

تدوین روش مناسب برای تعیین فرسایش قابل تحمل خاک در ایران

رضا سکوتی اسکوئی^۱ 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.arabkhdri@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 کمیته 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.

مقدمه

منظور از فرسایش زمین شناسی یا فرسایش طبیعی این است که این گونه فرسایش منحصرنا نتیجه عملکرد طبیعت است. در فرسایش طبیعی که در طی زمان‌های بسیار طولانی صورت می‌گیرد، منجر به تشکیل خاک می‌شود (همسات و همکاران، ۱۹۹۷). به عبارت دیگر، در این نوع فرسایش، خاکسازي بیشتر از فرسایش خاک بوده و در نتیجه ضخامت پروفیل خاک افزایش می‌یابد. در حالی که فرسایش تسریعی یا تشدیدي به فرسایشی اطلاق می‌شود که انسان با بهره برداری نادرست از اراضی، بر پایداری تولید خاک تاثیر می‌گذارد (مورگان، ۲۰۰۵). در فرسایش تشدیدي، مقدار فرسایش از خاکسازي بیشتر بوده و از ضخامت خاک کاسته می‌شود؛ بنابراین با توجه به اینکه فرسایش طبیعی یک پدیده طبیعی و قابل پذیرش است و از طرف دیگر فرسایش تشدیدي یک پدیده مخرب متأثر 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، ۱۹۴۱). این آستانه به فرسایش قابل تحمل خاک موسوم است.

فرسایش قابل تحمل خاک^۲، یکی از پیچیده‌ترین موضوع در تحقیقات فرسایش خاک است (USDA^۳-NRCS، ۱۹۹۹). مفهوم فرسایش مجاز خاک که در سال‌های ۱۹۴۰ 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 کاهش حاصلخیزی خاک و تاثیر منفی در تولیدات گیاهی در طولانی مدت داشته باشد (اسمیت، ۱۹۴۱). سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا که پیشتر سرویس حفاظت خاک نامیده می‌شد، از اواسط دهه ۶۰،

این عامل را برای طراحی برنامه‌های حفاظتی خود با نام T-value به کار برد. سپس مفهوم عمومی این واژه به صورت حداکثر مقدار فرسایش سالانه 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 تشدیدي، فرسایش قابل تحمل خاک به عنوان تعادل بین تشکیل خاک و هوازدي کامل سنگ‌ها تعریف شده است (واکاتسوکي 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 هوازدي 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).

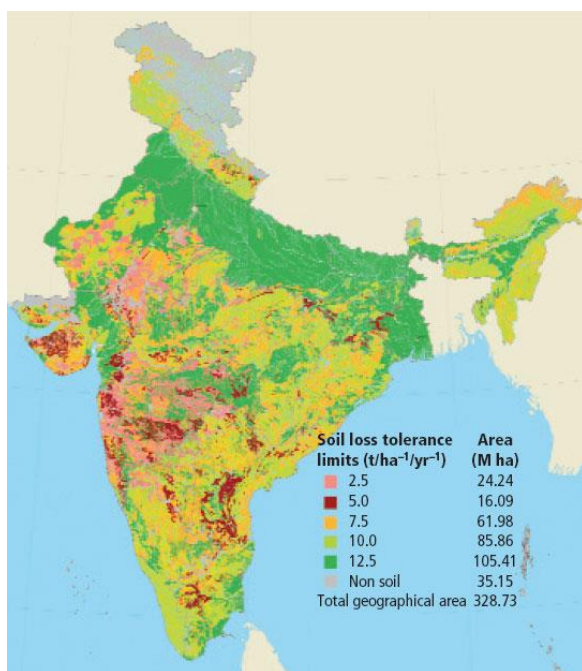
برآورد فرسایش قابل تحمل خاک در تدوین برنامه‌های حفاظت خاک اهمیت دارد. در هندوستان، به صورت پیش فرض میزان فرسایش قابل تحمل خاک برابر ۱۱/۲ تن در هکتار برای برنامه‌ریزی استراتژی‌های حفاظت خاک در تمام انواع خاک، آب و هوا و پوشش

