دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

مبانی تخریب خاک و ابزار سنجش آن

۱-۱ مقدمه

خاک یک جسم سه بعدی است که لایه فوقانی پوسته زمین را تشکیل می دهد. این لایه از تمام حیات موجود بر روی زمین پشتیبانی می کند، آب را تصفیه و تمیز می کند، آلاینده ها را از بین می برد و تبادل گازی بین اکوسیستم های آبی-خاکی و جو را تعدیل میکند. خاک اساسی ترین منبع طبیعی و واسطه اصلی تولید مواد غذایی است. علاوه بر منبع مواد خام صنعتی و پایه و اساس سازه های مدنی، همچنین آرشیوی از تاریخ سیارات و مخزن بزرگی از تنوع ژنی و بانک بذر است. اصطلاح منبع خاک به عنوان دارایی ها و خواص سودمند در رابطه با کاربردی که خاک برای آن در نظر گرفته شده تعریف می شود.

مدیریت پایدار خاک بستگی به درک کاملی از ویژگی های آن، فرآیندهای تقویت کننده و تخریب کننده کارکردهای مهم آن در زیستبوم و همچنین تحولاتی است که از طریق تعامل آن با محیط رخ می دهد. ویژگی های مهم خاک شامل موارد زیر است:

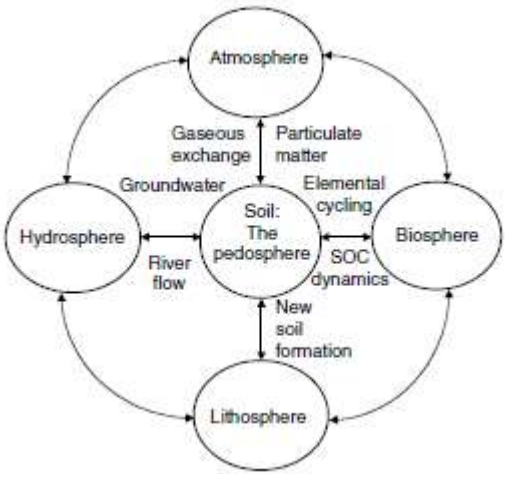
- در مقیاس زمانی عمر انسان از چند دهه تا چند قرن قابل تجدید نیست.
- به طور نابرابری در چشم انداز ها و بین بیوم/ مناطق محلی توزیع شده است.
- نسبت به سو استفاده و سو مدیریت حساس است.

اصطلاح حساس Susceptible زمانی که برای خاک استفاده می شود، به معنی احتمال ایجاد تغییرات نامطلوب در خصوصیات و فرآیندهای خاک است که منجر به کاهش توانایی خاک برای انجام عملکردهای اکوسیستم می شود. پیامدهای این تغییرات نامطلوب در خاک در مجموع تخریب خاک Soil Degradation نامیده می شود. بنابراین، تخریب خاک به معنی تغییرات نامطلوب در خ صو صیات و فرآیندهای آن در طول

Shahid Chamran University

زمان بوده که نتیجه آن کاهش اختلال یا ضعف در یک یا چند کارکرد خاک است. به عبارت دیگر، کاهش کیفیت خاک را تخریب گویند. این تغییرات نامطلوب از طریق ایجاد اختلال در تعادل پویای خاک با محیط (شکل ۱)، توسط عوام طبیعی یا انسانی (انسان) رخ می‌دهند.

خاک در حالت طبیعی با محیط خود در یک تعادل پویا قرار دارد. این ماده به شدت با بیوسفر (زیست کره) تعامل دارد و مملو از میکرو و ماکرولایف (جانداران ریز و درشت) است. فعالیتهای زیستی خصوصیات خاک را تغییر می دهند، و خواص خاک نیز به نوبه خود از شکل(های) حیات سازگار با این تغییرات ایجاد شده پشتیبانی می کند. بدون وجود بخش زنده، خاک از انجام بسیاری از خدمات اکوسیستم باز می ماند. ویژگی های مهمی که از طریق تعامل با زیست کره بوجود می آیند شامل ذخیره کربن آلی خاک (SOC) و پویایی آن، چرخه عناصر غذایی (به عنوان مثال C، N، P) ، مصرف اکسیژن (O2) و تولید گازهای گلخانه ای (GHG) از جمله کربن دی اکسید (CO2) ، متان (CH4) و اکسید نیتروژن (N2O) است.



شکل 1- تعادل پویای خاک با محیط اطراف

تعامل خاک با جو منجر به تبادل گازی می شود. جو خاک حاوی غلظت های بیشتری از چندین گاز کمیاب و گازهای گلخانه ای مانند CO2 و N2O نسبت به جو است. در اکوسیستم های طبیعی (مانند پوشش گیاهی طبیعی، شرایط زهکشی شده و غیره) ، خاک مصرف کننده CH4 است و آن را به CO2 و H2O اکسید می کند. با این وجود تحت اکوسیستم های مدیریت شده (تک کشتی، شرایط کم زهکشی شده)، خاک می تواند تولید کننده CH4 باشد.

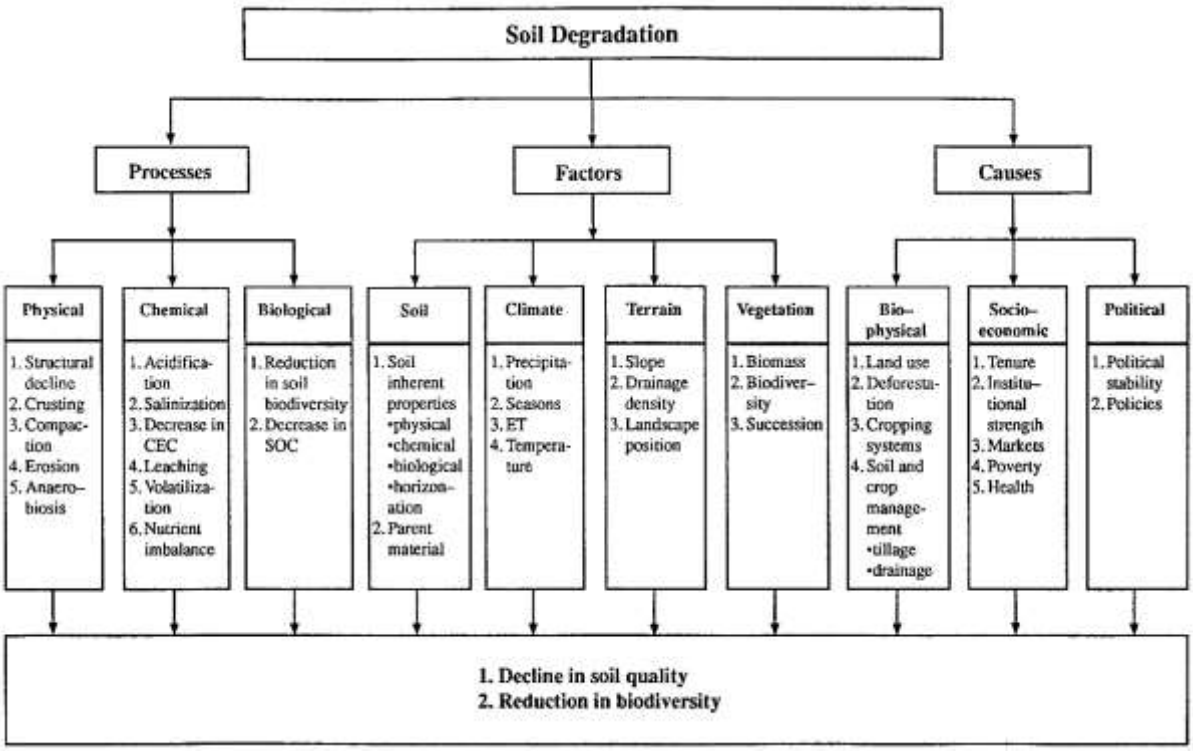
تعامل خاک با هیدروسفر بر کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی کم عمق، سفره های زیرزمینی عمیق، چشمه ها و جریان رودخانه تأثیر می گذارد. خاک مخزن اصلی آب شیرین است که تمام زندگی گیاهان به آن بستگی دارد.

تغییرات لیتوسفر با گذشت زمان منجر به تشکیل خاک جدید و فرسایش زمین شناسی شده که دشت های آبرفتی و رسوبات لسی را بوجود می آورند که جزء حاصلخیزترین خاکها محسوب می شوند.

در حالت طبیعی، خاک قادر است خود را با تغییراتی که در مقیاس زمانی زمین شناسی در محیط رخ می‌دهد سازگار کند. اختلالات طبیعی (به عنوان مثال، تغییر در پوشش گیاهی، یخبندان، تغییر آب و هوا)

اغلب کند بوده، و به خاک فرصت دارد تا شرایط جدید را تنظیم کند و سازگار شود. برخی از اختلالات طبیعی با تغییرات شدید و سریع (به عنوان مثال، فعالیت‌های تکتونیکی، فوران آتشفشان) همراهند. اما در مقابل تغییرات سریع ناشی از دخالت ها و اختلالات انسانی این توانایی را ندارد. فعالیت های انسانی خیلی سریع تعادل حساس و ظریف بین خاک و محیط آن را بر هم می زند و منجر به تغییرات شدیدی در خصوصیات و فرآیندهای خاک می شود. این نوع تخریب یکی از نگرانی های مهم عصر مدرن است.

