# تدوین روش مناسب برای تعیین فرسایش قابل تحمل خاک در ایران

رضا سکوتی اسکوئی [1] و محمود عرب‌خدری

بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران. **rezasokouti@gmail.com**

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. **mahmood.arabkhedri@gmail.com**

**دریافت: خرداد ۱۳۹۵ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۵**

## چکیده

**فرسایش قابل تحمل خاک برای برنامه‌ریزی‌های حفاظت خاک دارای اهمیت زیادی است. با توجه به اینکه مقادیر مشخصی برای تلفات قابل تحمل خاک در ایران وجود ندارد، لازم است میزان آن برای کشور تعیین گردد. لذا این تحقیق با هدف تعیین مقادیر قابل تحمل تلفات خاک در کشور انجام گرفت. در این تحقیق ابتدا با بررسی پژوهش‌های انجام شده، تعاریف فرسایش قابل تحمل از دیدگاه‌های مختلف، عوامل موثر بر آن، روش‌های برآورد و مزایا و معایب هر یک از این روش‌ها مورد مطالعه قرار گرفت تا با مقایسه آنها با شرایط کشور و اطلاعات موجود، روش مناسب برای برآورد فرسایش قابل تحمل در ایران در وضع فعلی تهیه و تدوین گردد. آمار کرت‌های فرسایش به تعداد ۲۹۲ کرت جمع‌آوری و تحلیل شد. سپس با توجه به اطلاعات موجود، عواملی مشتمل بر ضخامت خاک، لایه محدود کننده، نوع کاربری اراضی و اقلیم به عنوان معیارهای تعیین میزان فرسایش قابل تحمل خاک در کشور مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین جدولی تهیه شد که در آن مقادیر قابل تحمل فرسایش خاک بر اساس این عوامل در پنج کلاس طبقه‌بندی گردید. طبق جدول پیشنهادی، مقادیر کمینه فرسایش قابل تحمل خاک از ۰/۲۵ تا بیشینه ۱/۲۵ تن در هکتار در سال برای مراتع در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند متغیر باشد. در اراضی جنگلی مناطق زاگرس و سایر جنگل‌های واقع در مناطق نیمه خشک تا نیمه مرطوب و دیمزارهای سراسر کشور می‌توان ارقام جدول را تا پنج برابر افزایش داد. در مناطق جنگلی حاشیه دریای خزر نیز می‌توان مقادیر مندرج در جدول پیشنهادی را تا ۱۰ برابر در نظر گرفت. در مورد اراضی که تحت کشاورزی آبی قرار دارند استفاده از جداول سازمان حفاظت خاک آمریکا پیشنهاد می‌شود.**

**واژه‌های کلیدی:** ضخامت خاک، حفاظت خاک، فرسایش قابل تحمل، سرعت تشکیل خاک.

۱- آدرس نویسنده مسئول: ارومیه، کیلومتر ۳ جاده سلماس، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی.

Archive of SID

www.SID.ir

**مقدمه**

منظور از فرسایش زمین شناسی یا فرسایش طبیعی این است که این گونه فرسایش منحصرا نتیجه عملکرد طبیعت است .در فرسایش طبیعی که در طی زمان‌های بسیار طولانی صورت می‌گیرد، منجر به تشکیل خاک می‌شود (هیمسات و همکاران، ۱۹۹۷). به عبارت دیگر، در این نوع فرسایش، خاکسازی بیشتر از فرسایش خاک بوده و در نتیجه ضخامت پروفیل خاک افزایش می یابد .در حالی که فرسایش تسریعی یا تشدیدی به فرسایشی اطلاق می‌شود که انسان با بهره برداری نادرست از اراضی، بر پایداری تولید خاک تاثیر می‌گذارد (مورگان، ۲۰۰۵). در فرسایش تشدیدی، مقدار فرسایش از خاکسازی بیشتر بوده و از ضخامت خاک کاسته می‌شود؛ بنابراین با توجه به اینکه فرسایش طبیعی یک پدیده ظبیعی و قابل پذیرش است و از طرف دیگر فرسایش تشدیدی یک پدیده مخرب متاثر از فعالیت‌های انسانی است، بنظر می‌رسد بتوان بین این دو، یک حد آستانه تعریف نمود که در آن حد، لازم است اقدامات مدیریتی و یا حفاظتی را انجام داد تا منطقه مورد نظر دچار مشکل نشود (اسمیت، ۱۹٤۱). این آستانه به فرسایش قابل تحمل خاک موسوم است.

فرسایش قابل تحمل خاک[۲]، یکی از پیچیده‌ترین موضوع در تحقیقات فرسایش خاک است (USDA[٤]-NRCS[۳]،۱۹۹۹). مفهوم فرسایش مجاز خاک که در سال-های ۱۹٤۰ توسط خاکشناسان با توجه به حاصلخیزی خاک به کار رفت، به این صورت بود که «فرسایش مجاز خاک مقدار فرسایشی است که می‌تواند رخ دهد، بدون این که کاهشی در حاصلخیزی خاک و تاثیر منفی در تولیدات گیاهی در طولانی مدت داشته باشد (اسمیت، ۱۹٤۱). سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا که پیشتر سرویس حفاظت خاک نامیده می‌شد، از اواسط دهه ٦۰، این عامل را برای طراحی برنامه‌های حفاظتی خود با نام T-value به‌کار برد. سپس مفهوم عمومی این واژه به صورت حداکثر مقدار فرسایش سالیانه که ممکن است رخ دهد و هنوز خاک توان تولید فراوان محصول را به طور اقتصادی و نامحدود دارا باشد، تعریف شد (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸).

در تعیین مرز بین فرسایش طبیعی و تشدیدی، فرسایش قابل تحمل خاک به عنوان تعادل بین تشکیل خاک و هوازدگی کامل سنگ‌ها تعریف شده است (واکاتسوکی و راسیدین، ۱۹۹۲). کمینه عمق خاک هم به عنوان عمقی که نهاده‌هایی مانند کود و بقایای گیاهی و فناوری‌های مدیریتی مثل آبیاری و کیفیت گیاهی اصلاح شده ژنتیکی، برای جلوگیری از کاهش اقتصادی تولید ناکافی باشد، در برآورد فرسایش قابل تحمل خاک مورد توجه قرار گرفته است؛ بنابراین، مقادیر فرسایش بیش‌تر از تشکیل خاک، فقط در طول زمانی که خاک به کمینه عمق تعریف شده نرسد، قابل قبول است (نیرینگ، ۲۰۰۲ و سینگ، ۲۰۱۱). میزان طبیعی تشکیل خاک می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای تعیین میزان فرسایش قابل تحمل خاک، متشکل از مواد معدنی حاصل از هوازدگی و همچنین رسوب گرد و غبار استفاده شود (ورحین و همکاران ۲۰۰۹). این تعریف براساس مفهوم فرسایش واقعی خاک که برابر مقدار کل خاک از دست رفته توسط تمام انواع فرسایش شناخته شده می‌باشد، پیشنهاد شده است. بطور کلی فرسایش قابل تحمل خاک، بیشینه مقدار تلفات خاک بر حسب تن در هکتار در سال است که می‌تواند مورد قبول باشد و حاصلخیزی بالایی را فراهم نماید به طوری که تولید از نظر اقتصادی و در طولانی مدت، پایدار بماند (NRCS، ۱۹۹۹).

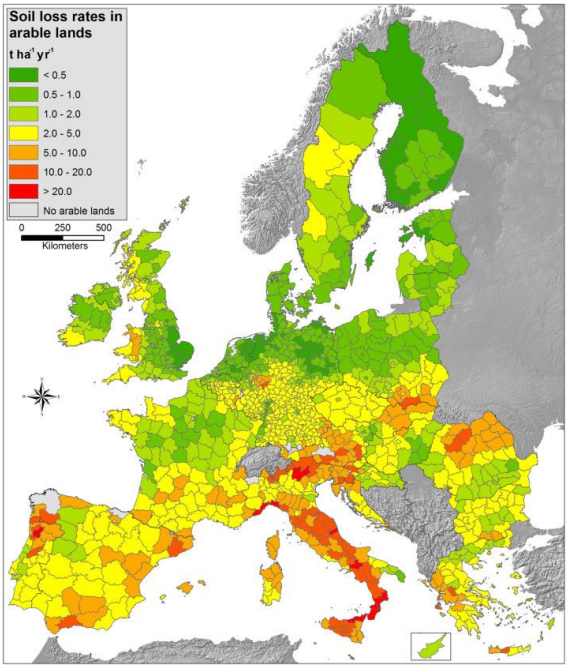
برآورد فرسایش قابل تحمل خاک در تدوین برنامه‌های حفاظت خاک اهمیت دارد. در هندوستان، به صورت پیش فرض میزان فرسایش قابل تحمل خاک برابر ۱۱/۲ تن در هکتار برای برنامه‌ریزی استراتژی‌های حفاظت خاک در تمام انواع خاک، آب و هوا و پوشش

[2] Soil loss tolerance
[3] Natural Resources Conservation Service
[4] United States Department of Agriculture

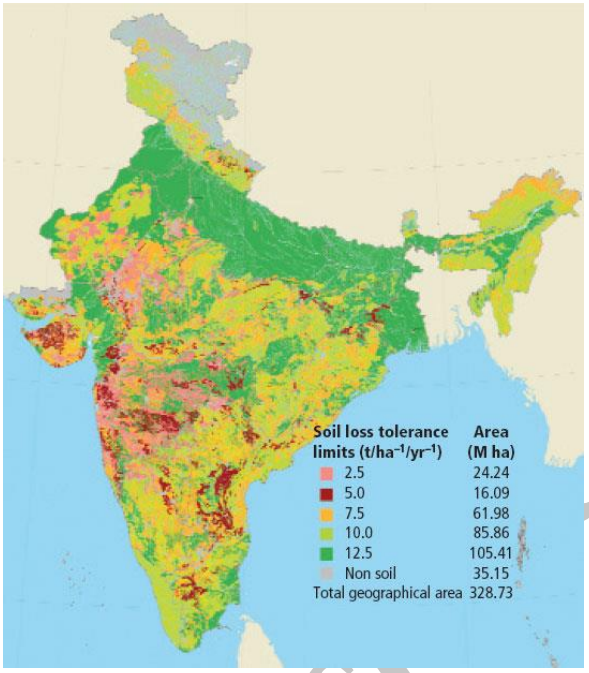
Archive of SID

www.SID.ir

گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد (لاکاریا و همکاران، ۲۰۰۸). در خاک‌های با بافت نسبتاً درشت با مدیریت خوب در اراضی کشاورزی، تشکیل خاک سطحی تا ۱۱ تن درهکتار در سال بالغ می‌شود که نتیجه عملیات کشاورزی نظیر شخم و افزودن کود است. در اراضی با عمق خاک بیش از دو متر، فرسایش قابل تحمل تا ۲۰-۱۵ تن در هکتار هم می‌تواند برسد (شرتز، ۱۹۸۳). براساس نتایج پژوهش‌های ورحین و همکاران (۲۰۰۹) میزان واقعی فرسایش خاک‌های شخم خورده و قابل کشت اروپا، حتی با پذیرش تغییرات مکانی-زمانی این پدیده، به طور متوسط، ۳ تا ٤٠ برابر بیش‌تر از حد بالایی فرسایش خاک قابل تحمل در دنیا است (شکل ۱). نتایج شاردا و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که حدود ۷۵٪ از کل مساحت کشور هند در محدوده فرسایش قابل تحمل قرار دارند (شکل ۲).




