دانشگاه زنجان

دانشکده کشاورزی

گروه خاکشناسی

گرایش فیزیک و حفاظت خاک

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد (M. Sc.) در رشته خاکشناسی

عنوان:

بررسی فرسایش‌پذیری خاک در بافت‌های مختلف خاک با استفاده از باران شبیه‌سازی شده

نگارش:

حیدر حسن زاده

استاد راهنما:

دکتر علی‌رضا واعظی

استاد مشاور:

دکتر محمدحسین محمدی

زمستان ۱۳۹۱

تقدیم به پدر و مادر مهربان و

همسر عزیزم که وجود پر مهرشان بهترین بهانه تلاشهایم بود و برگ برگ این دفتر ثمره

زحمات بی دریغ آنهاست . . .

چکیده

فرسایش‌پذیری خاک بیانگر حساسیت خاک به فرایندهای فرسایشی است که بنا به تعریف آسانی جداشدن ذرات خاک تحت پاشمان و یا نیروی جریان سطحی را بیان می‌کند. بافت خاک یکی از مهم-ترین ویژگی‌های خاک است که بر سایر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و هیدرولوژیکی خاک اثر گذاشته و می‌تواند عامل فرسایش‌پذیری خاک را تحت تاثیر قرار دهد. این پژوهش به منظور بررسی تاثیر بافت خاک بر فرسایش‌پذیری آن در منطقه‌ای نیمه‌خشک در استان زنجان طی سال ۱۳۹۱ انجام گرفت. پس از بررسی خاک‌های سطح استان، ۱۰ خاک با بافت مختلف (رسی، لوم رسی، رسی سیلتی، لوم، لوم رسی سیلتی، لوم رسی شنی، لوم سیلتی، لوم شنی، شنی لومی و شنی) شناسایی شد. از هر خاک نمونه ۵۰۰ کیلوگرمی برداشت و به زمینی با شیب یکنواخت ۸ درصد منتقل شد. خاک‌ها به کرت‌های آزمایشی با ابعاد ۶۰×۸۰ سانتی‌متر و عمق ۲۰ سانتی‌متر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار ریخته شدند. کرت‌ها در برابر ۱۰ رخداد باران شبیه‌سازی شده با شدت ثابت ۵۵ میلی‌متر بر ساعت و مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. مقدار رواناب و رسوب در هر رخداد، با استفاده از مخزن نصب شده در خروجی کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری شد. عامل فرسایش‌پذیری خاک بر اساس میزان هدررفت خاک در واحد عامل فرسایندگی باران به دست آمد. تفاوت خاک‌ها از نظر تولید رواناب و رسوب با استفاده از آزمون مقایسه میانگین بررسی شد. ماتریس همبستگی بین عامل فرسایش‌پذیری خاک و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محاسبه شد و رابطه بین رواناب و رسوب و ویژگی‌های خاک به روش رگرسیون خطی چندگانه به دست آمد. از روش تجزیه رگرسیونی چندگانه به منظور دستیابی به مدل تجربی برای پیش-بینی عامل فرسایش‌پذیری خاک استفاده شد. بر اساس نتایج تفاوتی معنی‌دار بین بافت‌های مختلف خاک از نظر فرسایش‌پذیری خاک وجود داشت ($p<۰/۰۰۱$). بالاترین فرسایش‌پذیری خاک (۰/۰۱۹ تن ساعت در مگاژول میلی‌متر) و پایین‌ترین آن (صفر تن ساعت در مگاژول میلی‌متر) به ترتیب در خاک لوم سیلتی و خاک‌های شن لومی و شنی مشاهده شد. فرسایش‌پذیری خاک رابطه‌ای معنی‌دار با تولید رواناب در خاک‌ها داشت ($R^2=۰/۹۱, p<۰/۰۰۱$). رخداد بارندگی از مهم‌ترین عوامل موثر بر رواناب ($p<۰/۰۰۱$) و فرسایش‌پذیری خاک ($p<۰/۰۰۱$) بود. فرسایش‌پذیری خاک تحت تاثیر ویژگی‌های فیزیکی (سنگریزه، شن، سیلت، رس، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت اولیه و هدایت هیدرولیکی اشباع) و شیمیایی خاک (درصد سدیم تبادلی و گچ) قرار گرفت. به منظور دستیابی به مثلث فرسایش‌پذیری خاک، معادله رگرسیون خطی چندگانه بر اساس درصد ذرات شن، سیلت و رس ارائه شد.