دلایل تخریب (Causes)، عوامل موثر بر نوع و شدت تخریب (Factors) و فرایندهای تخرب خاک (Process) به طور خلاصه در شکل زیر نشان داده شده است که در ادامه تشریح شده اند.



جدول 1- انواع تخریب خاک

Type	Degradation Process
Physical	Breakdown of soil structure
	Crusting and surface sealing
	Compaction, surface, and subsoil
	Reduction in water infiltration capacity
	Increase in runoff rate and amount
	Inundation, waterlogging, and anaerobiosis
	Accelerated erosion by water and wind
	Desertification
Chemical	Leaching of bases
	Acidification
	Elemental imbalance with excess of Al, Mn, Fe
	Salinization, alkalinization
	Nutrient depletion
	Contamination, pollution
Biological	Depletion of the soil organic carbon pool
	Decline in soil biodiversity
	Increase in soil-borne pathogens

انواع تخریب خاک

به طور کلی سه نوع فرآیند تخریب خاک - فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی- وجود دارد که در جدول ۱ نشان داده شده است (لال و همکاران ، ۱۹۸۹).

۱-۲-۱ تخریب فیزیکی خاک

تخریب فیزیکی شـــامل اخلال در روابط حجمی-وزنی توده خاک، رابطه هوا با آب، تبادل گازی بین خاک و جو و مقاومت در برابر نیروهای تخریب کننده بادی و آبی اســـت. فرایندهای مخرب فیزیک خاک بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی، رئولوژیکی (جریان) و هیدرولوژیکی خاک تأثیر می‌گذارند. فرآیندهای اصلی تخریب کننده فیزیکی به شرح زیر است:

تخریب ساختمان خاک - کاهش نسبت و مقاومت/پایداری خاکدانه ها

پراکنش (*Slaking*) – منهدم شدم خاکدانه ها هنگام غوطه وری سریع در آب

پوسته ای شدن *Crusting* یا سله بستن سطحی *surface scaling* – تشکیل پوسته نازک در سطح خاک با مقاومت بالا و نفوذ پذیری کم به آب و هوا

تراکم *Densification* – افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک منجر به کاهش تخلخل کل و تخلخل درشت خاک می شود.

بی هوازی *Anaerobiosis* – کاهش تخلخل تهویه ای کمتر از ۱۰٪ حجمی که منجر می شود به کمبود اکسیژن (O2) برای ریشه گیاهان

فرسایش *Erosion* – جدا شدن، پراکنش، انتقال و توزیع مجدد ذرات خاک توسط نیروهای آب (باران ، جریان غلیظ ، جریان ، یخچال های طبیعی) ، باد یا گرانش. فرسایش آب ممکن است به شکل فرسایش ورقه ای، فرسایش شیاری، فرسایش توسط جریانه ای متمرکز یا تغییر شکل زمین در اثر فرسایش شدید خندقی باشد.

بیابان زایی *Desertification* – تخریب خاک (توسط فرسایش تشدیدی آب، باد و سایر فرایندها) در مناطق خشک و نیمه خشک منجر به پیشروی شرایط کویر-مانند می شود

۱-۲-۲ تخریب شیمیایی خاک

تخریب شـــیمیایی به تغییرات نامطلوب در واکنش خاک یا pH، کاهش ذخایر و قابلیت جذب مواد مغذی گیاه، توانایی غیرفعال سازی ترکیبات سمی و کاهش تجمع بیش از حد نمک در منطقه ریشه اشاره دارد. فرآیندهای شیمیایی اصلی به شرح زیر است:

اسیدی شدن *Acidification* – کاهش pH خاک ناشی از شسته شدن بازها یا افزودن کودهای تولید کننده اسید

Shahid Chamran University

تخلیه مواد مغذی *Nutrient depletion* – حذف مواد مغذی ضروری گیاه (به عنوان مثال ، N، P، K، Ca، Mg ، Zn) با برداشت گیاهان یا شستشوی بیش از حد بدون جایگزین کردن آنها از طریق بهبود دهنده های غیر آلی یا آلی

مسمومیت *Toxification* – تجمع بیش از حد برخی از عناصر (به عنوان مثال ، Al، Mn، Fe) تا حدی که برای گیاهان سمی باشد.

شور شدن *Salinization* – تجمع بیش از حد نمک های محلول در منطقه ریشه به گونه ای که هدایت الکتریکی پایه اشباع بیش از ۴ ds / cm باشد

قلیایی (سدیمی) شدن *Alkalinization* – غلظت نمک های سدیم (یون Na) در منطقه ریشه منجر به افزایش نسبت جذب سدیم 15 (SAR) و PH خاک> ۸,۵ می شود

آلودگی های شیمیایی *Pollution/contamination* – اضافه شدن زباله های صنعتی ، معدنی و آلاینده های شهری به خاک

۱-۲-۳ تخریب بیولوژیکی خاک

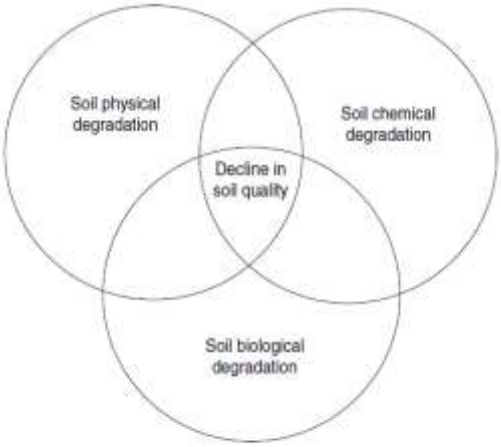
هرگونه تغییرات نامطلوب در فرآیندهای بیولوژیکی خاک که بر کمیت و کیفیت فعالیت SOC ذخیره شده و تنوع گونه ای زیست کره خاک تأثیر بگذارد و عوامل بیماری زای خاک را افزایش دهد، تخریب زیستی در نظر گرفته می‌شود. مهمترین فرایندهای تخریب زیستی خاک عبارتند از:

تخلیه کربن آلی خاک *Soil organic carbon depletion* – کاهش کربن کل و کربن زیست توده میکروبی، تغییر در نرخ بازگشت ذخیره SOC

کاهش تنوع زیستی خاک *Decline in soil biodiversity* – کاهش فعالیت و تنوع گونه ای ارگانیسم های مطلوب (به عنوان مثال، کرم های خاکی) و تغییر در ترکیب گونه ها

Shahid Chamran University

فرآیندهای تخریب فیزیکی، شـیمیایی و بیولوژیکی خاک با یکدیگر در ارتباط هستند و میتوانند اثرات سوء یکدیگر بر تولید زیسـت توده و محیط زیسـت را تشـدید کنند (شـکل ۲). تخریب خاک علاوه بر کاهش محصـولات زراعی، مرتع و بهره‌وری جنگل، می تواند باعث افزایش آلودگی منابع آب و کاهش کیفیت هوا شود.



شکل۲- اثرات متقابل بین فرایندهای تخریب خاک منجر به کاهش کیفیت خاک میشود.

۱-۳ عوامل موثر بر تخریب خاک

عوامل تاثیرگذار بر تخریب خاک شـامل محیط های بیوفیزیکی اسـت که نوع (به عنوان مثال، فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی) و شدت فرایندهای تخریب را تعیین می‌کنند (جدول ۲ ؛ لال ، ۱۹۹۷). عوامل موثر بر تخریب خاک با عوامل خاکسازی تقریبا یکی هستند (ینی ، ۱۹۴۱) (معادله ۱):

$$S_d = f(S, C, T, V, M)_t$$

که S_d تخریب خاک، S خصوصیات خاک، C پارامترهای آب و هوایی است، T پارامترهای زمینی، V پوشش گیاهی، M مدیریت و t زمان است. از عوامل مهم تخریب خاک می توان به موارد زیر اشاره کرد:

خصوصیات خاک: خصوصیات ذاتی خاک که بر نوع تخریب خاک تأثیر می گذارند. این خصوصیات شامل بافت، کانی های رسی، ساختمان، نوع افق سازی و غیره می باشند. ماهیت مواد مادری (نوع سنگ) عامل مهمی در تخریب خاک است.

جدول ۲- عوامل تخریب خاک

Factor	Degradation Process
Soil	Erosion, compaction, crusting, anaerobiosis, nutrient depletion
Parent material	Salinization, alkalinization, nutrient reserve and availability, hard-setting
Climate	Desertification, acidification, leaching, SOC depletion, toxification
Terrain	Anaerobiosis, erosion, SOC depletion, nutrient imbalance
Vegetation	Type and quality of biomass returned to soil, soil biodiversity, nutrient cycling, water and energy balance

آب و هوا: پارامترهای مهم آب و هوایی که بر نوع تخریب خاک تأثیر می گذارد، بارندگی، دما، فصلی بودن و تبخیر و تعرق است. جهت و سرعت باد بر سرعت و شدت فرسایش باد تأثیر می گذارد، همانطور که میزان بارندگی و شدت آن میزان فرسایش آب را تعیین می کند. آبشویی و اسیدی شدن به میزان بارندگی بستگی دارد.