**شکل ۱- مقادیر فرسایش در اراضی زراعی در اروپا**




**شکل ۲- مقادیر فرسایش قابل قبول در هندوستان**

برای برآورد فرسایش قابل تحمل خاک در عرصه‌های منابع طبیعی بیشتر محققان ضخامت پروفیل خاک یا سرعت تشکیل خاک را مورد استفاده قرار می‌دهند (اسکیدمور،۱۹۸۲). برای مثال الکساندر و همکاران، (۱۹۸۸) در پژوهش خود در حوضه‌های آبخیز کوچک، به این نتیجه رسیدند که نقطه تعادل یا برابری فرسایش و تشکیل خاک در چنین نقاطی، مقادیر بین ۰/۳ تا ۲ تن در هکتار در سال است. در آمریکا محدوده ارقام ۰/۲ الی ۱۱/۲ با میانگین پنج تن در هکتار در سال مورد استفاده قرار می‌گیرد (جانسون، ۱۹۸۷). بخش حفاظت آب چین (۱۹۹۷) پس از بررسی استانداردهای آمریکا و براساس نتایج تحقیقات منطقه‌ای، نوع و شدت فرسایش خاک و با توجه به عمق خاک، مقادیر فرسایش قابل تحمل را برابر ۱۰ تن در هکتار در سال برای خاک‌های لسی، مقدار ۰/۲ تن در هکتار در سال را برای خاک‌های تپه ماهوری و برونزدهای سنگی و میزان ۰/۵ تن در هکتار در سال را برای خاک‌های تپه‌های صخره‌ای جنوب غربی و مناطق تپه ماهوری تعیین کردند (لی و همکاران، ۲۰۰۵). ماندال و همکاران، (۲۰۰٦) پس از بومی کردن روش سرویس حفاظت خاک آمریکا، مقادیر فرسایش قابل تحمل را برای اراضی شمال غرب هیمالیا در محدوده ۵ - ۱۲/۵ تن در هکتار در سال پیشنهاد دادند. در حالی که لاکاریا و

www.SID.ir

همکاران، (۲۰۰۸) در هند مرکزی این مقادیر را برابر ۰/۳ تا ۱۲/۵ تن در هکتار در سال به‌دست آوردند. خاک‌های واقع درشمال اوتاراخاند این کشور بسیار مستعد خطر فرسایش هستند بنابراین دارای تلفات قابل تحمل خاک بسیار کم است که بین ۲/۵ تا ۵ تن در هکتار در سال متغیر است (جها و ماندال، ۲۰۱۰). در تحقیقی دیگر برای تعیین ارزش $T^{5}$ در هند، ماندال و همکاران (۲۰۱۰) به این نتیجه رسیدند که شاخص حاصل‌خیزی ($PI^{6}$) شاخص مناسبی برای برآورد فرسایش قابل تحمل خاک و برنامه‌ریزی‌های آتی برای اجرای عملیات حفاظت خاک است. پژوهش آلیول و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند تولید خاک و میزان فرسایش قابل تحمل آن یعنی ۵۰-۹۰ درصد از میزان تولید خاک، به‌شدت تابعی از زمان می‌باشد (شکل ۳). در این رابطه اندازه‌گیری میزان فرسایش خاک‌های واقع در دامنه کوه‌های آلپ در محدوده ٦-۳۰ تن در هکتار در سال را به‌دست آوردند. پژوهش باگاریلو و همکاران، (۲۰۱۵) به این نتیجه رسید که آستانه تلفات خاک با افزایش طول کرت‌های آزمایشی کاهش می‌یابد. از آنجایی‌که تفاوت آشکاری بین سرعت تشکیل خاک بر روی سنگ‌های یک‌پارچه و رسوبات آبرفتی وجود دارد، لذا می توان برای برآورد سرعت تشکیل خاک از رسوبات و یا سنگ بستر از رابطه موسوم به تعادل عناصر، استفاده نمود (الکساندر، ۱۹۸٦).

از طرف دیگر در روش سرویس حفاظت خاک آمریکا (۱۹٥٦) فرسایش قابل تحمل خاک "T" بر اساس خصوصیات لایه‌های زیرسطحی محدودکننده ریشه تعیین می‌شود. تشخیص لایه محدودکننده به مطلوب‌بودن خصوصیات مواد خاکی بالایی این لایه برای رشد گیاه اشاره دارد. ارزش T بدون توجه به نوع استفاده یا حفاظت از زمین به خاک‌های لخت اختصاص داده می شود با این حال، بسیاری از عوامل مورد استفاده برای تعریف ارزش T در ارتباط با پوشش گیاهی مهم هستند (حاجی صالح‌اوغلو، ۲۰۱۰). در تحقیق ویلیامز و همکاران (۱۹۹۰)، برای برآورد فرسایش قابل قبول خاک، اثرات فرسایش بر روی حاصل‌خیزی خاک و میزان تولید محصول بررسی گردید که در آن ویژگی‌های هیدرولوژی، اقلیم، فرسایش، عناصر غذایی، درجه حرارت خاک، رشد و نمو گیاه، شخم، کنترل محیط گیاه و جنبه‌های اقتصادی اراضی مورد استفاده قرار گرفت شکل (۵). به این ترتیب با توجه به اهمیت فرسایش قابل تحمل خاک، ضرورت ارائه محدوده‌ای از آن برای کاربری‌های مختلف در شرایط اکولوژیک مختلف ایران براساس تجارب جهانی و مناسب با شرایط کشور وجود دارد. بررسی منابع و پژوهش‌های انجام شده در مورد فرسایش قابل تحمل خاک نشان می‌دهد مواردی به‌شرح زیر می‌توانند برای تدوین روش تخمین فرسایش قابل قبول خاک در ایران نیز استفاده شوند.

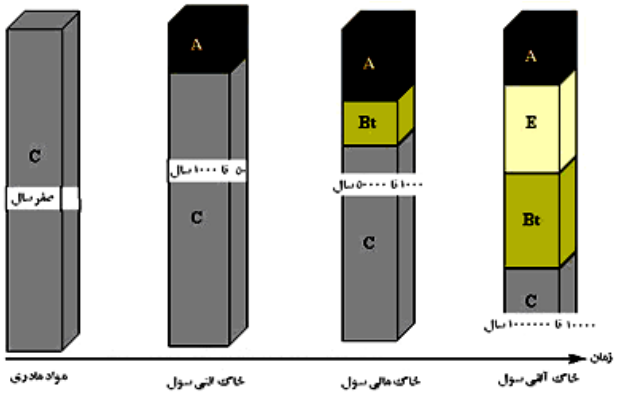
**عوامل موثر بر فرسایش قابل تحمل**

میزان فرسایش قابل تحمل برای خاک‌های مختلف متغیر است. عوامل موثر در انتخاب این آستانه می‌تواند متعدد باشد که از جمله آن‌ها می توان به ضخامت خاک سطحی، عمق خاک و خصوصیات فیزیکی خاک که در توسعه و گسترش ریشه موثر هستند، اشاره نمود (کرسیلدزه و همکاران، ۲۰۱۳). از نظر سرعت تشکیل خاک و ضخامت آن، فرسایش قابل تحمل یک خاک عمیق با نفوذپذیری متوسط با خاک تحت الارض مناسب برای توسعه ریشه، نسبت به یک خاک کم عمق با نفوذپذیری کم، بیش‌تر است، بنابراین، در مورد خاک-های کم عمق که در روی صخره‌ها یا سخت لایه‌ها قرار دارند، فرسایش قابل تحمل وجود ندارد.

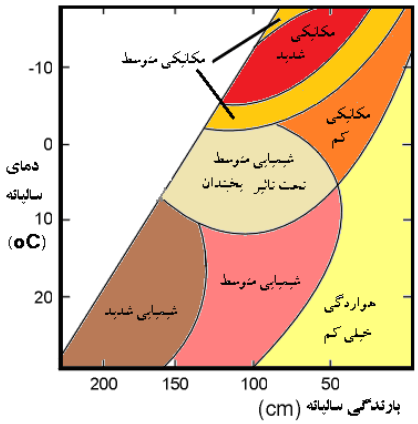
[5] Tolerable soil loss value
[6] Productivity index

Archive of SID

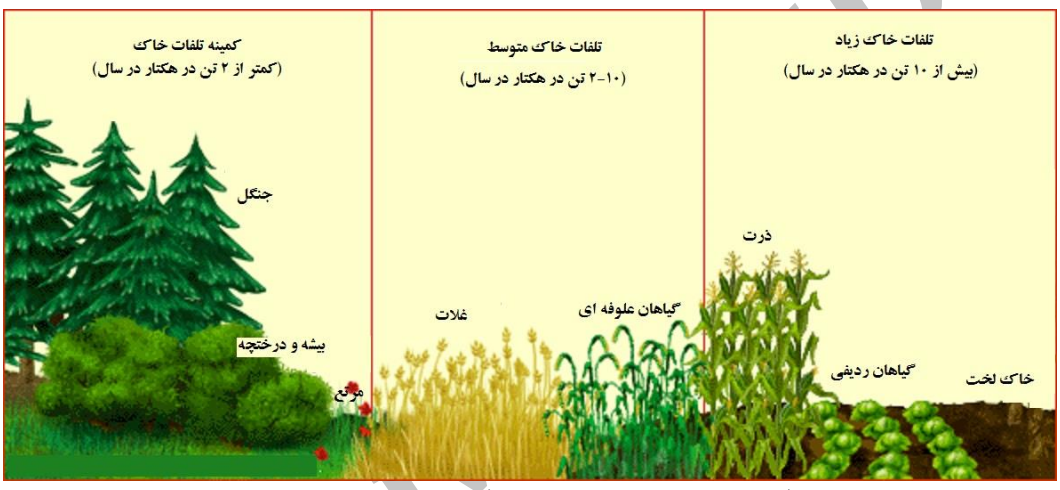
www.SID.ir




**شکل ۳- تاثیر عامل زمان بر تشکیل و تکامل پروفیل خاک**




**شکل ۴- تاثیر عوامل اقلیمی بر هوازدگی و تشکیل خاک**




**شکل ۵- تاثیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر تلفات خاک**

به‌طور کلی، تعداد ۱۰ عامل مهم تاثیر گذار بر عامل فرسایش قابل تحمل به شرح زیر است (USDA، ۱۹۵٦):

١. سرعت تشکیل خاک از مواد مادری
٢. سرعت تشکیل خاک سطحی از خاک زیرین
٣. کاهش تولید در اثر فرسایش
٤. عمق خاک
٥. تغییرات خصوصیات مطلوب خاک برای گیاهان در اثر فرسایش
٦. هدر رفت مواد مغذی خاک در اثر فرسایش
٧. احتمال ظهور شیار و خندق
٨. مشکلات نهشته گذاری رسوب در مزارع
٩. نسبت تحویل رسوب از محل فرسایش یافته
١٠. میزان پذیرش اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی فرسایش و عملیات حفاظت خاک

**روش‌های ارزیابی و تعیین فرسایش قابل تحمل**

با توجه به عوامل موثر بر فرسایش قابل تحمل خاک و دسترسی به اطلاعات مورد نیاز آنها، روش‌های مختلفی برای برآورد آن ارائه شده است که رایج‌ترین آنها به شرح زیر است.