² Soil loss tolerance

³ Natural Resources Conservation Service

⁴ United States Department of Agriculture

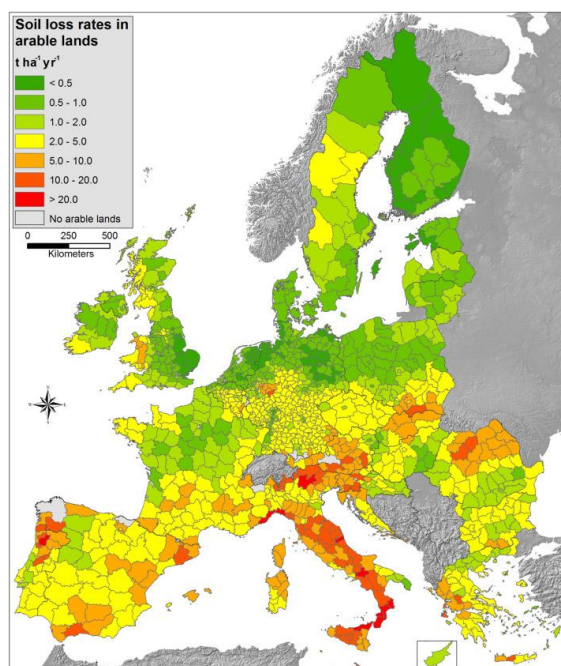
واقعی فرسایش خاک‌های شخم خورده و قابل کشت اروپا، حتی با پذیرش تغییرات مکانی-زمانی این پدیده، به طور متوسط، ۳ تا ۴۰ برابر بیش‌تر از حد بالایی فرسایش خاک قابل تحمل در دنیا است (شکل ۱). نتایج شاردای و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که حدود ۷۵٪ از کل مساحت کشور هند در محدوده فرسایش قابل تحمل قرار دارند (شکل ۲).



شکل ۲- مقادیر فرسایش قابل قبول در هندوستان

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، (۲۰۰۶) 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

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 در هکتار 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 (شرتر، ۱۹۸۳). براساس نتایج پژوهش‌های ورحین و همکاران (۲۰۰۹) میزان



شکل ۱- مقادیر فرسایش در اراضی زراعی در اروپا

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

(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 به شرح زیر می‌توانند برای تدوین روش تخمین فرسایش قابل قبول خاک در ایران نیز استفاده شوند.

عوامل موثر بر فرسایش قابل تحمل

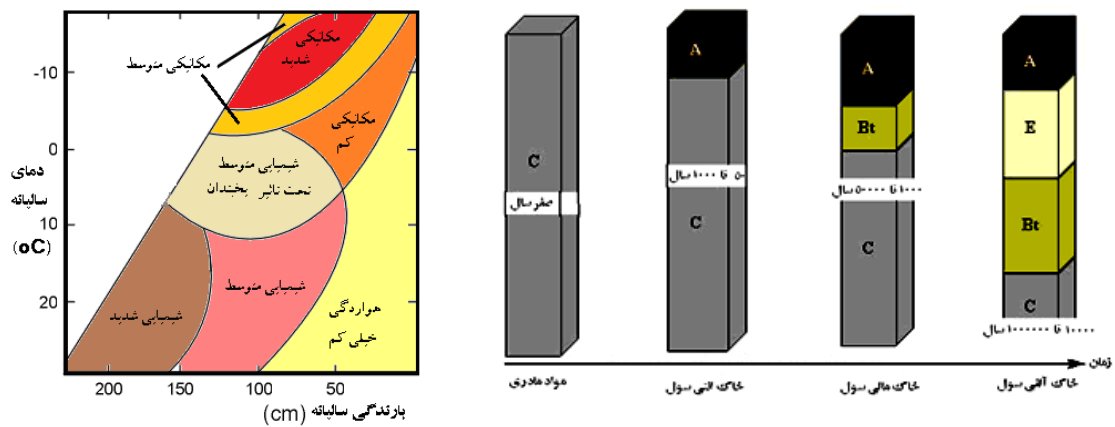
میزان فرسایش قابل تحمل برای خاک‌های مختلف متغیر است. عوامل موثر در انتخاب این آستانه می‌تواند متعدد باشد که از جمله آن‌ها می‌توان به ضخامت خاک سطحی، عمق خاک و خصوصیات فیزیکی خاک که در توسعه و گسترش ریشه موثر هستند، اشاره نمود (کرسیلدزه و همکاران، ۲۰۱۳). از نظر سرعت تشکیل خاک و ضخامت آن، فرسایش قابل تحمل 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 خاک‌های کم عمق که در روی صخره‌ها یا سخت لایه‌ها قرار دارند، فرسایش قابل تحمل وجود ندارد.