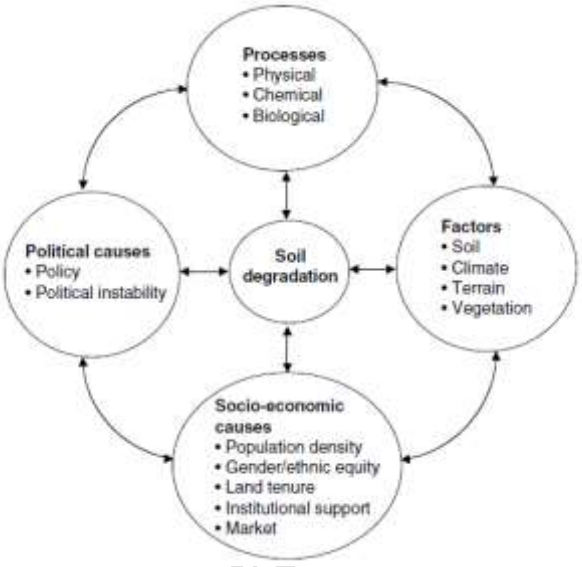
Shahid Chamran University

زمین: پارامترهای مهم زمین که بر نوع تخریب خاک تأثیر می گذارد شامل تندی شیب و طول شیب است. جهت شیب (رو به شمال یا جنوب) دمای خاک، پو شش گیاهی، هوازدگی و رژیم آب و خاک را تعیین می کند. شکل شیب (به عنوان مثال، منظم، محدب، مقعر یا پیچیده) بر میزان فرسایش و رسوب تأثیر می گذارد. زمین همچنین بر تراکم زهکشی و خصوصیات هیدرولوژیکی تأثیر می گذارد.

پوشش گیاهی: پارامترهای مهم پوشش گیاهی که بر نوع تخریب خاک تأثیر می گذارد، شامل درصد پوشش زمین و ارتفاع تاج پو شش که بر فر سایش خاک تاثیر دارند و ترکیب و توارث گونه ها که بر چرخه عنا صر و پویایی SOC و خرداقلیم تأثیر می گذارند.

۱-۴ علل تخریب خاک

تخریب خاک در اصل یک فرایند بیوفیزیکی محسوب می شود اما، علل اقتصادی- اجتماعی و سیاسی میتواند آن را تشدید کند (شکل ۳ ؛ لال ، ۱۹۹۷). در حالی که نوع تخریب خاک تحت تأثیر عوامل و فرایندهای تخریب خاک قرار دارد، میزان و شدت فرایندهای تخریب توسط علل تخریب خاک تعیین می شود. تخریب خاک ممکن ا ست برای انواعی از فرآیندها اختصاصی باشند (جدول ۳).



شکل۳- تعامل بین عوامل، دلایل و فرایندهای تخریب خاک

علل بیوفیزیکی شامل کاربری و مدیریت زمین، جنگل زدایی، آتش زدن زیست توده، زهکشی و آبیاری، سیستم های زراعی/ کشت، استفاده از کود، روش های خاکورزی، شدت چرای دام، روش های قطع درخت، توسعه شهری، و استخراج است. اینها باعث تراکم، فرسایش، رواناب آب، بی هوازی، کاهش مواد مغذی، کاهش ذخیره SOC و غیره می شوند.

علل اقتصادی-اجتماعی شامل پارامترهای جمعیت شناختی (مانند تراکم جمعیت، تحصیلات، برابری جنسیتی/قومی)، تصرف در زمین، حمایت نهادی و دسترسی به بازار است.

علل سیاسی شامل بی ثباتی سیاسی که دلیل مهمی در تخریب خاک است. در مقابل، مشوق‌های سیاستی قرار دارند که باعث افزایش سرمایه گذاری در خاک می شوند، و میزان و سرعت تخریب خاک را کاهش می دهند.

Table 1.3 Causes of Soil Degradation

Type	Causes
Physical	Deforestation
	Biomass burning
	Denudation
	Tillage up and down the slope
	Excessive animal, human, and vehicular traffic
	Uncontrolled grazing
	Monoculture
Chemical	Excessive irrigation with poor quality water
	Lack of adequate drainage
	No, little, or excessive use of inorganic fertilizers
	Land application of industrial/urban wastes
Biological	Removal and/or burning of residues
	No or little use of biosolids (e.g., manure, mulch)
	Monoculture without growing cover crops in the rotation cycle
	Excessive tillage

Shahid Chamran University

ارزیابی نوع و شدت تخریب

میزان تخریب خاک تحت یک تنش اکولوژیکی خاص مانند میزان فرسایش خاک، کاهش SOC، تغییر در خصوصیات شیمیایی و غذایی خاک، تراکم و غیره توسط مفهوم کیفیت خاک مورد ارزیابی قرار میگیرد. همانطور که در معادله زیر نشان داده شده است، تخریب خاک از طریق میزان تغییر در کیفیت خاک نسبت به زمان قابل محا سبه ا ست. مقدار منفی معادله بیانگر تخریب خاک و مقدار مثبت نشان دهنده بهبود خاک است.

$$Sr = \frac{SQ}{dt}$$

که در آن Sq کیفیت خاک و t زمان است. انتخاب مقیاس زمانی بسیار مهم است و به عوامل مختلفی بستگی دارد (Lal 1994a).

تعریف کیفیت خاک

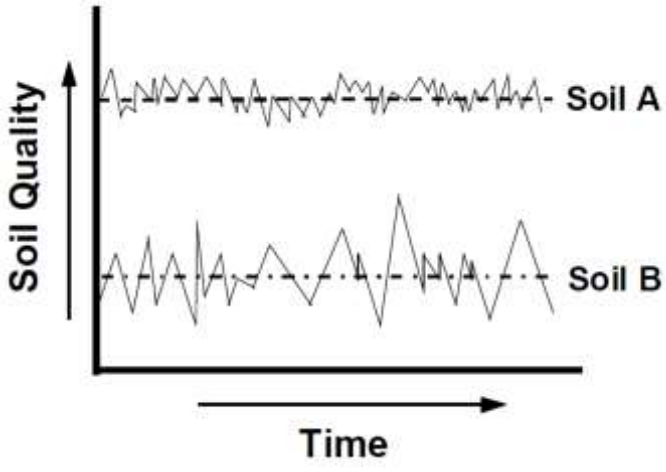
تعاریف اولیه کیفیت خاک بیشتر به بحث حاصلخیزی و قابلیت تولیدی خاک مربوط می‌شد، اما در تعاریف جدید مباحث پایداری، کیفیت محیط زیست، تغییرات جهانی آب و هوا و حاصلخیزی خاک در آن گجانده شده است. در ادامه به برخی از این تعریفات کیفیت خاک اشاره می‌گردد:

دوران و پارکین(۱۹۹۴)، بر پایه اهداف کشاورزی پایدار و حفظ سلامت محیط زیست، کیفیت خاک را چنین تعریف می‌کند: "توانایی دایم خاک به عنوان یک سامانه حیاتی زنده در داخل زیست‌بوم و تحت بهره‌برداری‌های متفاوت به ترتیبی که علاوه بر حفظ توان تولید زیستی، بتواند کیفیت آب و هوا را بهبود بخشد و همچنین تأمین کننده سلامت انسان، گیاه و حیوان باشد".

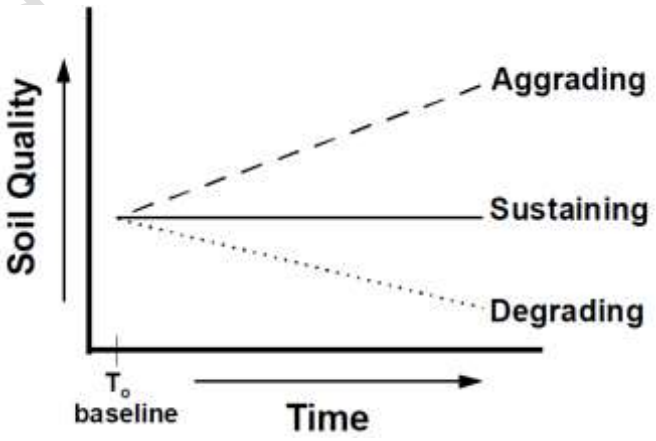
به گفته لارسون و پیرس (۱۹۹۱)، توابع و رفتارهایی که کیفیت خاک را مشخص می‌سازند عبارتند از توانایی خاک در؛ ۱) پذیرش، نگهداری و آزادسازی عناصر غذایی و سایر ترکیبات شیمیایی، ۲) پذیرش، نگهداری و آزادسازی آب مورد نیاز گیاهان، کاهش رواناب سطحی و تقویت آب زیرزمینی، ۳) تقویت و حفظ رشد ریشه، ۴) حفظ زیستگاه موجودات زنده خاک، و ۵) واکنش به عملیات مدیریتی و مقاومت در مقابل تخریب خاک. حفظ یا بهبود کیفیت خاک می‌تواند باعث ایجاد استمرار در باروری خاک، افزایش کارآیی عناصر غذایی و آفت‌کش‌ها، بهبود کیفیت آب و هوا و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود (بخش بررسی اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی ایالات متحده، ۱۹۹۷)

Shahid Chamran University

کیفیت خاک را می توان از دو بُعد مورد مطالعه قرار داد. یکی کیفیت ذاتی خاک و دیگری کیفیت پویای خاک (کارلن و همکاران، ۱۹۹۷). بعد ذاتی کیفیت خاک تحت تاثیر عوامل خاک‌سازی که به‌وسیله ینی معرفی شده‌اند قرار می‌گیرند. این عوامل شامل اقلیم، مواد مادری، زمان، پستی و بلندی و پوشش گیاهی می‌باشند (شکل ۱-۳). بعد پویای خاک، خصوصیاتی از خاک است، که بسته به نوع مدیریت تغییر می‌کنند و بیانگر وضعیت سلامت خاک soil health می باشد (شکل ۱-۴). فرآیندهای طبیعی مانند فرسایش و خشک‌سالی و بعد پویای خاک که تحت تاثیر مدیریت‌های انسانی هستند، می‌توانند کیفیت ذاتی خاک را تغییر دهند. همچنین فعالیت‌های انسانی می‌تواند به فرآیندهای خاک سرعت بخشیده و کیفیت خاک را کاهش و یا افزایش دهد. هر دو بخش کیفیت ذاتی و پویای خاک در تعیین کیفیت خاک بسیار مهم می‌باشند.