Archive of SID

www.SID.ir

**تعیین ضخامت خاک**

مدل مفهومی محاسبه تلفات قابل تحمل خاک با استفاده از عواملی مانند حداقل ضخامت خاک، ضخامت خاک فعلی و کمینه حد تلفات قابل تحمل خاک بوسیله استیمی و اسمیت، (١٩٦٤) پیشنهاد شد. به نظر اشتومبل و همکاران (١٩٩٨) این روش یک رویکرد کلی است زیرا شدت بازسازی پروفیل خاک برای انواع خاک‌ها متفاوت است و بستگی به آب و هوا، پوشش گیاهی و رژیم هیدرولوژیکی مختلف دارد. سپس اسکیدمور (١٩٨٢) معادله (١) را برای برآورد فرسایش قابل تحمل خاک تهیه و عمق خاک را به این معادله افزود؛ بنابراین در روش تعیین ضخامت خاک، فرسایش قابل تحمل وابسته به ضخامت پروفیل خاک بوده و به شرح معادله ١ محاسبه می‌شود:

$$T_{(x,y,t))} = \frac{(T1 + T2)/2 - (T2 - T1)}{2\cos[\pi(Z - Z1)/(Z2 - Z1)]} \qquad (١)$$

که در آن:

$T_{(x,y,t)}$، هدر رفت قابل تحمل خاک در موقعیت x و y در زمان t، T1، حد پایینی فرسایش قابل تحمل که مربوط به میزان تجدید خاک است (mm/y)، T2، حد بالایی فرسایش قابل تحمل (mm/y)، Z= ضخامت فعلی خاک که بین Z1 و Z2 قرار دارد (متر)، Z1= حداقل عمق خاک که رشد گیاه را به طور پایدار تامین نماید (متر)، Z2= مناسب‌ترین عمق خاک که رشد گیاه را به طور پایدار تامین نماید (متر)، می‌باشد.

تابع فرسایش قابل تحمل بین دو نقطه (Z1،T1) و (Z2،T2) شکل سینوسی داشته، به عمق خاک بستگی دارد و (T2-T1)/2 دامنه آن است. در این معادله، عبارت کسینوس، زمان را نشان می‌دهد و در محدوده صفر تا ٣/١٤ رادیان یا ١٨٠ درجه برای اعماق بین Z1 و Z2 تغییر می‌کند. هنگامی‌که عمق خاک، حداقل قابل تحمل باشد (Z=Z1)، $T_{(x,y,t)}$، معادل مقدار حداقل تلفات قابل تحمل یعنی T1 می‌شود. در حالتی‌که عمق خاک به حدی باشد که با افزایش بیش‌تر ضخامت، توان تولید خاک افزایش نیابد، $T_{(x,y,t)}$، معادل مقدار حداکثر تلفات قابل قبول یعنی T2 خواهد شد. به عنوان مثال، اگر خاکی به عمق ١/٤ متر در نظر گرفته شود و براساس معیارهای موجود، انتظار باشد که با افزایش عمق خاک تا دو متری، توان تولید خاک بیش‌تر شود و عمق نیم‌متری، حداقل قابل تحمل خاک برای پرورش محصول باشد، همچنین اگر میزان تجدید خاک ٠/٢ میلی‌متر در سال باشد و حداکثر میزان تلفات خاک دو میلی‌متر فرسایش در سال در نظر گرفته شود، آن‌گاه فرسایش قابل تحمل معادل ١/٣٨ تن در هکتار در سال خواهد بود.

روسانوف (٢٠٠٦) روش اسکیدمور (١٩٨٢) را با استفاده از عواملی مانند نفوذ پذیری، اندازه خاکدانه‌ها و مقدار هوموس، برای برآورد مقادیر قابل تحمل خاک بکار برد. کوزنتسوف و عبدالخانوا (٢٠١٣) با استفاده از معادله خطی روش اسکیدمور (١٩٨٢) را برای محاسبه تلفات قابل تحمل خاک برای سیاه‌خاک‌های منطقه مرکزی این خاک‌ها اصلاح کردند. مقادیر فرسایش قابل تحمل خاک با توجه به نوع خاک، فرسایش‌پذیری و الگوی تناوب زراعی بدست آمد. حداکثر مقدار ممکن (١٠ تن در هکتار در سال) در تمام تناوب‌های زراعی به دست آمد.

هم‌چنین براساس راهنمای اداره حفاظت خاک امریکا (USDA، ١٩٥٦)، دو مشخصه مهمی که در تعیین مقدار فرسایش قابل تحمل خاک به کار می رود، ضخامت خاک سطحی و جنس لایه محدود کننده می‌باشد که در جدول (١) ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

**جدول ١- راهنمای اداره حفاظت خاک امریکا برای تعیین فرسایش قابل تحمل براساس ضخامت خاک سطحی**

| ضخامت خاک سطحی | مقدار T بر حسب تُن در هکتار | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| (سانتی‌متر) | ٢/٣ | ٤/٦ | ٦/٨ | ٩/٠ | ١١/٢ |
| ١٠٠< تا بستر سنگی | | | | | * |
| ١٠٠< تا ماسه یا سنگریزه | | | | | * |
| ١٠٠- ٥٠ تا بستر سنگی | | | | * | |
| ١٠٠- ٥٠ تا ماسه یا سنگریزه | | | | * | |
| ١٠٠- ٥٠ تا لایه فراژی پن | | | | * | |
| ١٠٠- ٥٠ تا لایه کلی پن | | | | * | |
| ٥٠-٢٥ تا ماسه با سنگریزه | | | * | | |
| ٥٠-٢٥ تا بستر سنگی | | * | | | |
| ٥٠-١٠ تا لایه کلی پن | | | * | | |
| ٥٠> تا لایه فراژی پن | | | * | | |
| ٢٥> تا بستر سنگی | * | | | | |
| ٢٥> تا ماسه یا سنگریزه | | * | | | |
| ١٠> تا لایه کلی پن | * | | | | |

## تعیین سرعت تشکیل خاک

مسئله‌ای که اغلب در رابطه با تلفات خاک به وسیله فرسایش پیش می‌آید آن است که مدت زمان لازم برای تشکیل ضخامت معینی از خاک چقدر است (سینگ، ٢٠١١). از آنجایی‌که تفاوت آشکاری بین سرعت تشکیل خاک بر روی سنگ-های یکپارچه و رسوبات آبرفتی وجود دارد، می توان از روش برآورد سرعت تشکیل خاک از رسوبات و یا سنگ بستر (معادله ٢) موسوم به تعادل عناصر استفاده نمود (الکساندر، ١٩٨٦):

$$C_i W = D_i + S_i S \qquad (٢)$$

که در آن:

$W$ = جرم سنگ هوازده

$S$= جرم خاک معدنی تشکیل یافته از مواد مادری

$Ci$ و $Si$ = غلظت عنصر $i$ به ترتیب در سنگ و خاک غیر هوازده (gr/lit)

$Di$= سرعت انتقال عنصر $i$ محلول در رواناب (m/s)

این معادله فرآیندهای هدررفت و تجمع عنصر $i$ آزاد شده از مواد مادری را نشان می‌دهد. در این روش فرض بر این است که خاک و جمعیت موجودات زنده آن در شرایط پایدار چرخه مواد غذایی باقی می‌مانند (وبل، ١٩٨٥). در این بین، سه عامل قابل اندازه گیری و دو عامل مجهول (W و S) در معادله وجود دارد. لذا معادله ٣ به معادله (٤) تبدیل می شود

$$W = \frac{D_i}{(C_i - S_i)(S/W)} \qquad (٣)$$

نسبت S/W در معادله ٤ می‌تواند با یک عامل پایدار در رواناب تعیین شود. این موضوع دلالت بر ثبات مقدار عنصر i در حوضه آبخیز دارد. بنابراین با فرض صفر بودن $D_i$، در معادله (٣) می‌توان نوشت:

$$C_i W = S_i S \qquad (٤)$$

$$S/W = C_i/S_i \qquad (٥)$$

*که در آن:*

$W$ از معادله ٤ به‌دست می‌آید و $S$ از نسبت $S/W$ تعیین می‌شود.