همکاران، (۲۰۰۸) در هند مرکزی این مقادیر را برابر ۰/۳ تا ۱۲/۵ تن در هکتار در سال به‌دست آوردند. خاک‌های واقع در شمال 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 (PI⁶) شاخص مناسبی برای برآورد فرسایش قابل تحمل خاک و برنامه‌ریزی‌های آبی 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 ۶-۳۰ 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 آنجایی که تفاوت آشکاری بین سرعت تشکیل خاک بر روی سنگ‌های یک‌پارچه و رسوبات آبرفتی وجود دارد، لذا می‌توان برای برآورد سرعت تشکیل خاک از رسوبات و یا سنگ بستر از رابطه موسوم به تعادل عناصر، استفاده نمود (الکساندر، ۱۹۸۶).

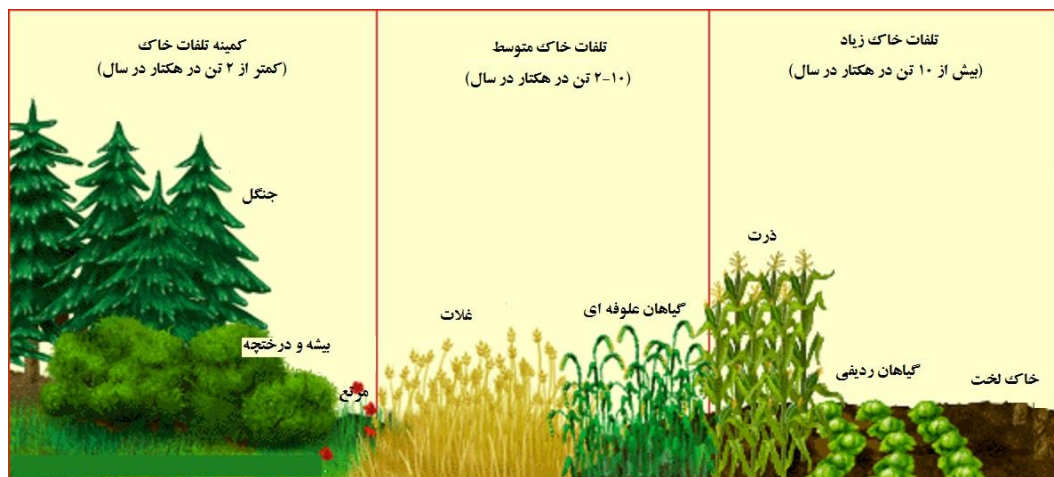
از طرف دیگر در روش سرویس حفاظت خاک آمریکا (۱۹۵۶) فرسایش قابل تحمل خاک "T" بر اساس خصوصیات لایه‌های زیرسطحی محدودکننده ریشه تعیین می‌شود. تشخیص لایه محدودکننده به مطلوب بودن خصوصیات مواد خاکی بالایی این لایه برای رشد گیاه اشاره دارد. ارزش T بدون توجه به نوع استفاده یا حفاظت از زمین به خاک‌های لخت اختصاص داده می‌شود 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

⁵ Tolerable soil loss value

⁶ Productivity index



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, ۱۹۵۶):
۱. سرعت تشکیل خاک از مواد مادری
 ۲. سرعت تشکیل خاک سطحی از خاک زیرین
 ۳. کاهش تولید در اثر فرسایش
 ۴. عمق خاک
 ۵. تغییرات خصوصیات مطلوب خاک برای گیاهان در اثر فرسایش
 ۶. هدر رفت مواد مغذی خاک در اثر فرسایش
 ۷. احتمال ظهور شیار و خندق
۸. مشکلات نهشته گذاری رسوب در مزارع
۹. نسبت تحویل رسوب از محل فرسایش یافته
۱۰. 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.