شکل ۱-۳- مفهوم کیفیت ذاتی خاک برای دو خاک مختلف (کارلن و همکاران، ۲۰۰۱)



شکل ۱-۴- مفهوم کیفیت پویایی خاک (کارلن و همکاران، ۲۰۰۱)

مفهوم کیفیت ذاتی خاک با استفاده از شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی متنوع که برخی از ویژگی‌های ذاتی (همانند pH، جرم مخصوص ظاهری و میزان مواد آلی) را در بر می‌گیرد و در تشریح پروفیل خاک به دست می‌آید، قابل اندازه‌گیری است.

۱-۵- ارزیابی کیفیت خاک

به خاطر اهمیت کیفیت خاک، ارزیابی کمی آن برای تعیین پایداری سیستم‌های مدیریت اراضی و کمک به سازمان‌های دولتی برای ایجاد کشاورزی پایدار و کاربری صحیح اراضی، ضروری است (دوران و پارکین، ۱۹۹۴). کیفیت خاک به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست و باید از شاخص‌های کیفیت خاک استنتاج شود. از دهه ۱۹۵۰ ویژگی‌ها یا رفتارهای مختلف خاک به عنوان شاخص‌های کیفی مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص-های کیفیت خاک ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری خاک هستند که ظرفیت خاک برای تولید محصول یا عملکرد زیست محیطی را تحت تاثیر قرار می‌دهند و به تغییر کاربری اراضی، مدیریت یا عملیات حفاظتی حساس می‌باشند (بریجا و همکاران، ۲۰۰۰).

ارزیابی شاخص کیفیت خاک از طریق تعریف اهداف مدیریتی (به عنوان نمونه باروری خاک، بازیابی مواد زائد و آلاینده‌ها و حفاظت محیط زیست) که مرتبط با کارکردهای بحرانی خاک است، انجام می‌گردد. از آنجایی که کارکردهای خاک به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند، پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی مناسب که به عنوان شاخص کیفیت خاک نامگذاری می‌شوند، برای اندازه‌گیری غیرمستقیم چگونگی کارایی هر کارکرد انتخاب می‌شوند. حساسیت نسبت به تغییرات رخ داده در کارکرد مورد بحث، اصلی‌ترین شرط برای یک ویژگی از خاک است که به عنوان شاخص کیفیت خاک انتخاب گردد. همبستگی مثبت با خدمات زیست بوم، سهولت سنجش، حساس بودن به اقدامات مدیریتی و وجود داشتن در پایگاه‌های داده‌ای تا حد امکان از سایر ویژگی-های مناسب برای شاخص کیفیت خاک می‌باشد (آرمنیز و همکاران، ۲۰۱۳). لازم به ذکر است که کارکردهای مهم خاک شامل نگهداری و انتقال آب و املاح، پایداری و مقاومت فیزیکی، چرخه عناصر غذایی، تصفیه مواد با قابلیت سمی بودن و حمایت از زیست پراکندگی و رستنگاه‌ها می‌باشد و یک شاخص کیفیت خاک نمی‌تواند تمام کارکردهای ذکر شده را پوشش دهد (آرمنیز و همکاران، ۲۰۱۳). در ضمن با تغییر محیط، عملکرد مورد انتظار از خاک نیز تغییر می‌کند و از این رو هیچ روشی برای مشخص کردن کیفیت خاک بر مبنای یک مجموعه فراگیر از شاخص‌ها وجود ندارد (لیما و همکاران، ۲۰۱۳).

Shahid Chamran University

تا به حال روش‌های متنوعی برای جمع‌آوری داده‌ها، اندازه‌گیری و ارزیابی کیفیت خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از روش‌های عمدتا کیفی تا کاملا کمی شامل کارت‌های نمره‌دهی[1]، ارزیابی بصری خاک[2]، کیت‌های مزرعه‌ای[3]، آمایش خاک[4] و آنالیزهای آزمایشگاهی در تعیین کیفیت خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند (بون و همکاران، ۲۰۱۲).

۱-۶- ارزیابی کمی کیفیت خاک

۱-۶-۱- دسته داده‌های حداقل

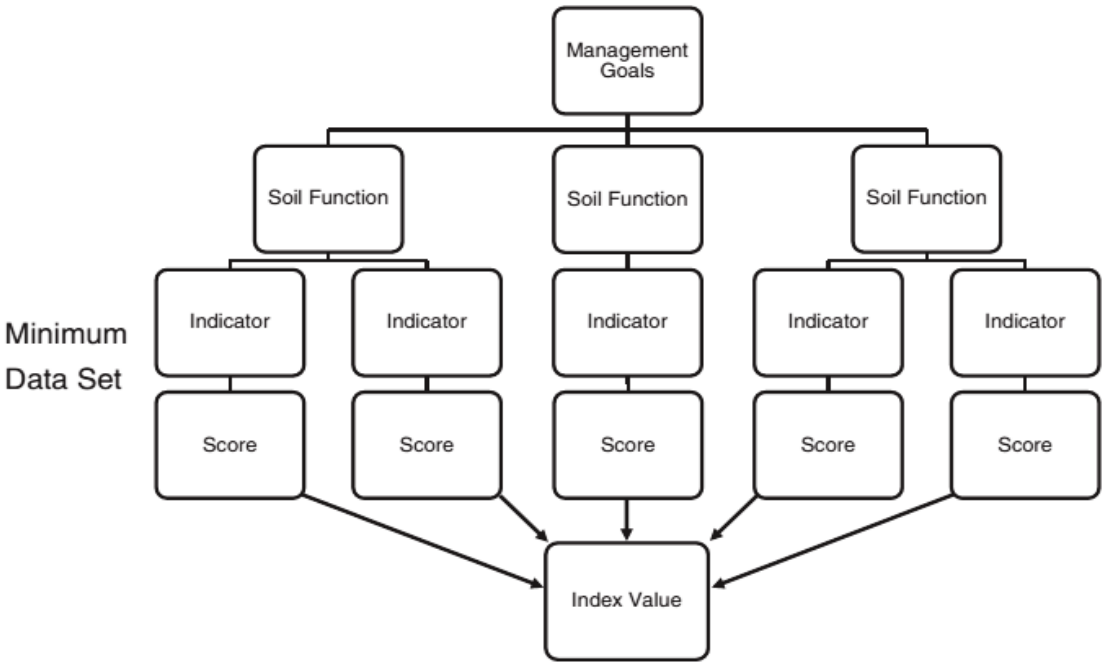
از آن جائی که اندازه‌گیری تمام خصوصیات خاک برای ارزیابی کیفیت خاک مقرون به صرفه و مقدور نیست، همچنین اندازه‌گیری بسیاری از خصوصیات مشکل بوده و یا دارای همبستگی زیادی با یکدیگر می‌باشند، برخی از خصوصیات باید انتخاب و دسته داده‌های حداقل [5] مورد نیاز ایجاد گردد (علی‌محمدی، ۱۳۸۸). شاخص کیفیت خاک می‌تواند به صورت حداقل مجموعه پارامترها تعریف گردد که وقتی باهم ادغام می‌گردند، یک داده عددی را ارائه می‌دهند که ظرفیت یک خاک را برای انجام یک یا چند کارکرد نشان می‌دهد (باستیدا و همکاران، ۲۰۰۸). لارسون و پیرس، (۱۹۹۴) برای انتخاب حداقل مجموعه‌ی داده‌ها جهت اندازه‌گیری کیفیت خاک و تغییرات آن به دلیل اقدامات مدیریتی، نمایه‌های کلیدی مانند بافت خاک، ماده‌ی آلی، واکنش خاک، وضعیت موادغذایی، جرم‌مخصوص‌ظاهری، هدایت‌الکتریکی و عمق ریشه‌زایی را پیشنهاد نمودند. جمع-آوری دسته داده‌های حداقل به شناسایی نمایه‌های مناسب خاک و ارزیابی ارتباط بین نمایه‌های انتخاب شده و خصوصیات مهم خاک و گیاه کمک می‌کند (ارشد و مارتین، ۲۰۰۲).

