌توان برای همه بوم‌سازگان‌های طبیعی مشاهده کرد، اما برای

سیستم‌هایی که توسط انسان‌ها مدیریت می‌شوند مانند خاک‌های زراعی، این الگوی توسعه را می‌توان یافت. با مرتبط کردن حلقه جلویی مفهوم چرخه سازگاری با یک بوم‌سازگان کشاورزی در مقیاس مزرعه (شکل ۲)، فصل سالانه ممکن است با کاشت محصول (α) شروع شود که در آن سیستم خاک پتانسیل بالایی برای توالی متنوع گیاهان و نیز موجودات زنده فعال، فراوان و متنوع خاک دارد. این پتانسیل در مرحله آزمایشی سیستم (α → r) کاهش می‌یابد زیرا شیوه‌های مدیریت شیمیایی منحصراً محصول کشت شده را ترویج می‌دهند. کشاورز با استفاده خاص از مواد شیمیایی کشاورزی مانند آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی که مانع از رشد سایر گیاهان می‌شوند، رشد محصول را کنترل می‌کند. پس از پنجه‌زنی و طویل شدن ساقه، پایه محصول (r) ایجاد می‌شود، مرحله انباشت (r→K) آغاز می‌شود و این مرحله تقریباً با مراحل آبستنی، ظهور گل‌آذین، گلدهی، رشد میوه و رسیدن مشخص می‌شود. مرحله انباشت در مورد غلات (K) با دانه‌های پیر به پایان می‌رسد که سپس آماده برداشت می‌شوند. در این مرحله، بوم‌سازگان کشاورزی بالاترین درجه ارتباط خود را در رابطه با توسعه فصلی خود نشان می‌دهد. در دیدگاه سنتی، این تعادل، حالت اوج بوم‌سازگان نامیده می‌شود. در مفهوم چرخه سازگاری، این حالت به حفاظت منجر می‌شود که با فروپاشی ساختاری به پایان می‌رسد (K→Ω، شکل ۲) (Ludwig و همکاران، ۲۰۱۸).

مدیریت پایدار خاک هنوز به‌عنوان استفاده کارآمد از منابع تعریف می‌شود. اما این رویکرد متناقض و ضدتولید است، زیرا بهره‌وری کوتاه‌مدت با کاهش تاب‌آوری بوم‌شناختی، مانع پایداری بلندمدت می‌شود. اکنون به درک و ارزیابی جدیدی از بوم‌سازگان خاک نیاز است تا پیچیدگی و تغییر آن را بتوان مدیریت کرد. خاک‌ها نمایان‌گر بوم‌سازگان‌هایی با اهداف متحرک و نتایج احتمالی متعدد هستند که ذاتاً نامشخص و غیرقابل پیش‌بینی هستند. مدیریت انسانی، فشار و آشفتگی‌های بیش از حد برای بوم‌سازگان خاک ایجاد می‌کند. این امر عدم قطعیت را افزایش می‌دهد. بنابراین خاک‌ها به یک مدیریت سازگار نیاز دارند که فرصتی برای اثرات مثبت میراث (مثلاً نوآوری‌ها، افزونگی) و زمان برای دوره‌های خودسازماندهی شده بازیابی که هر دو به تاب‌آوری خاک کمک می‌کنند، باقی بگذارد (Ludwig و همکاران، ۲۰۱۸).