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، (۱۹۶۴) پیشنهاد شد. به نظر اشموبل و همکاران (۱۹۹۸) 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 (۱۹۸۲) معادله (۱) 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 ۱ محاسبه می‌شود:

$$T_{(x,y,t)} = \frac{(T1 + T2) / 2 - (T2 - T1)}{2 \cos[\pi (Z - Z1) / (Z2 - Z1)]} \quad (1)$$

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 $3/14$ رادیان یا 180 درجه برای اعماق

بین Z1 و Z2 تغییر می‌کند. هنگامی که عمق خاک، حداقل قابل تحمل باشد $(Z=Z1)$ ، $T_{(x,y,t)}$ معادل مقدار حداقل تلفات قابل تحمل یعنی T1 می‌شود. در حالتی که 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 $1/4$ 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 $0/2$ میلی‌متر در سال باشد و حداکثر میزان تلفات خاک دو میلی‌متر فرسایش در سال در نظر گرفته شود، آن‌گاه فرسایش قابل تحمل معادل $1/38$ تن در هکتار در سال خواهد بود.

روسانونف (۲۰۰۶) روش اسکیدمور (۱۹۸۲) را با استفاده از عواملی مانند نفوذ پذیری، اندازه خاکدانه‌ها و مقدار هوموس، برای برآورد مقادیر قابل تحمل خاک بکار برد. کوزنتسوف و عبدالخانوا (۲۰۱۳) با استفاده از معادله خطی روش اسکیدمور (۱۹۸۲) 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 (۱۰ تن در هکتار در سال) در تمام تناوب‌های زراعی به دست آمد.

هم‌چنین براساس راهنمای اداره حفاظت خاک امریکا (USDA، ۱۹۵۶)، دو مشخصه مهمی که در تعیین مقدار فرسایش قابل تحمل خاک به کار می‌رود، ضخامت خاک سطحی و جنس لایه محدود کننده می‌باشد که در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- راهنمای اداره حفاظت خاک امریکا برای تعیین فرسایش قابل تحمل براساس ضخامت خاک سطحی

مقدار T بر حسب تن در هکتار					ضخامت خاک سطحی (سانتی‌متر)
۱۱/۲	۹/۰	۶/۸	۴/۶	۲/۳	
*					>۱۰۰ تا بستر سنگی
*					>۱۰۰ تا ماسه یا سنگریزه
	*				۵۰-۱۰۰ تا بستر سنگی
	*				۵۰-۱۰۰ تا ماسه یا سنگریزه
	*				۵۰-۱۰۰ تا لایه فراژی پن
	*				۵۰-۱۰۰ تا لایه کلی پن
		*			۲۵-۵۰ تا ماسه یا سنگریزه
			*		۲۵-۵۰ تا بستر سنگی
		*			۱۰-۵۰ تا لایه کلی پن
		*			<۵۰ تا لایه فراژی پن
				*	<۲۵ تا بستر سنگی
			*		<۲۵ تا ماسه یا سنگریزه
				*	<۱۰ 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، ۲۰۱۱). از آنجایی که تفاوت آشکاری بین سرعت تشکیل خاک بر روی سنگ-های یکپارچه و رسوبات آبرفتی وجود دارد، می‌توان از روش برآورد سرعت تشکیل خاک از رسوبات و یا سنگ بستر (معادله ۲) موسوم به تعادل عناصر استفاده نمود (الکساندر، ۱۹۸۶):

$$C_i W = D_i + S_i S \quad (2)$$

که در آن:

W = جرم سنگ هوازده

S = جرم خاک معدنی تشکیل یافته از مواد مادری

C_i و S_i = غلظت عنصر i به ترتیب در سنگ و خاک غیر هوازده (gr/lit)

D_i = 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، ۱۹۸۵). در این بین، سه عامل قابل اندازه‌گیری و دو عامل مجهول (W و S) در معادله وجود دارد. لذا معادله ۳ به معادله (۴) تبدیل می‌شود

$$W = \frac{D_i}{(C_i - S_i)(S/W)} \quad (3)$$

نسبت S/W در معادله ۴ 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 (۳) می‌توان نوشت:

$$C_i W = S_i S \quad (4)$$

$$S/W = C_i/S_i \quad (5)$$

که در آن:

W از معادله ۴ به دست می‌آید و S از نسبت S/W تعیین می‌شود.