براساس این معادلات، الکساندر (١٩٨٨) نشان داد که تلفات قابل تحمل خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق حاصل از سنگهای دگرگونی غیرآهکی بسیار کمتر از ٢/٢٤ تن در هکتار / سال است. با استفاده از این روش، چابا و همکاران (٢٠٠١) مقدار T را برای خاک‌های مجارستان بین ٢ تا ١٢/٥ تن در هکتار در سال بدست

Archive of SID

www.SID.ir

آوردند. نتایج برخی تحقیقات انجام شده در مورد سرعت تشکیل خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

**جدول ۲- سرعت تشکیل خاک در مناطق مختلف دنیا (به نقل از سرمدیان، ۱۳۹۱)**

| محقق | مکان | تشکیل خاک |
|---|---|---|
| باول و همکاران، ۱۹۷۳ | جهان | ۰/۱۲ تا ۹۲/۵ تن درهکتار در سال |
| زاخار، ۱۹۸۲ | جهان | حدود ۱/۲ تن درهکتار در سال |
| بنت، ۱۹۳۹ | خاک های با بافت نسبتاً درشت تحت مدیریت خوب در اراضی کشاورزی | ۱۱ تن درهکتار در سال |
| هال و همکاران، ۱۹۸۵ | | |
| الکساندر و همکاران،۱۹۸۸ | حوزه های آبخیز کوچک چمنی یا جنگل | ۰/۳ تا ۲ تن در هکتار در سال |
| جانسون و همکاران، ۱۹۸۷ | اکوسیستم جنگلی | ۰/۹ تا ۱۵/۳۷ تن در هکتار در سال |
| واکاتسوکی و رایزیدین ۱۹۹۲ | جهان | ۰/۳۷ تا ۱/۲۹ تن در هکتار در سال |
| الکساندر، ۱۹۸۸ | ۱۸ حوضه کوچک غیرکشاورزی با بستر غیرکربناتی در آمریکای شمالی، اروپا، استرالیا و زیمبابوه | ۰/۰۲ تا ۱/۲۷ تن در هکتار درسال |
| الکساندر، ۱۹۸۸ | حوضه های با سازند غالب سنگ آهک یا با سنگ شناسی عمدتا آتشفشانی | ۰/۱ تن درهکتار در سال |
| واتسون و اوون، ۱۹۷۹ | ایالت ایووا ایالات متحده آمریکا | ۰/۹۱ تن درهکتار در سال |
| باول و همکاران، ۱۹۹۰ | کشاورزی نرمال | ۳/۳۷ تن در هکتار در سال |
| باول و همکاران، ۱۹۹۰ | در شرایط ایده آل مدیریت خاک | ۱۱/۲۳ تن درهکتار در سال |
| باول و همکاران، ۱۹۹۰ | سنگ بستر خاک تشکیل شده از سنگ های آهکی | ۰/۰۹ تن در هکتار درسال |
| باول و همکاران، ۱۹۹۰ | مناطق مرطوب | ۰/۴۵ تن درهکتار در سال |

**روش سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا**

این روش با بازبینی در روش سرویس حفاظت خاک امریکا (۱۹۵٦) به‌وجود آمده است که در آن فرسایش قابل تحمل خاک "T" براساس خصوصیات لایه‌های زیر سطحی محدود کننده ریشه تعیین می‌شود. تشخیص لایه محدود کننده به مطلوب بودن خصوصیات مواد خاکی بالایی این لایه برای رشد گیاه اشاره دارد. هر چه لایه محدود کننده یا کم‌تر مناسب، به سطح خاک نزدیک‌تر باشد، توانایی نسبی خاک برای حفظ حاصلخیزی آن از طریق فرآیندهای طبیعی یا مدیریت شده کاهش می‌یابد. معیارهای تعیین فرسایش قابل تحمل خاک از طریق موارد زیر تخمین زده می‌شود (NRCS، ۲۰۰٦):

- شدت محدود کنندگی خصوصیات فیزیکی یا شیمیایی لایه‌های زیر سطحی
- خصوصیات حرارتی و رطوبتی خاک تحت تاثیر اقلیم
- امکان استفاده اقتصادی از عملیات مدیریتی برای رفع شرایط یا لایه‌های محدودکننده

مشروح معیارهای فوق و اثرات آنها در تعیین فرسایش قابل تحمل خاک در خاک‌ها و اقالیم مختلف امریکا در شرایط مدیریتی مختلف در پیوست راهنمای مذکور مندرج است. براساس این معیارها، راهنمای عمومی به‌شرح جدول ۳ ارائه شده است.

**تعیین حاصلخیزی خاک**

ظرفیت آب دردسترس، وزن مخصوص ظاهری، تهویه، اسیدیته و هدایت الکتریکی عواملی هستند که بیشترین تاثیر را بر رشد ریشه دارند. فرسایش، لایه سطحی حاصلخیزی خاک را از بین می‌برد و نیز موجب کاهش ظرفیت نگهداشت آب می‌شود که تاثیر عمده‌ای بر میزان تولید دارد (هال و همکاران، ۱۹۸۵). وجود مواد مغذی کافی و آب مورد نیاز رشد از جمله عوامل اساسی تولید محسوب می‌شوند (باکر و همکاران، ۲۰۰٤). هر گونه کاهش در عمق یا ضخامت خاک سطحی منجر به کاهش در توان تولید خاک خواهد شد، به طوری که با کاهش ۱۰ تا ۲۵ درصدی کارآیی مصرف آب، حتی تا ۲۰

Archive of SID

www.SID.ir

الی ٤٠ درصد حاصلخیزی اولیه خاک تنزل می‌یابد (کاونانگ، ١٩٩٨).

**جدول ٣- راهنمای عمومی تعیین فرسایش قابل تحمل خاک (NRCS، ٢٠٠٦)**

| عمق لایه محدود کننده (cm) | فرسایش قابل تحمل سالانه ($t\ ha^{-1}$) | | |
|---|---|---|---|
| | گروه ١ | گروه ٢ | گروه ٣ |
| ٠–٢٥ | ٢.٥ | ٢.٥ | ٧.٥ |
| ٢٥–٥٠ | ٢.٥ | ٥.٠ | ٧.٥ |
| ٥٠–١٠٠ | ٥.٠ | ٧.٥ | ١٠.٠ |
| ١٠٠–١٥٠ | ٧.٥ | ١٠.٠ | ١٠.٠ |
| > ١٥٠ | ١٢.٥ | ١٢.٥ | ١٢.٥ |

گروه ١: محدودیت‌ها معنی دار هستند یا لایه های محدود کننده دائمی دارند
گروه ٢: محدودیت‌ها به طور متوسط ریشه‌ها را محدود می‌کنند یا این محدودیت‌ها تاثیر کم‌تری در کاهش دائم حاصلخیزی خاک در یک اقلیم معین دارند
گروه ٣: در یک اقلیم معین، محدودیت‌ها را می‌توان از طریق فرآیندهای طبیعی یا مدیریتی برای رسانیدن سطح حاصلخیزی به حد خاک‌های فرسایش نیافته، رفع نمود

کاهش حاصلخیزی خاک در اثر فرسایش به ٠/٣ درصد در سال در دنیا بالغ می‌شود (بایگلار و همکاران، ٢٠٠٣). از نظر اقتصادی، فرسایش خاک مقدار مواد مغذی و در نتیجه تولید محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهد. آگاهی از این اثرات در خاک برای تجزیه و تحلیل اقتصادی فرسایش و حفاظت خاک مورد نیاز است (مارتا و همکاران، ٢٠٠٤). شاخص بهره وری (PI) با استفاده از معادله ٦ محاسبه می شود (مولن‌گرا و پایتون، ١٩٩٩ و پیرس و همکاران، ١٩٨٣):

$$PI = \sum_{i}^{n} (Ai * Ci * Di * Ei * RIi) \quad (٦)$$

که در آن:

Ai = کفایت ظرفیت آب دردسترس،

Ci= کافی بودن وزن مخصوص ظاهری

Di = کافی بودن اسیدیته

Ei = کفایت هدایت الکتریکی

RIi= عامل وزن‌دهی.

در این معادله عامل شوری خاک در خاک‌های غیر شور قابل اغماض است. شاخص حاصلخیزی خاک بین صفر و یک متغیر است (باجا و همکاران، ٢٠٠٢). ارزش یک مربوط به یک خاک بدون هر گونه محدودیت برای توسعه ریشه است (دلگادو و لوپز، ١٩٩٨). لال (١٩٨٤) از این مدل برای چندین خاک در نیجریه استفاده کرده و مشاهده کرد که به رغم تغییراتی که در توابع کفایت ایجاد شده است، تفاوت‌های معنی‌داری در رگرسیون های عملکرد مشاهده شده و مقادیر PI محاسبه شده وجود دارد. پژوهش‌های لوبو و همکاران (٢٠٠٥) و کینگ‌وو و همکاران (٢٠١٢) نیزنشان داد که از شاخص حاصلخیزی خاک می‌توان به عنوان معیاری برای تخمین فرسایش قابل تحمل خاک استفاده نمود.

نرم‌افزارEPIC[7] یک برنامه شبیه‌ساز برای بررسی اثرات فرسایش بر روی حاصلخیزی خاک و میزان تولید محصول است. اجزای این مدل شامل هیدرولوژی، اقلیم، فرسایش، عناصر غذایی، درجه حرارت خاک، رشد و نمو گیاه، شخم، کنترل محیط گیاه و جنبه‌های اقتصادی می‌باشد که در قالب چهار گروه عمده گیاه، خاک، اقلیم و

[7] Erosion productivity impact calculator

Archive of SID

www.SID.ir

مدیریت طبقه‌بندی می‌شوند و با تحلیل تاثیر این عوامل بر تولید و برآورد هدر رفت عناصر غذایی ناشی از فرسایش، برای برآورد فرسایش قابل قبول خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (ویلیامز و همکاران، ۱۹۹۰).

**مقادیر فرسایش قابل قبول در مناطق مختلف دنیا**

بیشتر محققان، ضخامت پروفیل خاک یا سرعت تشکیل خاک را برای محاسبات فرسایش مجاز مورد استفاده قرار می‌دهند. برای نمونه، محدوده ارقام ۲/۵ تا ۱۲/۵ تن در هکتار در سال در آمریکا مورد استفاده است. مقادیر فرسایش مجاز برای شمال غرب هیمالیا نیز در محدوده ۰/۵ – ۱۲/۵ تن در هکتار در سال با روش بومی شده سرویس حفاظت خاک آمریکا تعیین شده است (ماندال و شاردا، ۲۰۱۱). در حالی که لاکاریا و همکاران (۲۰۰۸) در هند مرکزی این مقادیر را برابر ۲/۵ تا ۱۲/۵ تن در هکتار در سال به‌دست آوردند. ژینگ وو (۲۰۱۲) پس از بررسی استانداردهای آمریکا و بر اساس نتایج تحقیقات منطقه‌ای، نوع و شدت فرسایش خاک، مقادیر فرسایش مجاز را برابر ۱۰ تن در هکتار در سال برای خاک‌های لسی، دو تن در هکتار در سال را برای خاک‌های تپه ماهوری و برونزدهای سنگی و ۱/۷۷ تن در هکتار در سال را برای خاک‌های تپه های صخره ای جنوب غربی و مناطق تپه ماهوری در این مناطق تعیین نمودند. نمونه‌هایی از مقادیر فرسایش مجاز در مناطق مختلف دنیا در جدول ٤ ارائه شده است.