کلمات کلیدی: بافت خاک، رواناب، عامل فرسایش‌پذیری، شبیه‌ساز باران، ویژگی‌های خاک.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول- مقدمه و کلیات	۱
۱-۱- فرسایش آبی	۲
۱-۱-۱- اهمیت فرسایش آبی	۳
۱-۲- عوامل مؤثر بر فرسایش آبی	٦
۱-۲-۱- فرسایندگی باران	۷
۱-۲-۲- شیب	۹
۱-۲-۳- پوشش گیاهی	۱۰
۱-۲-٤- مدیریت خاک	۱۱
۱-۲-۵- فرسایش‌پذیری خاک	۱۳
۱-۲-۵-۱- عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک	۱٤
۱-۲-۵-۲- روش‌های تعیین فرسایش‌پذیری خاک	۲۸
۱-۲-۵-۲-۱- اندازه گیری فرسایش‌پذیری خاک	۲۹
۱-۲-۵-۲-۲- برآورد عامل فرسایش‌پذیری	۳۰
فصل دوم- بررسی منابع	۳۳
۲-۱- بررسی پژوهش‌های انجام گرفته در خارج از ایران	۳٤
۲-۱-۱- تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر فرسایش‌پذیری آن	۳٤
۲-۱-۲- تغییرات زمانی و مکانی فرسایش‌پذیری خاک	۳۹
۲-۲- بررسی پژوهش‌های انجام گرفته در ایران	٤٦
۲-۲-۱- تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر فرسایش‌پذیری آن	٤٦
۲-۲-۲- تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر تولید رواناب و رسوب	۵۰
۲-۳- جمع‌بندی تحقیقات پیشین	٦۱
۲-٤- اهداف و پرسش‌های تحقیق	٦۱
فصل سوم- مواد و روش‌ها	٦۳
۳-۱- جمع‌آوری نمونه‌های خاک با بافت مختلف	٦٤
۳-۱-۱- مناطق مورد بررسی در تحقیق	٦٤
۳-۲- روش نمونه‌برداری خاک	٦۹
۳-۳- محل انجام آزمایش	۷۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-٤- عملیات آماده سازی زمین برای اجرای پژوهش	۷۰
۳-۵- طراحی دستگاه شبیه‌ساز باران	۷۷
۳-۵-۱- مشخصات دستگاه	۷۸
۳-۵-۱-۱- صفحه بارش و مشخصات آن	۷۹
۳-۵-۱-۲- واسنجی دستگاه	۸۰
۳-۵-۱-۳- تعیین قطر قطرات باران	۸۱
۳-۵-۱-٤- تغییرات مکانی شدت باران	۸۲
۳-٦- اعمال رخدادهای باران شبیه‌سازی شده	۸۲
۳-۷- اندازه‌گیری رواناب، رسوب و فرسایش‌پذیری خاک	۸٤
۳-۷-۱- اندازه‌گیری رواناب	۸٤
۳-۷-۲- اندازه‌گیری رسوب	۸٦
۳-۷-۳- تعیین فرسایش‌پذیری خاک	۸۸
۳-۸- تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی	۸۹
۳-۸-۱- تعیین ویژگیهای فیزیکی خاک	۹۰
۳-۸-۲- تعیین ویژگی‌های شیمیایی خاک	۱۰۰
۳-۹- تجزیه و تحلیل داده‌ها	۱۰۸
فصل چهارم- بحث و نتایج	۱۱۰
٤-۱- ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی	۱۱۱
٤-۱-۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد بررسی	۱۱۱
٤-۱-۲- ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های مورد بررسی	۱۱۳
٤-۲- توزیع مکانی بارندگی	۱۱۵
٤-۲-۱- تحلیل توزیع مکانی بارندگی	۱۱۵
٤-۲-۲- تغییرات مکانی شدت بارندگی در صفحه بارش	۱۱۵
٤-۲-۳- فرسایندگی باران	۱۱۷
٤-۳- تغییرات رواناب در خاک‌های با بافت مختلف	۱۱۷
٤-۳-۱- تحلیل تفاوت رواناب در خاک‌ها	۱۱۸
٤-۳-۱-۱- ضریب رواناب	۱۲۰
٤-۳-۱-۲- زمان شروع رواناب	۱۲۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
٤-٤- تغییرات رسوب در خاک‌های با بافت مختلف	١٢٣
٤-٤-١- تحلیل تفاوت رسوب در خاک‌ها	١٢٣
٤-٥- اثر ویژگی‌های خاک بر تولید رواناب و رسوب	١٢٦
٤-٥-١- رابطه بین ویژگی‌های خاک و تولید رواناب و رسوب	١٣٩
٤-٦- ارائه مثلث فرسایش‌پذیری (K)	١٤١
٤-٧-١- رابطه بین رطوبت اولیه خاک با زمان شروع و عمق رواناب	١٥٢
٤-٨- تحلیل تغییرات رطوبت اولیه در خاک‌ها در رخدادهای مختلف	١٥٥
٤-٩- تغییرات رواناب طی رخدادهای بارندگی	١٥٩
٤-١٠- تغییرات رسوب طی رخدادهای بارندگی	١٦٣
٤-١١- نتیجه‌گیری	١٧٥
٤-١٢- پیشنهادها	١٧٨
منابع	١٧٩