براساس این معادلات، الکساندر (۱۹۸۸) نشان داد که تلفات قابل تحمل خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق حاصل از سنگهای دگرگونی غیرآهکی بسیار کمتر از ۲/۲۴ تن در هکتار / سال است. با استفاده از این روش، چابا و همکاران (۲۰۰۱) مقدار T را برای خاک‌های مجارستان بین ۲ تا ۱۲/۵ تن در هکتار در سال بدست

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	حوزه های آبخیز کوچک چمنی یا جنگل	۰/۳ تا ۲ تن در هکتار در سال
الکساندر و همکاران، ۱۹۸۸	اکوسیستم جنگلی	۰/۹ تا ۱۵/۳۷ تن در هکتار در سال
جانسون و همکاران، ۱۹۸۷	جهان	۰/۳۷ تا ۱/۲۹ تن در هکتار در سال
واکاتسوی و رایزیدین ۱۹۹۲	۱۸ حوضه کوچک غیرکشاورزی با بستر غیرکربناتی در آمریکای شمالی، اروپا، استرالیا و زیمبابوه	۰/۰۲ تا ۱/۲۷ تن در هکتار در سال
الکساندر، ۱۹۸۸	حوضه های با سازند غالب سنگ آهک یا با سنگ شناسی عمدتاً 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	۳/۲۷ 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 در سال
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 (۱۹۵۶) به وجود آمده است که در آن فرسایش قابل تحمل خاک "T" براساس خصوصیات لایه های زیر سطحی محدود کننده ریشه تعیین می شود. تشخیص لایه محدود کننده به مطلوب بودن خصوصیات مواد خاکی بالایی این لایه برای رشد گیاه اشاره دارد. هر چه لایه محدود کننده یا کم تر مناسب، به سطح خاک نزدیک تر باشد، توانایی نسبی خاک برای حفظ حاصلخیزی آن از طریق فرآیندهای طبیعی یا مدیریت شده کاهش می یابد. معیارهای تعیین فرسایش قابل تحمل خاک از طریق موارد زیر تخمین زده می شود (NRCS، ۲۰۰۶):

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

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

تعیین حاصلخیزی خاک

ظرفیت آب در دسترس، 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 می برد و نیز موجب کاهش ظرفیت نگهداشت آب می شود که تاثیر عمده ای بر میزان تولید دارد (هال و همکاران، ۱۹۸۵). وجود مواد مغذی کافی و آب مورد نیاز رشد از جمله عوامل اساسی تولید محسوب می شوند (باکر و همکاران، ۲۰۰۴). 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

الی ۴۰ درصد حاصلخیزی اولیه خاک تنزل می‌یابد (کاوانگ، ۱۹۹۸).

جدول ۳- راهنمای عمومی تعیین فرسایش قابل تحمل خاک (NRCs, ۲۰۰۶)

فرسایش قابل تحمل سالانه (t ha ⁻¹)			عمق لایه محدود کننده (cm)
گروه ۳	گروه ۲	گروه ۱	
۷.۵	۲.۵	۲.۵	۰-۲۵
۷.۵	۵.۰	۲.۵	۲۵-۵۰
۱۰.۰	۷.۵	۵.۰	۵۰-۱۰۰
۱۰.۰	۱۰.۰	۷.۵	۱۰۰-۱۵۰
۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	> ۱۵۰

گروه ۱: محدودیت‌ها معنی دار هستند یا لایه‌های محدود کننده دائمی دارند
 گروه ۲: محدودیت‌ها به طور متوسط ریشه‌ها را محدود می‌کنند یا این محدودیت‌ها تاثیر کم‌تری در کاهش دائم حاصلخیزی خاک در یک اقلیم معین دارند
 گروه ۳: در یک اقلیم معین، محدودیت‌ها را می‌توان از طریق فرآیندهای طبیعی یا مدیریتی برای رسانیدن سطح حاصلخیزی به حد خاک‌های فرسایش نیافته، رفع نمود

بین صفر و یک متغیر است (باجا و همکاران، ۲۰۰۲). ارزش یک مربوط به یک خاک بدون هر گونه محدودیت برای توسعه ریشه است (دلگادو و لویز، ۱۹۹۸). لال (۱۹۸۴) 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 رگرسیون‌های عملکرد مشاهده شده و مقادیر PI محاسبه شده وجود دارد. پژوهش‌های لوبو و همکاران (۲۰۰۵) و کینگ‌وو و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که از شاخص حاصلخیزی خاک می‌توان به عنوان معیاری برای تخمین فرسایش قابل تحمل خاک استفاده نمود.