**جدول ۴- مقادیر فرسایش مجاز در مناطق مختلف دنیا**

| محقق | مکان | فرسایش مجاز |
|---|---|---|
| اسمیت (۱۹۴۸) | خاک های Shelby و Marshall (خاک های شنی لومی عمیق با زهکشی خوب واقع در اراضی مسطح) | ۳ تا ۴ تن در هکتار در سال |
| ماندال و همکاران (۲۰۰۶) | شمال غرب هیمالیا | ۰/۵ – ۱۲/۵ تن در هکتار در سال |
| لاکاریا و همکاران (۲۰۰۸) | در هند مرکزی | ۲/۵ – ۱۲/۵ تن در هکتار در سال |
| بخش حفاظت آب چین (۱۹۹۷) | چین | ۱۰ تن در هکتار در سال برای خاک‌های لسی، دو تن در هکتار در سال برای سیاه خاک‌های مناطق شمالی (blackland)، تپه ماهوری و برونزدهای سنگی و ۱/۷۷ تن در هکتار در سال برای مناطق جنوبی با خاک‌های قرمز، تپه های صخره ای جنوب غربی و مناطق تپه ماهوری |
| لی یو و همکاران، (۲۰۰۵) | لس‌های دشت‌های مرتفع در چین | ۱۰ تن در هکتار در سال |

نتایج روش‌های برآورد فرسایش قابل تحمل خاک نشان از وجود نقائص و محدودیت‌هایی در کاربست آنها دارد به عنوان نمونه، مقدار فرسایش قابل تحمل برآورد شده با استفاده از روش تعیین ضخامت خاک برای لس‌های دشت‌های مرتفع در چین برابر ۱۰ تن در هکتار در سال ولی با روش معادله تعادل عناصر برابر ۰/۹ تن در هکتار در سال بدست آمده است (لی و همکاران، ۲۰۰۵). لیو و همکاران (۲۰۰۹) نیز به این نتیجه رسیدند که کاربرد روش معادله تعادل عناصر مقادیر تلفات قابل تحمل خاک را بسیار کمتر از واقعیت پیش‌بینی می‌کند. در روش تعیین ضخامت پروفیل خاک، خاک عمیق‌تر فرسایش قابل تحمل بیشتری دارد. با توجه به‌اینکه که سرعت هوازدگی سنگ بستر در خاک‌های عمیق آهسته‌تر است، نتایج بدست آمده با این روش کمتر از نتایج معادله تعادل عناصر خواهد بود. پژوهش وبل (۱۹۸۹) نشان می‌دهد که فرسایش قابل تحمل محاسبه شده با روش سرعت تشکیل خاک خیلی کم است. در روش سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا هم فرسایش قابل تحمل خاک بیشتر به ضخامت خاک وابسته است و سرعت تشکیل خاک در این روش برآورد نمی‌شود

Archive of SID

www.SID.ir

(سودهیشری و همکاران، ٢٠١٤). بنابراین با عنایت به اینکه عدد و رقم مشخصی برای تلفات قابل تحمل خاک در ایران وجود ندارد، لازم است تا مقادیر آن برای بهبود شرایط منابع اراضی و جلوگیری از آسیب‌های محیطی و اقتصادی برای هر ناحیه‌ای تعیین گردد و برای کاهش تلفات خاک برنامه‌ریزی و طرح‌های خاص در نظر گرفته شود. لذا این تحقیق با هدف تدوین روشی مناسب برای تعیین فرسایش قابل تحمل خاک و محدوده مقادیر تلفات قابل تحمل خاک در کشور انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در سطح کشور انجام شده است. ایران با مساحت ١٦٤،٨١٩،٥٠٠ هکتار دارای ١٣٤،٣٠٧،٨٣٩ هکتار منابع طبیعی (٨٢/٨ درصد مساحت کشور) شامل ١٤/٣ میلیون هکتار جنگل (٨/٨ درصد مساحت کشور)، ٢،٦٦٥،٠٦٧ هکتار بیشه‌زار و درختچه‌زار (١/٦ درصد)، ٨٤/٧ میلیون هکتار مرتع (٥٢/٣ درصد)، ٣٢/٦ میلیون هکتار بیابان (٢٠/١ درصد) است و ٣٣/٢ میلیون هکتار دیگر را زمین‌های کشاورزی و شهرها و غیره تشکیل می‌دهد. از نظر آب و هوایی ایران دارای آب و هوایی متنوع و متفاوت است. ارتفاع کوه‌های شمالی، غربی و جنوبی به قدری زیاد است که از تأثیر بادهای مرطوب دریای خزر، دریای مدیترانه و خلیج فارس در نقاط مختلف ایران جلوگیری می‌کند. آب و هوای قسمت غربی کشور مدیترانه‌ای است که در نواحی جنوبی، آب و هوای نیمه صحرایی گرم نیز بر آن تأثیر می‌گذارد. پوشش گیاهی ایران توجه به آب و هوا، تفاوت میان گیاهان و جانوران، در سه ناحیه خزری، بیابانی و کوهستانی شامل کاربری‌های مختلف جنگل، مراتع، بیابان و کشاورزی می‌باشد (مسعودیان، ١٣٨٢). در سواحل دریای خزر خاکهای اراضی پست و دشتهای آبرفتی، عمیق و از نظر زهکشی ضعیف است. خاکهای مناطق کوهستانی و تپه ماهورهای این منطقه معمولاً دارای پوشش گیاهی جنگلی است. در نواحی نیمه خشک خاکهای مناطق کوهستانی و تپه ماهورهای معمولاً کم عمق در حالی‌که خاکهای دشتها و دامنه‌های کوهستانها نسبتاً عمیق است و عمدتاً دارای پوشش مرتعی یا درختان یا درختان جنگلی پراکنده می‌باشد. کوهها و تپه ماهورهای نواحی خشک معمولاً برهنه و فاقد پوشش خاک است. این خاکها را به صورت چراگاههای فصلی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. خاکهای نواحی گرم و خشک در مناطقی مانند دشت خوزستان دارای خاکهای معمولاً عمیق و دارای بافت سنگین است (دیوان و فاموری، ١٩٦٤).

### روش تحقیق

بررسی منابع و پژوهش‌های انجام شده در مورد فرسایش قابل تحمل خاک نشان می‌دهد که روش سرویش حفاظت منابع طبیعی آمریکا می‌تواند با اعمال تغییراتی برای تدوین روش تخمین حدود کلاس‌های فرسایش قابل قبول خاک در ایران نیز استفاده شود. لذا ابتدا مطالعات ملی و بین المللی انجام شده بر روی فرسایش قابل تحمل جمع‌آوری شد. سپس اطلاعات و آمار کرت‌های فرسایشی، میزان فرسایش و رسوب‌دهی مناطق و اقالیم مختلف کشور در ٣١ عرصه از سطح کشور، مشتمل بر ١٧ عرصه مربوط به پلاتها جمع‌آوری شد. این اطلاعات، شامل ٢٩٢ پلات اندازه‌گیری فرسایش میباشد. طول دوره آماری ارقام اندازه‌گیری شده از پلاتها، عمدتاً به ١٠ تا ٣٠ سال میرسد. ضمناً پلاتهای احداث شده نیز دارای ابعاد متفاوتی بوده که از ٠/٥ در یک متر تا ابعاد استاندارد متغیر است (خواجوی و همکاران، ١٣٩٤). در مرحله بعد با استفاده از مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی ایران، با توجه به: فیزیوگرافی اراضی و نوع کاربری‌های عمده شامل زراعت آبی، دیم، مرتع، جنگل و بیابان، ضخامت خاک و اقلیم به عنوان معیارهای تعیین میزان فرسایش قابل تحمل خاک در کشور و محدوده مقادیر فرسایش قابل تحمل خاک در مناطق و اقالیم مختلف برای انواع کاربری‌های عمده بکار رفت. در این

Archive of SID

www.SID.ir

راستا ضمن در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر فرسایش آبی، مقادیر فرسایش براساس سه فاکتور کاربری، اقلیم و شیب تعیین داده شد. سپس داده‌های موجود، در پلاتهای آزمایشی به تفکیک کاربری اراضی، شرایط اقلیمی و کلاس شیب، در محیط Access مورد پردازش قرار گرفت و آماره‌های توصیفی داده‌های موجود فرسایش تعیین شد. براساس توضیحات یاد شده، تقسیمات کاربری شامل سه کاربری مرتع، دیمزار و جنگل بود. برای بررسی شرایط اقلیمی، از نقشه پراکنش اقلیمی روش دمارتن تهیه شده به‌وسیله جاماب و تلخیص شده به‌وسیله پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری (۱۳۹۱) استفاده شد .در این نقشه، طبقه‌بندی اقلیمی شامل شش طبقه اقلیمی خیلی‌مرطوب، مرطوب، نیمه‌مرطوب، مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و خشک است. برای بررسی خصوصیات شیب، از درجه‌بندی شیب براساس توپوگرافی و خطر فرسایش، از استانداردهای مؤسسه تحقیقات خاک و آب (۱۳٦۸) استفاده شد. با تلفیق نتایج این مطالعات، محدوده فرسایش سطحی و شیاری اندازه‌گیری شده با کرت‌های فرسایشی و تغییرات آن در کشور تعیین و روش NRCS (۲۰۰٦) برای تعیین فرسایش قابل تحمل خاک بومی‌سازی شد.

## نتایج

### مقادیر فرسایش در کرت‌های فرسایش

با توجه به اینکه اصولا فرسایش مجاز با تکیه به روی فرمول جهانی فرسایش و تعیین فرسایش سطحی و شیاری انجام می‌گیرد، می توان از نتایج پلات‌های فرسایش برای تعیین محدوده واقعی ارقام فرسایش رخ داده در سطح کشور جهت داشتن ایده‌ای از محدوده تغییرات فرسایش مجاز بهره جست (عرب خدری، ۱۳۹۱ و کرک‌بای، ۲۰۰۱) که نتایج آن در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

**جدول ۵- نتایج ارزیابی مقادیر فرسایش و تلفات خاک با روش کرت‌های فرسایش (t/ha/y)**

| روش مورد مطالعه | متوسط | حداقل | حداکثر | میانه | کشیدگی | چولگی | فراوانی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کرت فرسایش | ۱/۳۱ | ۰/۰ | ۳۳/۹۶ | ۰/۰۵ | ۲۵/۴۳ | ۴/۸۶ | ۲۹۲ |

**جدول ۶- مقادیر تلفات خاک (t/ha/y) در کرت‌های فرسایش در کاربری‌های مختلف**

| کاربری | حداقل | متوسط | حداکثر | میانه | کشیدگی | چولگی | فراوانی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| جنگل | ۰/۰ | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰۳ | -۵/۹۳ | ۰/۰۱ | ۴ |
| مرتع | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | ۲/۴ | ۰/۰۲ | ۷۳/۵۹ | ۷/۵۳ | ۱۸۳ |
| دیم | ۰/۰۰۶ | ۱/۱۷ | ۶/۳۳ | ۰/۱۴ | ۶/۹۹ | ۲/۶۱ | ۹۱ |
| اراضی مارنی | ۱۱/۹۷ | ۱۹/۹ | ۳۳/۹۶ | ۱۷/۷۸ | -۰/۶۴ | ۰/۷۰ | ۱۳ |