یکی از مسائل مهم برای تعیین کیفیت خاک، انتخاب شاخص‌ها است. شاخص‌هایی که برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده می‌شوند در سامانه‌های کشت، انواع خاک‌ها و کاربری‌های اراضی متفاوت هستند. ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی یا ترکیبی از آنها می‌باشند. بعضی از پژوهشگران مجموعه‌های مختلفی از ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک را برای تعیین شاخص کیفیت خاک پیشنهاد و شاخص کیفیت خاک را بر اساس مجموعه‌ی ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک[6] تعیین کرده‌اند (دوران و پارکین، ۱۹۴۰؛ راینولدس و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین برخی دیگر از پژوهشگران، تعداد کمتری از ویژگی‌هایی خاک که نماینده بهتری از کیفیت خاک هستند، را به عنوان دسته ویژگی‌های حداقل موثر بر

[1] -scorecards
[2] visual soil assessments
[3] -field kits
[4] -soil surveys
[5] - Minimum Data Set (MDS)
[6] - Total Data Set (TDS)

Shahid Chamran University

کیفیت خاک[7] معرفی کرده‌اند (گوارتس[8] و همکاران، ۲۰۰۶؛ آندروز و همکاران، ۲۰۰۲a؛ آندروز و همکاران، ۲۰۰۲ b) انتخاب این ویژگی‌ها بر حسب بیشترین همبستگی با شاخص کلی کیفیت خاک و سهولت اندازه-گیری آنها، صورت گرفته است. استفاده از دسته داده‌های حداقل موجب کاهش تعداد ویژگی‌های مورد نظر و سهولت و کاهش هزینه تعیین شاخص کیفیت خاک می‌شود.



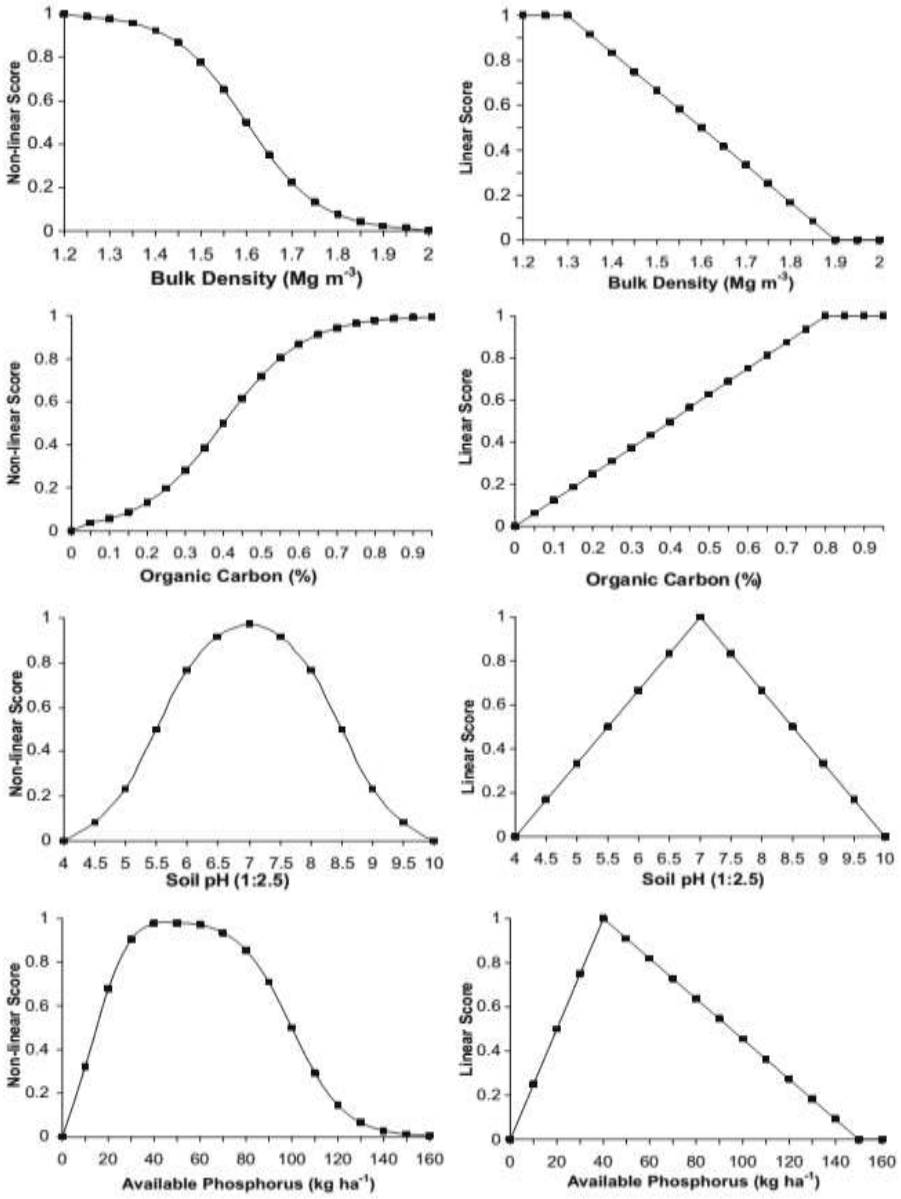
شکل ۱-۸- مراحل انتخاب حداقل مجموعه داده‌ها، استاندارد سازی و انتخاب شاخص

۱-۶-۲- رتبه‌بندی و استانداردسازی داده‌ها

پس از انتخاب دسته داده‌های حداقل، در این مرحله تبدیلاتی در خصوصیات اندازه‌گیری شده، صورت می‌گیرد و به داده‌هایی که قابل ترکیب هستند، تبدیل می‌شوند. زیرا خصوصیات مورد اندازه‌گیری دارای واحدها و مقیاس‌های متفاوتی بوده و قابل جمع یا ضرب نمودن نیستند. رتبه‌دهی یا استانداردسازی داده‌ها به صورتی که به داده‌های بین صفر و یک تبدیل شوند و ترکیب آنها به صورت شاخص کیفیت خاک می‌تواند به روش‌های مختلفی انجام گردد. روش رتبه‌دهی خطی[9] و رتبه‌دهی غیر خطی[10] از معمولی‌ترین روشهای رتبه‌دهی است که بیشتر از روش رتبه‌دهی غیر خطی استفاده می‌شود به طوری که آندروز و همکاران (۲۰۰۲) این دو روش رتبه‌دهی را مقایسه نمودند و دریافتند که روش رتبه‌دهی غیر خطی بهتر از روش رتبه‌دهی خطی، بیانگر عملکرد و وظایف خاک است. البته قبل از بررسی روش‌های رتبه‌دهی، لازم است توضیح داده شود که

[7] - Minimum Data Set (MDS)
[8] - Govaerts
[9] - linear scoring functions (LSF)
[10] - non-linear scoring functions (NLSF

پارامترهای مختلف خاک از سه تابع زیر پیروی می‌کنند و بر اساس اینکه پارامتر مورد بررسی با کدام تابع مطابقت دارد، شکل نمودار آن در دو روش رتبه‌دهی متفاوت خواهد بود (شکل ۱-۹) و به طور کلی در نمودار این روش‌های رتبه‌دهی، محور Y بین صفر تا یک رتبه‌بندی شده و محور X مقدار خصوصیات مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۹- روش‌های رتبه‌دهی به روش خطی (سمت چپ) و غیر خطی (سمت راست) برای سه تابع (ماستو و همکاران، ۲۰۰۸).

۱-۶-۲-۱- تابع هر چه بیشتر بهتر[11]

[11] -More is better

این تابع برای خصوصیاتی از خاک به کار می‌رود که افزایش آن موجب بهبود کیفیت خاک شود. نمونه بارز آن کربن آلی است که هر چه بیشتر باشد، تاثیر مثبتی بر کیفیت خاک می‌گذارد بنابراین بیشترین نمره را به خود اختصاص می‌دهد.

معادله توابع امتیازدهی استاندارد برای توابع "بیشتر بهتر"، عبارت است از:

$$f(x)=\begin{cases}0.1 & x<L\\ 0.9\dfrac{x-L}{U-L}+0.1 & L\le x\le U\\ 1 & x>U\end{cases}$$

که در آن f(x) امتیاز مشخصه مورد بررسی است که بین ۰/۱ تا ۱ تغییر می‌کند، x مقدار مشاهده‌ای مشخصه، L حد آستانه پایین و U حد آستانه بالا است.

۱-۶-۲-۲- تابع هر چه کمتر بهتر[12]

تابعی است که هر چه مقدار ویژگی مورد بررسی افزایش یابد، امتیاز آن کاهش می‌یابد. نمونه بارز آن جرم مخصوص ظاهری است که هر چه بیشتر باشد، تاثیر منفی بر کیفیت خاک می‌گذارد بنابراین کمترین نمره را به خود اختصاص می‌دهد.

معادله توابع امتیازدهی استاندارد برای توابع "کمتر بهتر" عبارت است از:

$$f(x)=\begin{cases}1 & x<L\\ 1-0.9\dfrac{x-L}{U-L} & L\le x\le U\\ 0.1 & x>U\end{cases}$$

۱-۶-۲-۳- تابع سطح بهینه[13]

این تابع در مورد خواصی از خاک استفاده می‌شود که افزایش یا کاهش آنها تا حد معینی باعث بهبود کیفیت خاک می‌گردد و افزایش یا کاهش آنها بیش از حد بهینه، موجب کاهش کیفیت خاک می‌شود در نتیجه امتیاز آن شاخص نیز کمتر می‌شود. نمونه بارز آن pH خاک است.