تاب‌آوری به‌عنوان یک مفهوم مرزی برای ادغام ابعاد اجتماعی و طبیعی پایداری ارتقاء یافته است (Olsson و همکاران، ۲۰۱۵). چندکارکردی بودن بوم‌سازگان خاک، ارزیابی اهمیت واقعی هر عملکرد خاک را دشوار می‌کند. شاخص‌های زیستی برای پایش و مدیریت پایداری خاک، نه تنها نیازمند درک اجزای بوم‌سازگان، بلکه نیازمند درک تعاملات پویای آن‌ها در مقیاس‌های زمانی و مکانی هستند (Gunderson و Holling، ۲۰۰۲). تاب‌آوری از افزونگی عملکردی در مقیاس‌ها و تقویت عملکردی در مقیاس‌ها ناشی می‌شود. بخش قابل اندازه‌گیری تاب‌آوری خاک، افزونگی در مقیاس‌ها است. این با تنوع پاسخ خاک نشان داده می‌شود. تنوع پاسخ را می‌توان به‌عنوان حداکثر عملکرد بوم‌شناختی از مقایسه سیستماتیک پتانسیل ژنتیکی و فعالیت عملکردی از طریق نشان‌گرهای چندأمیک[1] محاسبه کرد. این امر امکان شناسایی آستانه‌های مقاومت و تاب‌آوری بوم‌سازگان خاک و نقاط بحرانی بالقوه برای تغییر رژیم به سمت حالت‌های نامطلوب برگشت‌ناپذیر یا دائمی خاک را فراهم می‌کند. هم‌چنین، این امر به‌دلیل تلاش‌های جهانی نوظهور برای ادغام شاخص‌های بیش‌تر خاک در اهداف توسعه پایدار سازمان ملل (SDGs) که در حال حاضر در سراسر جامعه بین‌المللی مطرح شده است، مورد توجه فزاینده‌ای قرار خواهد گرفت.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر، با معرفی مفاهیم حاکم بر تاب‌آوری خاک، بینش ارزشمندی برای پشتیبانی از شیوه‌ها و سیاست‌های مدیریت زمین منطقه‌ای یا ملی در آینده ارائه می‌دهد. تاب‌آوری خاک بیان‌گر توانایی خاک برای بازیابی از عوامل استرس‌زای خارجی

[1] Multi-omic markers

است که اساس یک سیستم چندمنظوره و پایدار است. یک خاک با تاب‌آوری بالا، ارائه‌دهنده خدمات متنوعی از خاک است که زیربنای عملکرد و بهره‌وری چشم‌انداز زمینی را تشکیل می‌دهند. با وجود اهمیت بسیار بالای موضوع تاب‌آوری خاک، در داخل کشور مورد غفلت قرار گرفته است. با توجه به تخریب روزافزون خاک، توجه به ارزیابی تاب‌آوری خاک، توسعه شاخص‌های ارزیابی بومی، ارائه رویکردهای افزایش تاب‌آوری خاک در مواجهه با آشفتگی‌های خارجی و تغییرات محیطی از جمله تغییر اقلیم، تهیه نقشه‌های مکاتی از تاب‌آوری خاک ضروری است.