توجه به جداول فوق، مقادیر فرسایش در کشور با میانگین ۱/۳۱ و حداکثر ۳۳/۹٦ تن در هکتار در سال متغیر است. میزان تلفات خاک در کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهد اراضی جنگلی کمترین میزان تلفات خاک را دارا بوده و به‌ترتیب مراتع، دیم‌زارها و اراضی مارنی در مراتب بعدی قرار گرفته‌اند. مقادیر فرسایش پلات‌های آزمایشی مستقر در مراتع، افزایش ٦۰ تا ۷۰ برابری از تلفات را در مقایسه با اراضی جنگلی نشان می‌دهند. مقایسه مقادیر تلفات خاک در دیم‌زارها نیز بیانگر این است که ٤۰۰ تا ۵۰۰ برابر نسبت به اراضی جنگلی، تلفات بیشتری رُخ می‌دهد. اراضی مارنی نیز، افزایش چند ده هزار برابری از تلفات خاک را نسبت به جنگل‌ها نشان می‌دهند. مقایسه مقادیر تلفات خاک بین مراتع و دیم‌زارها، افزایش تقریباً هفت برابری از تلفات دیم‌زارها

Archive of SID

www.SID.ir

را نشان می‌دهد. در صورتی‌که این مقایسه با اراضی مارنی صورت بپذیرد، افزایش از صد تا چند صد برابر می‌شود. طبق اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در اراضی مارنی، میزان حداقل فرسایش در این اراضی در مقایسه با فرسایش حداکثری در دیم‌زارها و مراتع، بین دو تا شش برابر اختلاف را نشان می‌دهد. این موضوع حاکی از این است که اراضی مارنی در بهترین حالت، شرایط کاملاً آماده‌ای از وقوع فرسایش را دارا می‌باشد. از نظر اثرات اقلیمی اگر مقادیر تلفات و فرسایش خاک در پلات‌های آزمایشی مورد بررسی قرار گیرد، نتایج بسیار جالبی مشاهده می‌شود. بطوری که در پلات‌های آزمایشی، اقلیم نیمه‌خشک تقریباً جزء اقلیم‌هایی است که میزان فرسایش در آن بسیار زیاد بوده و بعد از آن اقلیم‌های نیمه‌مرطوب، خشک و خیلی‌مرطوب قرار دارند. این موضوع بدین گونه می‌تواند توجیه شود که در اقلیم مرطوب بدلیل پوشش گیاهی فراوان و در اقلیم خشک به دلیل بارش کم، فرسایش کم است. در حالیکه در اقالیم نیمه خشک و نیمه مرطوب پوشش کافی که بتواند در برابر فرسایندگی بارش مقاومت کند وجود ندارد. توجه به مقادیر شیب در پلات‌های آزمایشی نیز نتایج دیگری را بازگو می‌کند. بطوری که دامنه شیب بین ١٢-٨ درصد بیشترین میزان فرسایش و دامنه شیب ٧٠-٤٠ درصد کمترین میزان فرسایش را نشان می‌دهد.

**طبقه بندی مناطق مختلف ایران از نظر فرسایش قابل قبول**

تنوع آب و هوا و اقلیم مختلف، وجود پستی و بلندی‌های متعدد به‌اضافه تنوع زیاد رستنی‌ها موجب شده است که گروه‌های متعدد خاک در مناطق اصلی توپوگرافی و اقلیم کشور به‌وجود آید. با باتوجه به استانداردها و دستورالعمل‌های موجود موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تمامی منابع اراضی از نظر شکل ظاهری و فیزیوگرافی به انواع تیپ‌های اراضی اصلی[8] و هر یک از این تیپ‌ها بر اساس خصوصیات آنها از نظر شکل ظاهری، قابلیت استفاده، نوع مواد تشکیل‌دهنده، پستی و بلندی، فرسایش، ارتفاع از سطح دریا، عمق خاک و پوشش گیاهی به واحدهای اراضی[9] تقسیم می‌گردد که می‌تواند در پهنه‌بندی مناطق مختلف با توجه به شرایطی که اشاره شد در تعیین روش مناسب برآورد فرسایش قابل تحمل مورد استفاده قرار گیرد.

**روش مناسب برای تعیین فرسایش قابل تحمل خاک در ایران**

با توجه به این که در ایران تحقیقاتی در زمینه تعیین فرسایش قابل قبول انجام نگرفته و عوامل موثر بر آن حتی با استفاده از روش‌های موجود در دنیا ارزیابی نشده است به‌نظر می‌رسد در این زمینه هیچ گونه اطلاعاتی برای برآورد فرسایش قابل تحمل در اختیار نباشد. به این دلیل با بررسی تحقیقات انجام شده در دنیا برای تخمین این شاخص مهم و با توجه به جمع‌بندی نتایج بررسی‌ها، این نتیجه به‌دست می‌آید که استفاده از جدول تعیین فرسایش قابل قبول، پیشنهادی سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا برای کاربرد در ایران به شرط لحاظ اصلاحاتی عملی در شرایط فعلی مناسب باشد. کاربرد این جدول به این دلیل قابل توصیه است که در حال حاضر نقشه ارزیابی منابع خاکی و قابلیت اراضی موسسه تحقیقات خاک و آب در مقیاس ٢٥٠٠٠٠: ١ در دسترس کاربران می‌باشد. در این نقشه تیپ‌ها و واحدهای اراضی کشور از نظر فیزیوگرافی و شکل ظاهری زمین تعیین و در شرح مشخصات این اراضی ضخامت، عمق و نوع لایه محدود کننده خاک و کاربری ارائه شده است (لنکاو همکاران، ٢٠١٤). استفاده از استانداردهای سایر کشورهای جهان از جمله سازمان حفاظت منابع طبیعی امریکا نیز مشروط بر سازگاری آن‌ها با شرایط ایران، قابل توصیه است اما نکته‌ای که در ارتباط با مقدار خاکسازی و بالطبع فرسایش قابل تحمل باید در نظر داشت اثرات شخم و کشت و کار و کوددهی است. به عقیده (باول و

[8] Land type

[9] Land unit

Archive of SID

www.SID.ir

همکاران، ۱۹۹۰) تشکیل خاک در جهان بین ۰/۱ تا ۷۷ تن در سال متغیر است که با اغماض از مقادیر خیلی زیاد، متوسط سرعت تشکیل خاک در دنیا حدود یک تن در هکتار در سال خواهد بود (زاخار، ۱۹۸۲). در اثر افزایش تهویه و اثر فعالیت‌های میکروبی در خاک‌های کشاورزی، سرعت خاک‌سازی تا ۱۰ برابر افزایش می‌یابد (بنت، ۱۹۳۹). به این ترتیب فرسایش قابل تحمل این گونه اراضی نیز بیش از خاک‌های مشابه در شرایط بهره‌برداری طبیعی است. از طرف دیگر بر اساس مطالعات (الکساندر و همکاران، ۱۹۸۸).

در مناطق جنگلی و پر باران شدت خاکسازی کمتر از ۱/۲ تن در هکتار می‌باشد. به‌نظر می‌رسد این مقدار در مناطق خشک و کم باران که عمده سطح ایران را پوشانیده است بسیار کم‌تر باشد؛ بنابراین در استفاده از روش‌هایی مانند روش سرویس حفاظت خاک امریکا که مبنای آن عمق خاک و ویژگی‌های خاک رویی و لایه محدود کننده است در عرصه‌های منابع طبیعی باید بسیار محتاطانه عمل کرد. با مقایسه میزان تشکیل خاک در عرصه‌های منابع طبیعی (۰/۲-۲ تن در هکتار در سال) با دامنه فرسایش قابل تحمل سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا (۲/۵-۱۲/۵ تن در هکتار در سال)، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ارقام دفتر مذکور برای شرایط شخم و کشت و کار مناسب‌تر است. لذا در این تحقیق برای به‌دست آوردن تلفات قابل تحمل خاک در عرصه‌های منابع طبیعی ایران، با توجه به نتایج مقادیر فرسایش بدست آمده از کرت‌های فرسایش، ارقام سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا (جدول ۳) به استناد (بنت، ۱۹۳۹) بر ۱۰ تقسیم شدند. این برآورد محافظه‌کارانه‌تر بوده و از نظر زیست‌محیطی و اطمینان از کاهش اثرات زیان‌آور فرسایش در پایین‌دست قابل قبول‌تر به‌نظر می‌رسد. به این ترتیب محدوده فرسایش قابل تحمل کشور در عرصه‌های منابع طبیعی، بین ۰/۲۵ تا ۱/۲۵ تن در هکتار در سال در نظر گرفته شد. هم‌چنین به استناد نتایج کرت‌های فرسایشی، ارقام پیشنهادی برای اراضی با کاربری جنگلی ناحیه خزر، می‌تواند تا ۱۰ برابر یعنی مطابق با روش پیشنهادی سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا و در اراضی جنگلی مناطق نیمه خشک و دیم‌زارها تا پنج برابر (میانگین مقادیر دو روش سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا (۲۰۰٦) و بنت (۱۹۳۹) در نظر گرفته شوند.

بنابراین با توجه به مطالبی که مطرح شد، در جدول ۷ راهنمای تعیین مقدار تلفات قابل تحمل در مورد خاک‌های کشور و معادل آن در نقشه ارزیابی منابع خاکی و قابلیت اراضی ایران ارائه شده است که برای تهیه نقشه فرسایش قابل تحمل در کشور می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

**رهیافت ترویجی**

بیشینه تلفات قابل قبول خاک به عنوان آستانه حد بالایی از فرسایش خاک است که بتواند بدون کاهش بهره وری طولانی مدت، در یک خاک معین صورت پذیرد (باهاتاچاریا و همکاران ۲۰۰۸). بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد فرسایش قابل تحمل را می‌توان با استفاده از یک و یا چندین عامل برآورد نمود که هر کدام از آنها مزایا و معایب خود را دارند (الکساندر، ۱۹۸۸). از اواسط دهه ٦۰ سرویس حفاظت خاک آمریکا این عامل را برای طراحی برنامه‌های حفاظتی خود با نام T-value به‌کار برد. بعدا سازمان حفاظت منابع طبیعی امریکا (NRCS۲۰۰٦) تغییراتی در برآورد حد قابل تحمل تلفات خاک ایجاد کردند بطوری‌که محدودیت تحمل تلفات خاک از ۲/۵ به ۱۲/۵ تن در هکتار تغییر یافت.

در هند حد تحمل تلفات خاک برای برنامه‌ریزی فعالیت‌های حفاظت خاک به طور پیش فرض خاک ۱۱/۲ تن در هکتار در سال انتخاب شده است (لاکاریا، ۲۰۰۸).