معادله توابع امتیازدهی استاندارد برای توابع "دامنه بهینه" عبارت است از:

Shahid Chamran University

[12] -Less is better
[13] - Optimum

$$f(x)=\begin{cases}0.1 & x<L_1 \; or \; x>U_2\\ 0.9\dfrac{x-L_1}{L_2-L_1}+0.1 & L_1\le x\le L_2\\ 1 & L_2\le x\le U_1\\ 0.9\dfrac{x-U_1}{U_2-U_1}+0.1 & U_1\le x\le U_2\end{cases}$$

از آنجایی که اطلاعاتی از حد آستانه بالا و پایین در منطقه مورد مطالعه مختلف کشورمان وجود ندارد، لذا حداقل و حداکثر مقدار مشاهده‌ای متغیر در منطقه به ترتیب به عنوان حد آستانه پایین و بالا در نظر گرفته می‌شوند. حد آستانه بالا مقداری از متغیر می‌باشد که مقادیر بیشتر از آن، تأثیری روی کیفیت خاک ندارد. حد آستانه پایین نیز مقداری از متغیر می‌باشد که مقادیر کمتر از آن، تأثیری روی کیفیت خاک ندارد.

در روش غیر خطی برای رتبه‌دهی به پارامتر مورد بررسی، از رابطه زیر نیز استفاده می‌شود.

$$\mathrm{NLSF\ (Y)} = 1/\left[1+\mathrm{e}^{-\mathrm{b(x-A)}}\right]$$

در این معادله X مقدار اندازه‌گیری شده پارامتر مورد بررسی، Y رتبه غیر خطی حاصله، A مقدار پایه (که برابر با ۰/۵ می‌باشد)، b شیب منحنی است.

در روش خطی برای رتبه‌دهی، بسته به این که پارامتر مورد بررسی از کدام تابع فوق‌الذکر پیروی می‌کند، معادلات متفاوت است.

برای تابع هر چه بیشتر بهتر معادله زیر ارائه شده است:

$$\mathrm{Y=(x-s)/(t-s)}$$

برای تابع هر چه کمتر بهتر معادله زیر ارائه شده است:

$$\mathrm{Y=1-(x-s)/(t-s)}$$

در این معادلات Y رتبه خطی حاصله، x مقدار اندازه‌گیری شده پارامتر مورد بررسی و s کمترین حد آستانه و t بیشترین حد آستانه است.

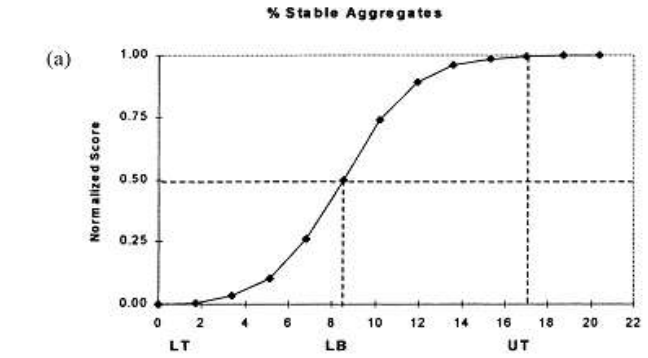
برای تابع بهینه از هر دو معادله فوق استفاده می‌شود (ماستو وهمکاران، ۲۰۰۸).

Shahid Chamran University

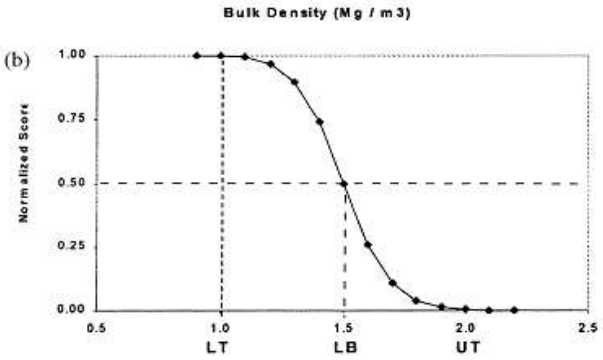
لازم به ذکر است که شکل منحنی‌های حاصل از توابع فوق بستگی به مقادیر بحرانی[۱۴] دارد. مقادیر بحرانی شامل مقدار پایه[۱۵]، مقدار آستانه حداقل[۱۶] و مقدار آستانه حداکثر[۱۷] دارد. آستانه حداکثر نقطه‌ای است که در آن مقدار تابع رتبه‌دهی برابر یک است و مقدار پارامتر در حد مطلوب است. آستانه حداقل نقطه‌ای است که در آن مقدار تابع رتبه‌دهی برابر صفر است و مقدار پارامتر در سطح غیر قابل قبول است. مقدار پایه، مقدار اندازه‌گیری شده پارامتر خاک است که در آن رتبه محاسبه شده توسط معادلات (دو روش رتبه‌دهی) برابر ۰/۵ است (گلاور[۱۸] و همکاران، ۲۰۰۰). این پارامترها در شکل ۱-۱۰ که رتبه‌دهی به روش غیر خطی را برای سه تابع مذکور انجام شده است، نشان داده شده‌اند.

Shahid Chamran University

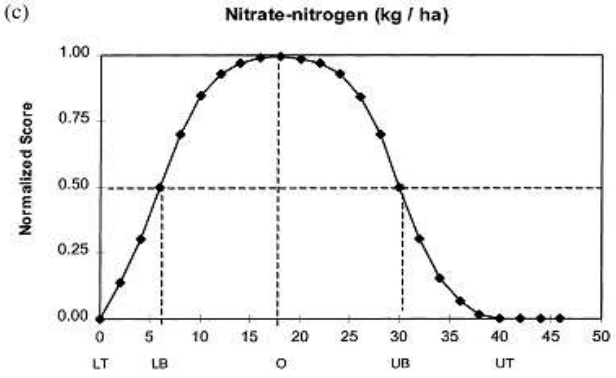
[14] - Critical values
[15] - baseline value
[16] Lower Threshold (LT)
[17] -Upper Threshold (UT)
[18] - Glover



(LT = Lower Threshold; LB = Lower Baseline; UT = Upper Threshold)



(LT = Lower Threshold; LB = Lower Baseline; UT = Upper Threshold)



(LT = Lower Threshold; LB = Lower Baseline; O = Optimal; UB = Upper Baseline; UT = Upper Threshold)

شکل ۱-۱۰- روشهای رتبه‌دهی به روش غیر خطی برای سه تابع و مشخصات هر منحنی (گلاور و همکاران، ۲۰۰۰)

۱-۷- شاخص‌های کیفیت خاک

به دلیل این که تفسیر تعداد زیادی از متغیر و نتیجه‌گیری از آنها بسیار مشکل است، توصیه شده که مجموعه متغیرها در یک شاخص تلفیق گردند. تلفیق کردن و ایجاد شاخص به صورت جمع یا ضرب داده‌ها با یکدیگر و اعمال وزن مناسب برای هر متغیر می‌باشد. هر چند مقایسه و پایش چند سیستم به وسیله یک شاخص،

ساده‌تر و قابل درک‌تر است، اما تلفیق متغیرها می‌تواند باعث حذف یا پوشیده شدن برخی از اطلاعات گردد (علی‌محمدی، ۱۳۸۸).

۱-۷-۱- شاخص تجمعی

ساده‌ترین روش برای ترکیب امتیازات خصوصیات خاک و ایجاد شاخص، جمع نمودن خصوصیات استاندارد شده می‌باشد. در این روش خصوصیات موجود در حداقل داده‌های مورد نیاز، که به وسیله یکی از روش‌ها، امتیازدهی و استاندارد شده‌اند با همدیگر جمع می‌گردند.

$$SQI = \left(\sum \frac{S_i}{N}\right) \times 10$$

در این رابطه S_i امتیاز هر پارامتر حاصل از روش خطی یا غیر خطی، n تعداد شاخص‌ها یا پارامترهای اندازه-گیری شده است

مقدار عددی شاخص کیفیت خاک بین ۱ تا ۱۰ بدست می‌آید، که هر چه به ۱۰ نزدیکتر باشد نشان دهنده کیفیت مطلوب‌تر خاک است (آندروز و همکاران، ۲۰۰۳).

۱-۷-۲- شاخص تجمعی وزن‌دار

در این روش خصوصیات استاندارد شده موجود در حداقل داده‌های با اعمال ضریبی به عنوان وزن با هم جمع می‌شوند. به عبارت دیگر خصوصیات خاک بر اساس اهمیت آنها در فرایندهای خاک با ارزش و وزن-های متفاوت با هم جمع شده و شاخص کیفیت خاک را ایجاد می‌نمایند. مهمترین نکته در این روش چگونگی اعمال وزن‌ها است.

$$SQI = \sum W_i \times S_i$$

در این رابطه S_i امتیاز هر پارامتر و W_i فاکتور وزنی که از برنامه‌های آماری مانند تجزیه مولفه‌های اصلی و آنالیز عامل به دست می‌آید.

۱-۷-۳- استفاده از معادلات رگرسیونی

در این روش از رابطه زیر استفاده می‌گردد.

$$SQI = \sum_{i=1}^{n} S_i \times Beta_i$$

Shahid Chamran University

که در آن S_i امتیاز هر پارامتر، n تعداد پارامترهای باقیمانده در معادلات رگرسیونی گام به گام و $Beta_i$ ضریب استاندارد رگرسیون پارامترهای باقیمانده است (ماستو وهمکاران، ۲۰۰۸).