فهرست منابع

1. Angeler, D.G., Allen, C.R., Garmestani, A.S., Gunderson, L.H., Hjerne, O., and Winder, M. 2015. Quantifying the adaptive cycle. PLoS One 10, e0146053.
2. Awwal A.Y., Maniyunda L.M., and Sadiq F.K. 2022. Distribution and characteristics of soils along a toposequence in Northern Guinea Savanna of Nigeria. Nigerian Journal of Soil and Environmental Research, 21,110 –121.
3. Awwal, A.Y., Onokebhagbe, V.O., and Adegboye K.A. 2020, Degradation assessment of fallowed and cultivated soils of Teaching and Research Farm, Federal University Dutse, Jigawa State. Proceedings of the 44th Conference of SSSN “Coal City”. Colloquia SSSN 44(2020), 67-70.
4. Borrelli, P., Robinson, D.A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J.E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., and Ballabio, C. 2020. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 117, 21994–22001.
5. Franklin, J.F., Lindenmayer, D., MacMahon, J.A., McKee, R., Magnuson, J., Perry, D.A., Waide, R., Foster, D., 2000. Threads of continuity. Conserv. Biol. Pract. 1, 9–16.
6. Franklin, J.F., MacMahon, J.A., 2000. Messages from a mountain. Science, 288, 1183.
7. Gani, A. T., & Awwal, Y. A. (2025). Assessment of soil degradation and resilience index across different topographic positions in Wukari, Taraba State, Nigeria. Open Soil Science and Environment, 3(1), 1–11.
8. Gunderson, L.H., Holling, C.S., 2002. Panarchy: understanding transformations in human and natural systems. Island Press.
9. Hamidov, A., Helming, K., Bellocchi, G., Bojar, W., Dalgaard, T., Ghaley, B.B., Hoffmann, C., Holman, I., Holzkämper, A., Krzeminska, D., et al. 2018. Impacts of climate change adaptation options on soil functions: A review of European case-studies. Land Degrad. Dev., 29, 2378–2389.
10. Holling, C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. Annu. Rev. Ecol. Syst. 4, 1–23.
11. Holling, C.S. 1996. Engineering resilience versus ecological resilience. In: P.C., Schulze. (Ed.), Engineering within Ecological Constraints. National Academy Press, Washington DC.
12. Ibrahim M.M., and Idoga S. 2013. Soil degradation assessment of the University of Agriculture Makurdi students industrial work experience scheme (SIWES) Farm, Makurdi, Benue State. PAT NSUK Journal, 9 (2): 126-135
13. IPCC. 2019. Special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SRCCL); IPCC (Report); IPCC: Geneva, Switzerland.
14. Ludwig, M., Wilmes, P., and Schrader, S. 2018. Measuring soil sustainability via soil resilience. Science of the Total Environment, 626, 1484-1493.
15. MacArthur, R.H., and Wilson, E.O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press.
16. Maniyunda, L.M., Awwal, Y.A., and Daudu, C.K. 2020. Land degradation assessment along a toposequence in Hayin Gada, Sub Humid Agroecological Zone, Kaduna State Nigeria. Nigerian Journal of Soil and Environmental Research.19,61 -70
17. Marchese, D., Reynolds, E., Bates, M.E., Morgan, H., Clark, S.S., and Linkov, I. 2017. Resilience and sustainability: similarities and differences in environmental management applications. Sci. Total Environ. 613-614:1275–1283. Olsson, L., Jerneck, A., Thoren, H., Persson, J., and O'Byrne, D. 2015. Why resilience is unappealing to social science: theoretical and empirical investigations of the scientific use of resilience. Sci. Adv. 1.
18. Pearl, R., 1927. The growth of populations. Q. Rev. Biol. 2, 532–548
19. Pimm, S.L., 1984. The complexity and stability of ecosystems. Nature 307:321–326.

20. Rounsevell, M.; Evans, S.; Bullock, P. Climate change and agricultural soils: impacts and adaptation. Clim. Chang. 1999, 43, 683–709.
21. Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C., and Walker, B. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. Nature 413:591–596.
22. Senjobi, B.A., and Ogunkunle, A.O. 2011. Effect of different land use types and their implications on land degradation and productivity in Ogun State, Nigeria. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development, 3(1), 7-18.7
23. Smith, C., Jayathunga, S., Gregorini, P., Pereira, F.C., and McWilliam, W. 2022Using soil sustainability and resilience concepts to support future land management practice: a case study of Mt Grand Station, Hawea, New Zealand. Sustainability, 14, 1808.
24. Varallyay, G. 2010. The impact of climate change on soils and on their water management. Agron. Res., 8, 385–396.
25. Zuni A., and Jaiyeoba, I.A. 2015. An assessment of soil degradation in Zaria Area, Kaduna State, Nigeria. Ife Research Publications in Geography, 13, 26 –36.

The necessity of assessing soil resilience

Mohsen Parvizi[1], Zeinab Hazbavi[2]

1. Teacher of Education Department of Ardabil Province, Ardabil, Iran.
2. Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. z.hazbavi@uma.ac.ir

Abstract
Soil acts as an integrator of active processes in biological and hydrological landscapes and responds to external disturbances and processes at different time scales. Despite the importance of soil resilience, it has been neglected in domestic research. Accordingly, the present article explains the necessity of assessing soil resilience and the feasibility of restoring soil strength and stability through improving resilience indicators from a new perspective. Soil resilience is “the capacity of soil to recover its functional and structural integrity after a disturbance; this integrity can be considered as the capacity of soil to perform basic soil functions.” Resilience is a comprehensive meta-function of the soil, derived from all its individual properties, in interaction with ongoing processes driven by biological interfaces. Resilience is a product of the past and present as well as a vision of the future of the soil system. As such, it reflects all important levels for assessing the state of the soil and also provides possible recommendations for improving comprehensive soil management in the future by assessing the inherent adaptive potential.
Keywords: Soil degradation threshold, Reversibility, Resilience, Soil resistance, Tipping point