Archive of SID

www.SID.ir

**جدول ۷- مقادیر پیشنهادی تلفات خاک قابل تحمل در ایران (تُن در هکتار در سال)***

| ضخامت خاک (سانتی‌متر) | تلفات خاک قابل تحمل# | | شکل ظاهری اراضی |
|---|---|---|---|
| | لایه زیرین مناسب $ | لایه زیرین نامناسب @ | |
| ۰-۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | کوه‌ها، تپه‌ها، فلات‌ها و دشت‌های مرتفع بدون خاک یا با خاک بسیار کم عمق |
| ۲۵-۵۰ | ۰/۵ | ۰/۲۵ | دامنه کوه‌ها، تپه‌ها، فلات‌ها و دشت‌های مرتفع، واریزه‌ها و آبرفت‌های با خاک کم عمق تا نیمه عمیق |
| ۵۰-۱۰۰ | ۰/۷۵ | ۰/۵ | فلات‌ها و دشت‌های مرتفع، واریزه‌ها و آبرفت‌های با خاک نیمه عمیق تا عمیق |
| ۱۰۰-۱۵۰ | ۱ | ۰/۷۵ | کلیه اراضی دارای خاک عمیق |
| >۱۵۰ | ۱/۲۵ | ۱ | کلیه اراضی دارای خاک خیلی عمیق |

* افزایش ضخامت خاک ناشی از ته نشست گرد و غبار در این جدول لحاظ نشده است.

# مقادیر ذکر شده در جدول راهنمایی برای تخمین فرسایش قابل تحمل در مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک را ارائه می‌کند. برای اراضی جنگلی مناطق زاگرس و سایر جنگل‌های واقع در مناطق نیمه خشک تا نیمه مرطوب و دیمزارهای سراسر کشور می‌توان ارقام جدول را تا پنج برابر افزایش داد. در اراضی جنگلی حاشیه دریای مازندران می‌توان ارقام فرسایش را تا ۱۰ برابر در نظر گرفت. در مورد خاک‌دشت‌ها که زراعت آبی می‌شوند از مقادیر پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا استفاده شود.

$ خاک‌های با لایه‌های زیری مناسب که در اثر شخم، کوددهی، افزایش مواد آلی و سایر عملیات مدیریتی تجدید می‌شوند.

@ خاکهای با لایه‌های زیری نامناسب مانند، سنگ سخت، سنگ نرم که تجدید نمی‌شوند و یا تجدید آنها اقتصادی نیست.

تحقیقات ژیائو یونگ و شی جی (۲۰۱۱) نشان داد مقادیر ارزش T در مناطق کارستی بسیار کم‌تر از مقادیر پیشنهادی دفتر حفاظت خاک آمریکا می‌باشد. در استرالیا الیزابت و همکاران (۲۰۱۱) پیشنهاد دادند میزان فرسایش آبی خاک در دامنه‌های شیب‌ها را می‌توان به عنوان شاخص پایداری در محیط زیست بکار برد. در این میان هزینه‌ها، زمان و دقت مورد نیاز می‌توانند در انتخاب روش مناسب تعیین‌کننده باشند. در این تحقیق با توجه به این که در ایران تحقیقاتی در زمینه تعیین فرسایش قابل قبول انجام نگرفته است و با توجه به جمع‌بندی نتایج بررسی‌ها، به‌نظر می‌رسد استفاده از جدول تعیین فرسایش قابل قبول، پیشنهادی سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا برای کاربرد در ایران به شرط اعمال اصلاحاتی در شرایط فعلی مناسب باشد. تشکیل خاک در جهان بین ۱/. تا ۷۷ تن در سال متغیر است که با اغماض از مقادیر خیلی زیاد، متوسط سرعت تشکیل خاک در دنیا حدود یک تن در هکتار در سال خواهد بود (زاخار، ۱۹۸۲ و باول و همکاران، ۱۹۹۰) که در اثر افزایش تهویه و اثر فعالیت‌های میکروبی در خاک‌های کشاورزی، سرعت خاک‌سازی تا ۱۰ برابر افزایش می‌یابد (بنت، ۱۹۳۹). از طرف دیگر مطالعات (الکساندر و همکاران، ۱۹۸۸) نشان داده است که در مناطق جنگلی و پر باران شدت خاکسازی کمتر از ۱/۲ تن در هکتار می‌باشد. با مقایسه میزان تشکیل خاک در عرصه‌های منابع طبیعی (۰/۲-۲ تن در هکتار در سال) با دامنه فرسایش قابل تحمل سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا (۲/۵-۱۲/۵ تن در هکتار در سال)، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ارقام دفتر مذکور برای شرایط شخم و کشت و کار مناسب‌تر است. لذا در این تحقیق برای به‌دست آوردن تلفات قابل تحمل خاک در عرصه‌های منابع طبیعی ایران و با توجه به نتایج مقادیر فرسایش بدست آمده از کرت‌های فرسایش، ارقام سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا (جدول ۳) با استناد به (بنت، ۱۹۳۹) بر ۱۰ تقسیم شدند. به این ترتیب محدوده فرسایش قابل تحمل کشور در عرصه‌های منابع طبیعی، بین ۰/۲۵ تا ۱/۲۵ تن در هکتار در سال در نظر گرفته شد. به همین ترتیب به استناد نتایج کرت‌های فرسایشی، ارقام پیشنهادی برای اراضی با کاربری جنگلی ناحیه خزر، می‌تواند مطابق با روش پیشنهادی سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا و در اراضی جنگلی مناطق نیمه خشک و دیم‌زارها تا پنج برابر میانگین مقادیر دو

Archive of SID

www.SID.ir

روش سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا (۲۰۰۶) و بنت (۱۹۳۹) در نظر گرفته شوند؛ بنابراین می‌توان مطالب را چنین جمع‌بندی کرد که فیزیوگرافی یا شکل ظاهری اراضی، لایه محدود کننده، نوع آن و عمق قرارگیری آن در خاک، ضخامت خاک و اقلیم از جمله شاخص های حداقلی هستند که برای روش تعیین فرسایش قابل قبول خاک در ایران مورد نیاز است. از بین عوامل متعدد تاثیرگذار بر میزان فرسایش قابل تحمل سرعت تشکیل خاک، ضخامت خاک سطحی و لایه محدود کننده رشد گیاه می‌باشد. در این تحقیق میزان فرسایش قابل تحمل خاک برای ایران تعیین شد که مقدار آن اولا در اراضی منابع طبیعی و کشاورزی، اقالیم مختلف، برحسب ضخامت خاک و لایه محدود کننده رشد گیاه متفاوت می-باشد. طبق نتایج بدست آمده مقادیر کمینه فرسایش قابل تحمل خاک در اراضی منابع طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می تواند بین کمینه ۰/۲۵ تا بیشینه ۱/۲۵ تن در هکتار در سال متغیر باشد. این مقادیر در اراضی کشاورزی و نیز جنگل های شمال بین ۲/۵ تا ۱۱/۲۵ تن در هکتار در سال بدست آمد. برای اراضی جنگلی مناطق زاگرس و سایر جنگل‌های واقع در مناطق نیمه خشک تا نیمه مرطوب کشور، فرسایش قابل تحمل بین ۱/۲۵ تا ۶/۲۵ تن در هکتار در سال خواهد بود.

با توجه به اینکه مفهوم فرسایش قابل تحمل بر اساس حاصل‌خیزی خاک و سرعت تشکیل خاک کافی نیست و اثرات برون‌عرصه‌ای (off-site) فرسایش خاک نیز باید در نظر گرفته شود؛ بنابراین، تحقیقات بیشتری برای تعیین تلفات قابل‌تحمل خاک به شیوه‌ای علمی‌تر مورد نیاز است. به امید آن که توجه به روش پیشنهادی این پژوهش در برآورد حد قابل تحمل تلفات خاک، برنامه‌ریزی حفاظت اراضی و اولویت‌بندی مناطق برای فعالیت‌های حفاظت خاک در کشور را تسهیل کند. بدیهی است این روش پیشنهادی کامل نبوده و لازم است مورد بحث و بررسی بیشتر قرار گیرد.

## فهرست منابع


۱. خواجوی ا، م. عرب‌خدری، م. ح. مهدیان و ص. شادفر، ۱۳۹٤، بررسی مقادیر فرسایش و تلفات خاک در سطح کشور با استفاده از ارقام اندازه‌گیری شده روش سزیم ۱۳۷ و پلاتهای آزمایشی، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال ششم، شماره ۱۱ ، ص ص ۱۳۷-۱۵۱.

۲. سرمدیان ف. ۱۳۹۱ . شدت هوادیدگی و تشکیل خاک . مجموعه سخنرانی‌های همایش تخصصی بررسی و تخمین فرسایش مجاز خاک در ایران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، بهمن ۱۳۹۱، ص ص ۳-۱۷.

۳. سکوتی اسکوئی. ر. ۱۳۹۰. مقدمه ای بر فرسایش مجاز و روش‌های اندازه‌گیری آن. انتشارات پلک. ۱۲۲ ص.

٤. عرب‌خدری، م. ۱۳۹۱ . جمع‌بندی همایش تخصصی روش‌های بررسی و تخمین فرسایش مجاز خاک در ایران . مجموعه سخنرانی‌های همایش تخصصی بررسی و تخمین فرسایش مجاز خاک در ایران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، بهمن ۱۳۹۱، صص ۵۰-٥٤

۵. مسعودیان، س ا، ۱۳۸۲، نواحی اقلیمی ایران، مجله جغرافیا و توسعه :پاییز و زمستان ,دوره , 1 شماره پیاپی ۲، ص ص ۱۷۱-۱۸٤.

6. Alewell C., M. Egli, and K. Meusburger. 2015. An attempt to estimate tolerable soil erosion rates by matching soil formation with denudation in Alpine grasslands. J. soils and sediments. V. 15, (6), pp 1383-1399

7. Alexander EB 1988. Rates of soil formation: implications for soil-loss tolerance. Soil Science 145(1): 37-45.

8. Alexander, E.B. 1986. Rates of soil formation from bedrock or consolidated sediments. Physical Geography 6 (1): 26–42.