۱-۷-۴- شاخص‌های چند کارکردی

اولین شاخص چند کارکردی برای کیفیت خاک احتمالا توسط کارلن و همکاران (۱۹۹۴) استفاده شده است. این نویسندگان از برنامه کاری ابداع شده توسط کارلن و استوت (۱۹۹۴) که برمبنای استفاده از توابع نمره‌دهی نرمال شده برای ارزیابی سیستم تولید موثر بر کیفیت خاک استفاده کردند. این برنامه کاری، کارکردهای انتخاب شده را به کار می‌گیرد و برطبق رابطه زیر وزن دهی کرده و جمع بندی می‌کند:

$$Q = q_{we}(wt) + q_{wt}(wt) + q_{rd}(wt) + q_{spg}(wt)$$

Q کیفیت خاک، q_{we} نرخ توانایی خاک برای انطباق ورود آب، q_{wt} نرخ توانایی خاک در تسهیل انتقال و جذب آب، q_{rd} نرخ مقاومت خاک در برابر تخریب، q_{spg} نرخ برای توانایی خاک در حمایت از رشد گیاهی و wt فاکتور وزنی برای هر کارکرد خاک (کارلن و همکاران، ۱۹۹۴a). فاکتور وزنی برای هر وظیفه با توجه به اهمیت آن وظیفه برای هدف مورد ارزیابی تعیین می‌گردد. در هر سطح از ارزیابی مجموع وزنها عدد یک می‌باشد.

اگرچه این مدل به طور گسترده توسعه یافته است، اما بزرگترین مشکل روش، وابسته بودن ضرایب وزنی به نظر متخصص و استفاده نکردن از روش محاسباتی یا آماری می‌باشد. این وزن‌ها با توجه اهمیت کارکرد خاک در جهت رسیدن به هدف مورد نظر تعیین می‌گردند. با استفاده از سیستم کارلن و استوت (۱۹۹۴) و توابع مشابه، کارلن و همکاران (۱۹۹۴a) تاثیرات کاربرد مقادیر مختلف بقایا را بر کیفیت طولانی مدت خاک در کشت ذرت بررسی کردند و نشان دادند که وجود بقایای گیاهی تاثیر مثبتی بر کیفیت خاک دارد. در این تحقیق تخلخل به عنوان شاخص توانایی خاک برای انطباق ورود آب، جمعیت کرم خاکی به عنوان نماینده تعداد منافذ درشت، خاکدانه‌های پایدار در آب برای انعکاس توانایی خاک برای مقاومت در برابر تخریب، انتخاب شدند. کارلن و همکاران (۱۹۹۴a) با استفاده از پارامترهای متنوع فیزیکی و شیمیایی و زیستیکی اهمیت زیادی به روابط آب دادند. مقادیر پارامترها با استفاده از توابع نمره‌دهی استاندارد بین ۰ تا ۱ استاندارد شدند. اما فاکتورهای وزن‌دهی به صورت ذهنی انجام شد و نویسندگان از هیچ روش محاسباتی استفاده نکردند. همانگونه که نویسندگان نیز اشاره کرده بودند هدف اصلی مقاله نشان دادن روشی برای محاسبه شاخص کیفیت خاک بود تا ارائه یک ابزار تعریف شده برای ارزیابی‌های محیطی، و از این نظر با توجه به استفاده گسترده‌ای که از آن به عمل آمد در رسیدن به هدف خود کاملا موفق بود. کارلن و همکاران (۱۹۹۴b) این

Shahid Chamran University

شاخص را برای ارزیابی تاثیرات شخم بر کیفیت خاک به کار بردند و نشان دادند که نبود شخم باعث افزایش کیفیت خاک می‌گردد.

Shahid Chamran University

پایایی خاک Soil Stability

پایداری یک اکو سیستم نتیجه مهم پایایی آن است. بنابراین، ارزیابی پایداری سیستم‌ها مستلزم تخمین پایایی آنها در هنگام فشار یا به‌هم خوردگی میباشد، پایایی خاک عبارت است از استقامت در برابر تغییرات که نتیجه ترکیبی از ویژگی های فیزیکی-شیمیایی خاک و ویژگی‌های جامعه میکروبی است. ساختار و عملکرد یک اکوسیستم سالم، با گذشت زمان، حتی در صورت بروز اختلال، باید نسبتاً پابرجا باقی بماند و اگر تنش یا اختلال باعث تغییر در اکوسیستم شود، باید بتوانید به سرعت به حالت اول برگردد. پایایی سیستم توانایی ادامه کارکرد در شرایط جدید که ممکن است از طریق فرآیندهای طبیعی یا اختلالات ناشی از انسان رخ دهد را تعیین می کند. پایایی سیستم خاک به طور خاص بر نرخ بازگشت آن و همچنین فرآیندها و خدمات اکوسیستم مرتبط با خاک تأثیر می‌گذارد (واردل و پارکینسون، ۱۹۹۰).

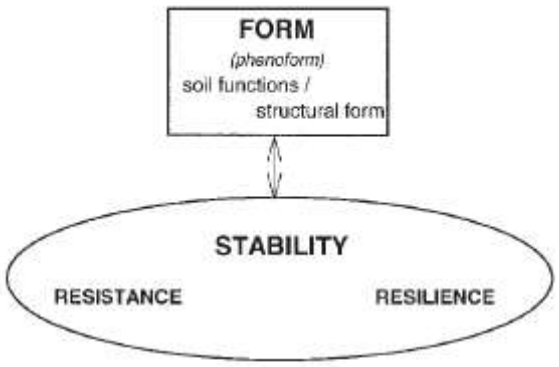


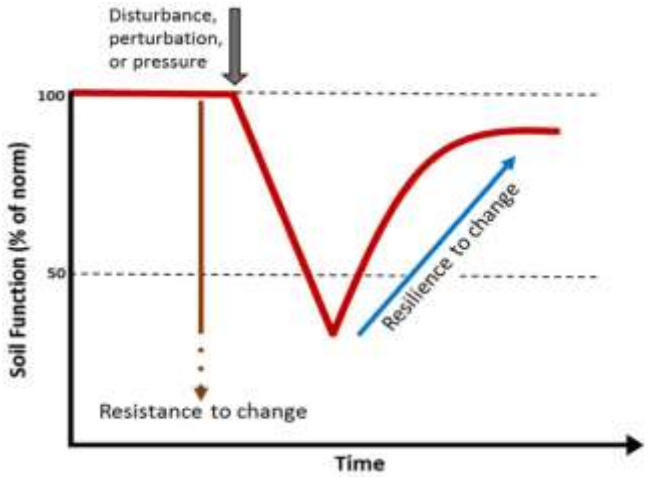
Fig. 1.3. Soil stability in terms of resistance and resilience as related to the suggested term *form* comprising soil functions as well as structural form. A stable form may be due to a high resistance and/or a high resilience. The arrow indicates that a given stability is assigned to a given form, but also that the stability may change with a change in (pheno)form. Based on Kay (1990) and Droogers and Bouma (1997).

پایایی خاک از دو مولفه مقاومت و انعطاف پذیری در برابر تنش تشکیل شده است. مقاومت به مقدار تغییر ناشی از ایجاد اختلال و انعطاف پذیری به سرعت بازگشت سیستم پس از ایجاد اختلال به سطح قبل از اختلال اشاره دارد. درک تفاوت بین مقاومت و انعطاف پذیری مهم است. در اکولوژی جمعیت، مقاومت به عنوان "توانایی یک سیستم در برابر جابجایی از حالت تعادل" تعریف شده است، در حالی که انعطاف پذیری به عنوان "ظرفیت یک جمعیت (یا سیستم) برای بازگشت به تعادل پس از جابجایی در پاسخ به یک اختلال" (Swift، 1994).

انعطاف پذیری خاک **Soil Resilience**

Shahid Chamran University

انعطاف‌پذیری یک مفهوم اکولوژیکی اســـت که توانایی بازیابی کارکردها و ســـاختار اولیه را نشـــان میدهد. انعطاف پذیری همچنین به عنوان اثر برگشـــت به عقب Bounce-Back یا اســـنپ بک Snap-Back Effect شـــناخته می شـــود (کوک و جانســـون ۲۰۰۲).



شکل ۴- مقاومت و انعطاف پذیری خاک در برابر تنش ها

انعطاف پذیری از دو جنبه یکی در صد بازیابی و دیگری سرعت برگشت یک سیستم به حالت تعادل پس از اختلال قابل ارزیابی است. انعطاف پذیری خاک از نظر ســـرعت و میزان بازیابی عملکرد خاک با کیفیت خاک ارتباط دارد (Seybold et al. 1999). خاک های انعطاف پذیر از کیفیت خاک بالایی برخوردار هســـتند و بالعکس (معادله ۴). انعطاف پذیری خاک (Sr) را می‌توان از طریق بیلان جرمی یک یا چند ویژگی مرتبط به هم ارزیابی کرد (لال ، ۱۹۹۳ ؛ ۱۹۹۷) همانطور که در معادله زیر نشان داده شده است:

$$S_r = S_a + \int_0^t (S_n - S_d + I_m)dt$$

که در آن Sa شرایط اولیه یا پیشین خاک، Sn نرخ تجدید خاک، Sd نرخ تخریب خاک، Im ورودی مدیریت و t زمان اســـت. ارزیابی Sr با اســـتفاده از معادله فوق اغلب برای یک ویژگی خاص خاک (به عنوان مثال، محتوای SOC، ذخیره مواد مغذی) قابل استفاده است تا برای کل سیستم خاک.