نرم‌افزار EPIC^۷ 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

کاهش حاصلخیزی خاک در اثر فرسایش به ۰/۳ درصد در سال در دنیا بالغ می‌شود (بایگلار و همکاران، ۲۰۰۳). 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، ۲۰۰۴). شاخص بهره‌وری (PI) با استفاده از معادله ۶ محاسبه می‌شود (مولن‌گرا و پایتون، ۱۹۹۹ و پیرس و همکاران، ۱۹۸۳):

$$PI = \sum_{i=1}^n (A_i * C_i * D_i * E_i * R_i) \quad (6)$$

که در آن:

A_i = کفایت ظرفیت آب در دسترس،

C_i = کافی بودن وزن مخصوص ظاهری

D_i = کافی بودن اسیدیته

E_i = کفایت هدایت الکتریکی

R_i = عامل وزن‌دهی.

در این معادله عامل شوری خاک در خاک‌های غیر شور قابل اغماض است. شاخص حاصلخیزی خاک

⁷ Erosion productivity impact calculator

(ماندال و شارد، 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 به دست آوردند. ژینگ و (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 برای خاک‌های تپه ماهوری و برونزدهای سنگی و ۱/۷۷ تن در هکتار در سال برای خاک‌های تپه‌های صخره‌ای جنوب غربی و مناطق تپه ماهوری در این مناطق تعیین نمودند. نمونه‌هایی از مقادیر فرسایش مجاز در مناطق مختلف دنیا در جدول ۴ ارائه شده است.

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

جدول ۴- مقادیر فرسایش مجاز در مناطق مختلف دنیا

محقق	مکان	فرسایش مجاز
اسمیت (۱۹۴۸)	خاک‌های Marshall و Shelby (خاک‌های 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 سیاه‌خاک‌های مناطق شمالی (blackland)، تپه ماهوری و برونزدهای سنگی و ۱/۷۷ تن در هکتار در سال برای مناطق جنوبی با خاک‌های قرمز، تپه‌های صخره‌ای جنوب غربی و مناطق تپه ماهوری
لی و همکاران، (۲۰۰۵)	لس‌های دشت‌های مرتفع در چین	۱۰ تن در هکتار در سال

می‌کند. در روش تعیین ضخامت پروفیل خاک، خاک عمیق‌تر فرسایش قابل تحمل بیشتری دارد. با توجه به اینکه که سرعت هوازگی 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

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

است. در نواحی نیمه خشک خاکهای مناطق کوهستانی و تپه ماهورهای معمولاً کم عمق در حالی که خاکهای دشتهای 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، ۱۹۶۴).

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 بین‌المللی انجام شده بر روی فرسایش قابل تحمل جمع‌آوری شد. سپس اطلاعات و آمار کرت‌های فرسایشی، میزان فرسایش و رسوب‌دهی مناطق و اقلیم مختلف کشور در ۳۱ عرصه از سطح کشور، مشتمل بر ۱۷ عرصه مربوط به پلاتها جمع‌آوری شد. این اطلاعات، شامل ۲۹۲ پلات اندازه‌گیری فرسایش می‌باشد. طول دوره آماری ارقام اندازه‌گیری شده از پلاتها، عمدتاً به ۱۰ تا ۳۰ سال میرسد. ضمناً پلاتهای احداث شده نیز دارای ابعاد متفاوتی بوده که از ۰/۵ در یک متر تا ابعاد استاندارد متغیر است (خواجوی و همکاران، ۱۳۹۴). 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 اقلیم مختلف برای انواع کاربری‌های عمده بکار رفت. در این