Archive of SID

www.SID.ir

9. Bagarello, V., Stefano, C., Ferro, V., and Pampalone, V. 2015. Establishing a soil loss threshold for limiting rilling. J. Hydrol. Eng. 20, Soil erosion and sediment yield modeling, C6014001.
10. Baja S, Chapman DM and Dragovich D 2002. A conceptual model for defining and assessing land management units using a fuzzy modelling approach in GIS environment. Environmental Management 29(5): 647-661.
11. Bakker, M.M., G. Govers and M.D.A. Rounsevell. 2004. The crop productivity- erosion relationship: an analysis based on experimental work. Journal of Catena, 57: 55-76.
12. Bennett, H. H. 1939. Soil conservation. McGraw-Hill Book Co., Inc.
13. Bhattacharya P., V.K. Bhatt and D. Mandal. 2008. Soil loss tolerance limits for planning of soil conservation measures in Shivalik–Himalayan region of India. Catena. 73 > 1 > 117-124
14. Bhattacharyya P, Mandal D, Bhatt VK and Yadav RP 2011. A quantitative methodology for estimating soil loss tolerance limits for three states of northern India. Journal of Sustainable Agriculture 35(3): 276-292.
15. Csaba C, Robert P and Attila B 2001. Soil erosion, soil loss tolerance and sustainability in Hungary. 3rd International Conference on Land Degradation and Meeting of the IUSS Sub-commission C- Soil and Water Conservation, 17-21 Sept 2001, Rio de Janeiro, Brazil.
16. Delgado F and Lopez R 1998. Evaluation of soil degradation impact on the productivity of Venezuelan soils. Advances in GeoEcology 31: 133-142.
17. Delgado F, Terrazas R and Lopez R 1998. Planificación de la conservación de suelos en cuencas altas, utilizando relaciones erosion-productividad. Agronomía Tropical 48(4): 395-411.
18. Dewan, ML. and J Famouri. 1964. The soils of Iran. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
19. Elisabeth B., G. Hancock and S. Wilkinson.. 2011. 'Tolerable' hilllslope soil erosion rates in Australia: Linking science and policy. j. Agriculture Ecosystems & Environment. 144, (1): 136-149
20. Hacisalihoglu S, Mert A, Negiz G and Muys B 2010. Soil loss prediction using universal soil loss equation (USLE) simulation model in a mountainous area in Aglasun district, Turkey. African Journal of Biotechnology 9(24): 3589-3594.
21. HALL, G. F.; LOGAN, T. J.; YOUNG, K. K. 1985. Criteria for determining tolerable erosion rates. In: Follett, R. F.; Stewart, B. A. (eds) Soil Erosion and Crop Productivity. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin
22. http://soils.usda.gov/use/worldsoils/landdeg/papers/ersnpaper.html
23. http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054224
24. Jha P and Mandal D 2010. Maximum allowable soil erosion rate under different land forms of Uttarakhand. Journal of Indian Society of Soil Science 58(4): 422-427.
25. Johnson, L.C. 1987. Soil loss tolerance: factor myth, J. soil and water conservation 42 (3): 155–160.
26. Kereselidze DN, Matchavariani LG, Kalandadze BB and Trapaidze VZ 2013. Allowable soil erosion rates in Georgia. Eurasian Soil Science 46(4): 438-446.
27. Kirkby, M. 2001. From plot to continent: reconciling fine and coarse scale erosion models. In: Sustaining the Global Farm. Eds: Stott, D.E., Mohtar, R.H., Steinhardt, G.C. 860-870.
28. Kuznetsov MS and Abdulkhanova DR 2013. Soil loss tolerance in the central chernozemic region of the European part of Russia. Eurasian Soil Science 46(7):802-809.
29. Lakaria B.L., H. Biswas and D. Mandal. 2008. Soil loss tolerance values for different physiographic region of Central India, soil use and management, 24: 192–198.
30. Lal R 1984. Soil erosion from arable lands and its control. Advances in Agronomy 37: 238-248.
31. Lenka NK, Mandal D and Sudhishri S 2014. Permissible soil loss limits for different physiographic regions of West Bengal. Current Science 107(4): 665-670.


Archive of SID

www.SID.ir

32. Li L., Z.H. Zhou and G.C. Liu. 2005. The present situation and conceive of soil loss tolerance Study, advance in earth science, 20(9): 65–72.
33. Liu G, Li L, Wu L, Wang G, Zhou Z and Du S 2009. Determination of soil loss tolerance of an entisol in southwest Chiana. Soil Science Society of America
34. Lobo D, Lozano Z and Delgado F 2005. Water erosion risk assessment and impact on productivity of a Venezuelan soil. Catena 64: 297-306.
35. Medeiros GOR, Giarolla A, Sampaio G, Marinho MA. Estimates of Annual Soil Loss Rates in the State of São Paulo, Brazil. Rev Bras Cienc Solo. 016;40:e0150497.
36. Mandal D and Sharda VN 2011. Assessment of permissible soil loss in India employing a quantitative bio-physical model. Current Science 100(3): 383-390.
37. Mandal D. K. S. Dadhwal, O. P. S. Khola and B. L. Dhyani.. 2006. Adjusted T values for conservation planning in Northwest Himalayas of India J. soil and water conservation, 61(6):391-397.
38. Mandal D., V.N. Sharda and K.P. Tripathi.. 2010. Relative efficacy of two biophysical approaches to assess soil loss tolerance for Doon Valley soils of India. Doi: 10.2489/jswc.65.1.42 J. soil and water conservation, V. 65, (1) 42-49
39. McBratney AB and Odeh IOA 1997. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. Geoderma 77: 85-113.
40. Morgan, R.P.C. 2005. Soil Erosion and Conservation, 3rd edition. Blackwell Publishing.
41. Mulengera MK and Payton RW 1999. Modification of the productivity index model. Soil and Tillage Research 52(1-2): 11-19.
42. Nearing, M. 2002. Towards a new definition of soil loss tolerance for the United States, International Soil Conservation Organization Conference, Conference abstracts.
43. Neill LL 1979. An evaluation of soil productivity based on root growth and water depletion. MS thesis, University of Missouri, Columbia.
44. Pierce F.J., W.E. Larson and R.H. Dowdy. 1984. Soil loss tolerance: maintenance of long-term soil productivity, J. soil and water conservation, 39(2):136–138.
45. Pierce FC, Larson WE, Dowdy RH and Graham WA 1983. Productivity of soils: assessing long- term changes due to erosion. Journal of Soil and Water Conservation 38: 39-44.
46. Rusanov AM 2006. The integrated assessment of soil erosion resistance. Eurasian Soil Science 39(8): 879-884.
47. Schertz, D.L. 1983 The base for soil loss tolerance, J. soil and water conservation, 38 (1) (1983), pp. 10–14. .
48. Sharda V. N., Mandal D, and Ojasvi, PR. 2013. Identification of soil erosion risk areas for conservation planning in different states of India. J. Environ Biol. 34(2):219-26.
49. Shtompel YA, Lisetskii FN, Sukhanovskii YP and Strelnikova AV 1998. Soil loss tolerance of brown forest soils of northwestern Caucasus under intensive agriculture. Eurasian Soil Science 31(2): 185-190.
50. Singh S 2011b. Assessment of soil loss tolerance in submontane Punjab. MSc thesis, Punjab Agricultural University, Ludhiana, Punjab, India.
51. Singh V 2011a. Evaluation of physical, chemical and morphological characteristics of Bhadiar microwatershed in relation to soil erosion and crop productivity. MSc thesis, Punjab Agricultural University, Ludhiana, Punjab, India.
52. Skidmore, E.L. 1982 Soil loss tolerance. In: M.K. David, Editor, Determinants of soil loss tolerance, ASA Spec. Publ. vol. 45, ASA, Madison,87–93.
53. Smith, D.D. 1941. Interpretation of soil conservation data for field use, Agriculture Engineering, 22:173–175.
54. Stamey WL and Smith RM 1964. A conservation definition of erosion tolerance. Soil Science 97: 183-186.
55. Sudhishri S, Kumar A, Singh JK, Dass A and Nain AS 2014. Erosion tolerance index under different land use units for sustainable resource conservation in a Himalayan watershed using remote sensing and geographic information system (GIS). African Journal of Agricultural Research 9(41): 3098-3110.


Archive of SID

www.SID.ir

56. U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service (USDA-NRCS). 1999. National soil survey handbook: 430-VI, U.S. Government printing office, Washington D.C.
57. U.S. Department of agriculture, agricultural research service and soil conservation service. 1956. Joint conference on slope-practice, Washington, D.C.
58. Velbel M.A. 1989. Discussion of "rate of soil formation: implication for soil loss tolerance" by E.B, Alexander. soil science, 148 (1), pp. 71–74.
59. Velbel MA 1985. Geochemical mass balances and weathering rates in forested watersheds of the southern Blue Ridge. American Journal of Science 285(10): 904-930.
60. Verheijen F.G.A., R.J.A. Jones, R.J. Rickson and C.J. Smith. 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. J. earth-science reviews, volume 94, (1–4), PP. 23–38.
61. Wakatsuki T. and A. Rasyidin. 1992 Rates of weathering and soil formation, Geoderma, 52 (34), pp. 251–263.
62. Wischmeier W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning, USDA, Agric. handbooks vol. 537, p. 2.
63. Wymore AW 1993. Model-based systems engineering: an introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design. CRC Press, Boca Raton, FL.
64. Xiao-yong, B. and W. Shi-jie. 2011. Relationships between soil loss tolerance and karst Rocky desertification. J. of natural resources, V. 26. (8), 1315-1323
65. Xingwu D, Xie Y, Liu B, Liu G, Feng Y and Gao X 2012. Soil loss tolerance in the black soil region of northeast China. Journal of Geographical Sciences 22(4): 737-751. 109

Archive of SID

www.SID.ir

# Developing a Suitable Method for Determining Soil Loss Tolerance in Iran

**R. Sokouti [1] and M. Arabkhedri**

Soil Conservation and Watershed Management Research Department, West Azarbayjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Uromiyeh, Iran**. rezasokouti@gmail.com**

Soil Conservation and Watershed Management Institute, AREEO, Tehran, Iran.

**mahmood.arabkhedri@gmail.com**

**Received: May 2016, and Accepted: March 2017**

## Abstract

Soil loss tolerance plays an important role in soil conservation programs. As no well-documented soil loss tolerance values are currently available for Iran, the present study was conducted to determine well-founded limits of tolerable soil loss in Iran. For this purpose, a preliminary survey was conducted of the various definitions of tolerable soil loss reported in the literature, the factors involved in the process, the relevant estimation methods, and the advantages/disadvantages associated with each estimation method. The data currently available on Iran were compared with those thus collected to derive and develop an appropriate method for soil loss tolerance estimation in Iran. The data collected on 292 erosion plots were subjected to analysis and such factors as soil thickness, limiting layer, land use, and climate were selected as the criteria to be used in the determination of soil erosion tolerance. The tolerance values thus obtained were then tabulated to classify the factors into five categories. Based on this classification, the allowable limits of tolerable soil loss in (semi-)arid rangelands might range from a minimum of 0.25 to a maximum of 1.25 ton/ha/year. These values might have a five-fold increase for the forests located at the Zagros Range, those in semi-arid to semi-humid areas, and dry farms. Moreover, a ten-fold increase might be allowed in the coastal forests along the Caspian Sea. Finally, the values reported in the USDA recommended by US Soil Conservation Service are suggested for irrigated lands in Iran.

**Key words**: Soil thickness, Soil conservation, Soil loss tolerance, Soil formation rate.

Archive of SID

[1] Corresponding author: West Azarbayjan Agricultural and Natural Resources Research Center, Uromieh, Iran.

*www.SID.ir*