انعطاف پذیری از دیدگاه های مختلف برای اهداف مختلف تعریف شده است (Szabolcs، 1994). یک جنبه مهم مقیاس زمانی است. میزان تشکیل خاک از سنگ مادر در مقایسه با میزان بالقوه از دست دادن خاک در سیستم های کشاورزی ناپایدار بسیار کم است (لال ، ۱۹۹۴ ؛ پناک، ۱۹۹۷). لال (۱۹۹۴) تخمین میزان تشـــکیل خاک را برای تعدادی از انواع خاک بررســـی کرد و نتیجه گرفت که بیشـــتر خاک ها را می توان به عنوان یک منبع تجدید ناپذیر در طول حیات انســـان در نظر گرفت. با این حال، اگر در چارچوب بازه زمانی زمین شناسی (صدها یا هزاران سال) مورد بررسی قرار گیرد، ممکن است خاکی که تحت فرسایش شدید رودخانه قرار دارد نیز در برابر این اختلال مقاوم باشـــد. بنابراین، هنگام بحث در مورد انعطاف پذیری خاک، باید فاکتور زمان در نظر گرفته شود.

باید تأکید کرد که بیان انعطاف پذیری بدون بیان صـریح عوامل، نیروها یا تأثیرات (آشـفتگی) وارد شـده به خاک معنایی ندارد (Szabolcs، 1994). بلوم (۱۹۹۸) "اختلالات" بالقوه را مورد بحث قرار داد و "نوع"

Shahid Chamran University

انعطاف پذیری مربوطه را در سه گروه طبقه بندی کرد: (i) تاب آوری در برابر اختلالات فیزیکی (ii) انعطاف پذیری شیمیایی ؛ و (III) تاب آوری در برابر اختلالات بیولوژیکی.

مقاومت خاک Soil Resistance

مقاومت خاک که از انعطاف پذیری خاک متمایز می شود، به عنوان توانایی یک خاک برای حفظ عملکرد و ساختار خود با وجود یک اختلال یا تنش تعریف می شود (Pimm 1984؛ Herrick and Wander 1998؛ Seybold et al. 1999). میزان کاهش در توانایی کارکرد خاک، درجه مقاومت را مشخص می کند. هرچه خاکی تحت یک فشار معین کمتر افت کند، مقاومت بیشتری دارد. مقاومت خاک نیز همانند انعطاف‌پذیری با کیفیت خاک در ارتباط است. مقاومت خاک در طی ایجاد یک اختلال یا بلافاصله پس از آن است تابعی از کیفیت خاک است، در حالی که پس از ایجاد اختلال، انعطاف پذیری خاک به تابعی از کیفیت خاک تبدیل می شود (Seybold et al. 1999).

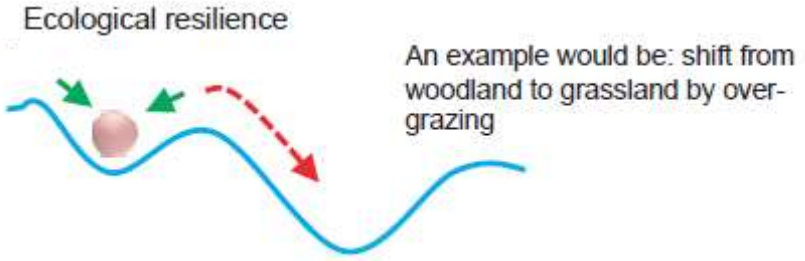
یک خاک ممکن است به لحاظ یک ویژگی مشخص مقاومت بالایی داشته باشد اما انعطاف پذیر نباشد. این مورد می‌تواند هنگام تردد ماشین آلات کشاورزی سنگین وزن بر روی یک خاک رسی خشک اتفاق افتد. در این حالت مقاومت خاک در برابر تراکم زیاد است. اما زمانی که تحت فشار زیاد " ساختمان خاک" فرو می ریزد، برگشت آن به حالت اول ضعیف است. بالعکس، یک خاک ممکن است برای برخی از ویژگی ها مقاومت ضعیفی از خود نشان دهد، اما از انعطاف پذیری بالایی برخوردار باشد. برخی از عملکردهای میکروبی هنگام کاربرد سموم دفع آفات، نمونه ای از این موارد را نشان می دهند. سموم دفع آفات ممکن است بیش از ۹۰٪ کارکرد میکروبی خاک را از بین ببرد اما میتواند به سرعت به سطح اصلی خود بازگردد به طوری که می توان اثر اکوتوکسیکولوژیک را در مقایسه با اثرات تنش طبیعی ناچیز دانست (Domsch et al.، 1983).

خاکهایی که از تنوع زیستی بالاتری برخوردارند مقاومت و انعطاف پذیری ذاتی در برابر تغییر دارند (شکل ۴). از دست دادن تنوع زیستی می تواند منجر به کاهش مقاومت خاک در برابر اختلال و کاهش ظرفیت انعطاف پذیری شود. به طور کلی کاهش تنوع زیستی خاک به کاهش اشکال مختلف زندگی در خاک (هم از نظر کمی و هم از نظر تنوع) اشاره دارد (جونز و همکاران ، ۲۰۰۵). هرجا کاهش تنوع زیستی خاک رخ دهد، می تواند به طور قابل توجهی بر توانایی عملکرد طبیعی خاک، پاسخ به اختلالات و ظرفیت بازیابی تأثیر بگذارد. مهمترین تهدیدات خاک که اثرات منفی بر تنوع زیستی خاک دارند از جمله بهره برداری فشرده انسان، تغییر کاربری زمین و کاهش مواد آلی خاک ذکر شده است.

اگرچه پایایی سیستم های خاک باید از نظر مقاومت و انعطاف پذیری ارزیابی شود، اما هنگام ارزیابی کیفیت خاک در اکوسیستم های مدیریت شده خاصیت انعطاف پذیری شایسته توجه بیشتری است. از آنجا که هر

Shahid Chamran University

نوع کشاورزی (ارگانیک، حفاظتی، مرسوم، و غیره) تعادل اصلی اکوسیستم بومی را بر هم می زند، بدیهی است که در هنگام قضاوت درباره پایایی سیستم های کشاورزی، انعطاف پذیری یک پارامتر کلیدی است. از انعطاف پذیری خاک می‌توان برای ارزیابی توانایی مدیریت در حفظ عملکرد خاک و همچنین ارزیابی روش‌های بازیابی خاک‌های تخریب شده استفاده کرد (اسواران ، ۱۹۹۴). سیستم‌های انعطاف پذیر تحت سیستم‌های مدیریتی مختلف سطوح تعادلی مختلفی را نشان می‌دهند (شکل ۵). هر حالت تعادلی ممکن است یکپارچگی ساختاری و عملکردی کیفی سیستم را حفظ کند اما خصوصیات کمی ممکن است در هر تعادل متفاوت باشد. این درک از مفهوم انعطاف‌پذیری هنگام کار با اکوسیستم های مدیریت شده بسیار مهم است. این تفسیر ممکن است بحث برانگیز باشد، اما هنگام کار با اکوسیستم‌های مدیریت شده منطقی است. مدیریت جزیی از سیستم زراعی بوده و انعطاف پذیری باید با تعادل موجود در سیستم مدیریت شده ر ارتباط باشد ، نه با عملکرد یا وضعیتی که در اکوسیستم اصلی و بومی حاکم بوده است (بلوم ، ۱۹۹۸).



شکل ۵- تغییر نقطه تعادلی یک سیستم پس از یک مدیریت جدید. دامنه ها محدوده پایایی و توپ نشان دهنده سیستم می باشد.

Shahid Chamran University

نتیجه گیری

تخریب خاک از طلوع تمدن، بشریت را به چالش کشیده است، اما از دهه ۱۹۳۰ به بعد مسئله مهمی شده است. تخریب خاک و پیامدهای زیست محیطی آن همچنان مسئله مهمی در طول قرن ۲۱ باقی مانده است. به شکل ساده به عنوان کاهش کیفیت خاک ناشی از سو استفاده توسط انسان تعریف می شود. در حالی که عوامل طبیعی ممکن است باعث ایجاد یا حتی تشدید روند شوند، تخریب خاک عمدتا به مواردی اشاره دارد که صریحاً از اعمال انسان ناشی می شوند. سه نوع اصلی از فرایندهای تخریب کننده خاک وجود دارد: فیزیکی ، شیمیایی و بیولوژیکی. با هم، اثرات متقابل این سه فرآیند با گذشت زمان منجر به کاهش کیفیت خاک می شود. تخریب خاک ممکن است موقتی باشد و از طریق تغییر در کاربری و مدیریت زمین معکوس شود، یا ممکن است دائمی یا غیرقابل برگشت باشد. با تغییر در کاربری و مدیریت زمین می توان کیفیت خاکهای تخریب شده به مقدار کم یا متوسط را بازیابی کرد.

Shahid Chamran University