(سودهیشری و همکاران، ۲۰۱۴). 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 ۱۶۴،۸۱۹،۵۰۰ هکتار دارای ۱۳۴،۳۰۷،۸۳۹ هکتار منابع طبیعی (۸۲/۸ درصد مساحت کشور) شامل ۱۴/۳ میلیون هکتار جنگل (۸/۸ درصد مساحت کشور)، ۲،۶۶۵،۰۶۷ هکتار بیشه‌زار و درختچه‌زار (۱/۶ درصد)، ۸۴/۷ میلیون هکتار مرتع (۵۲/۳ درصد)، ۳۲/۶ میلیون هکتار بیابان (۲۰/۱ درصد) است و ۳۳/۲ 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، ۱۳۸۲). 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

فرسایش سطحی و شیاری اندازه‌گیری شده با کرت‌های فرسایشی و تغییرات آن در کشور تعیین و روش NRCS (۲۰۰۶) برای تعیین فرسایش قابل تحمل خاک بومی‌سازی شد.

نتایج

مقادیر فرسایش در کرت‌های فرسایش

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

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 خیلی مرطوب، 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 (۱۳۶۸) استفاده شد. با تلفیق نتایج این مطالعات، محدوده

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

روش مورد مطالعه	متوسط	حداقل	حداکثر	میانگین	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	میانگین	کشیدگی	چولگی	فراوانی
جنگل	۰/۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰۵/۹۳	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

تلفات را در مقایسه با اراضی جنگلی نشان می‌دهند. مقایسه مقادیر تلفات خاک در دیمزارها نیز بیان‌گر این است که ۴۰۰ تا ۵۰۰ برابر نسبت به اراضی جنگلی، تلفات بیشتری رخ 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

توجه به جداول فوق، مقادیر فرسایش در کشور با میانگین ۱/۳۱ و حداکثر ۳۳/۹۶ 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 به ترتیب مراتع، دیمزارها و اراضی مارنی در مراتب بعدی قرار گرفته‌اند. مقادیر فرسایش پلات‌های آزمایشی مستقر در مراتع، افزایش ۶۰ تا ۷۰ برابری از

ظاهری، قابلیت استفاده، نوع مواد تشکیل دهنده، پستی و بلندی، فرسایش، ارتفاع از سطح دریا، عمق خاک و پوشش گیاهی به واحدهای اراضی^۹ 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 به نظر 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 به دست 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 ۱:۲۵۰۰۰۰ 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، ۲۰۱۴). استفاده از استانداردهای سایر کشورهای جهان از جمله سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا نیز مشروط بر سازگاری آن‌ها با شرایط ایران، قابل توصیه است اما نکته‌ای که در ارتباط با مقدار خاکسازي و بالطبع فرسایش قابل تحمل باید در نظر داشت اثرات شخم و کشت و کار و کوددهی است. به عقیده (باول و

را نشان می‌دهد. در صورتی که این مقایسه با اراضی مارنی صورت پذیرد، 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 نیمه مرطوب، خشک و خیلی مرطوب 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 اقلیم نیمه خشک و نیمه مرطوب پوشش کافی که بتواند در برابر فرسایندهای بارش مقاومت کند وجود ندارد. توجه به مقادیر شیب در پلات‌های آزمایشی نیز نتایج دیگری را بازگو می‌کند. بطوری که دامنه شیب بین ۱۲-۸ درصد بیشترین میزان فرسایش و دامنه شیب ۷۰-۴۰ 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 به اضافه تنوع زیاد رستنی‌ها موجب شده است که گروه‌های متعدد خاک در مناطق اصلی توپوگرافی و اقلیم کشور به وجود آید. با توجه 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^۸ و هر یک از این تیپ‌ها بر اساس خصوصیات آنها از نظر شکل

⁹ Land unit

⁸ Land type

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 (۲۰۰۶) 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 می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

رهیافت ترویجی

بیشینه تلفات قابل قبول خاک به عنوان آستانه حد بالایی از فرسایش خاک است که بتواند بدون کاهش بهره‌وری طولانی مدت، در یک خاک معین صورت پذیرد (بهااتاچاریا 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 ۶۰ سرویس حفاظت خاک آمریکا این عامل را برای طراحی برنامه‌های حفاظتی خود با نام T-value به کار برد. بعداً سازمان حفاظت منابع طبیعی امریکا (NRCS ۲۰۰۶) 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).

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. به نظر 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 (۲/۵-۲ 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 به دست 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 پایین دست قابل قبول‌تر به نظر 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

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

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

* 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 نیمه خشک 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.

طرف دیگر مطالعات (الکساندر و همکاران، ۱۹۸۸) نشان داده است که در مناطق جنگلی و پر باران شدت خاکسازي کمتر از ۱/۲ تن در هکتار می‌باشد. با مقایسه میزان تشکیل خاک در عرصه‌های منابع طبیعی (۲-۰/۲ تن در هکتار در سال) با دامنه فرسایش قابل تحمل سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا (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 به دست 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 آمریکا (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 آمریکا و در اراضی جنگلی مناطق نیمه خشک و دیم‌زارها تا پنج برابر میانگین مقادیر دو

تحقیقات ژیاثو 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 می‌تواند 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، به نظر 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

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 جنگل های 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 حاصل خیزی خاک و سرعت تشکیل خاک کافی نیست و اثرات برون عرصه ای (off-site) فرسایش خاک نیز باید در نظر گرفته شود؛ بنابراین، تحقیقات بیشتری برای تعیین تلفات قابل تحمل خاک به شیوه ای علمی تر مورد نیاز است. به امید آن که توجه به روش پیشنهادی این پژوهش در برآورد حد قابل تحمل تلفات خاک، برنامه ریزی حفاظت اراضی و اولویت بندی مناطق برای فعالیت های حفاظت خاک در کشور را تسهیل کند. بدیهی است این روش پیشنهادی کامل نبوده و لازم است مورد بحث و بررسی بیشتر قرار گیرد.

روش سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا (۲۰۰۶) و بنت (۱۹۳۹) در نظر گرفته شوند؛ بنابراین می توان مطالب را چنین جمع بندی 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 می باشد. در این تحقیق میزان فرسایش قابل تحمل خاک برای ایران تعیین شد که مقدار آن اولاً در اراضی منابع طبیعی و کشاورزی، اقلیم 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 نیمه خشک می تواند بین ۰/۲۵ تا بیشینه ۱/۲۵ تن در هکتار در سال متغیر باشد. این مقادیر در اراضی

فهرست منابع

۱. خواجوی ا، م. عرب خدری، م. ح. مهدیان و ص. شادفر، ۱۳۹۴، بررسی مقادیر فرسایش و تلفات خاک در سطح کشور با استفاده از ارقام اندازه گیری شده روش سزیم ۱۳۷ و پلاتهای آزمایشی، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال ششم، شماره ۱۱، ص ص ۱۳۷-۱۵۱.
۲. سرمیدیان ف. ۱۳۹۱. شدت هوادیدگی و تشکیل خاک. مجموعه سخنرانی های همایش تخصصی بررسی و تخمین فرسایش مجاز خاک در ایران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، بهمن ۱۳۹۱، ص ص ۳-۱۷.
۳. سکوتی اسکوتی. ر. ۱۳۹۰. مقدمه ای بر فرسایش مجاز و روش های اندازه گیری آن. انتشارات پلک. ۱۲۲ ص.
۴. عرب خدری، م. ۱۳۹۱. جمع بندی همایش تخصصی روش های بررسی و تخمین فرسایش مجاز خاک در ایران. مجموعه سخنرانی های همایش تخصصی بررسی و تخمین فرسایش مجاز خاک در ایران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، بهمن ۱۳۹۱، ص ص ۵۰-۵۴.
۵. مسعودیان، س، ۱۳۸۲، نواحی اقلیمی ایران، مجله جغرافیا و توسعه: پاییز و زمستان، دوره ۱، شماره پیاپی ۲، ص ص ۱۷۱-۱۸۴.
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.

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 erosión-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' hillslope soil erosion rates in Australia: Linking science and policy. *J. Agriculture Ecosystems & Environment*. 144, (1): 136-149
20. Hacısalihoglu 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.

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. Kholra 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.

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

Developing a Suitable Method for Determining Soil Loss Tolerance in Iran

R. Sokouti¹ 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.

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