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- تخریب خاک در کشورهای جهان سوم	۳
جدول ۱-۲- تأثیر کاربری‌های مختلف از زمین بر میزان فرسایش	۱۲
جدول ۲-۱- رابطه بین رسوب‌زایی آبکندها و میزان هوموس	٦۰
جدول ۳-۱- مشخصات کلی خاک‌های نمونه‌برداری شده در سطح استان زنجان	٦٤
جدول ٤-۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه	۱۱۲
جدول ٤-۲- ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه	۱۱٤
جدول ٤-۳- تجزیه واریانس تغییرات بارندگی در حالت چهار تیمار و سه تکرار	۱۱٥
جدول ٤-٤- تجزیه واریانس تغییرات بارندگی در حالت سه تیمار و چهار تکرار	۱۱٥
جدول ٤-٥- مشخصات تغییرنمای شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) در سطح صفحه ...	۱۱٦
جدول ٤-٦- مشخصه‌های رواناب در بافت‌های مختلف خاک در کل رخدادهای باران	۱۱۸
جدول ٤-۷- تغییرات مقادیر رواناب در خاک‌های مورد بررسی	۱۱۹
جدول ٤-۸- تجزیه واریانس اثر بافت خاک بر ارتفاع رواناب	۱۲۰
جدول ٤-۹- تجزیه واریانس اثر بافت خاک بر ضریب رواناب	۱۲۱
جدول ٤-۱۰- تجزیه واریانس اثر بافت خاک بر زمان شروع رواناب	۱۲۲
جدول ٤-۱۱- مشخصه‌های رسوب در بافت‌های مختلف خاک در کل رخدادهای باران	۱۲۳
جدول ٤-۱۲- تجزیه واریانس اثر بافت خاک بر میزان رسوب و غلظت رسوب	۱۲٤
جدول ٤-۱۳- تغییرات میزان رسوب و غلظت رسوب در خاک‌های مورد بررسی	۱۲٤
جدول ٤-۱٤- همبستگی (r) بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تولید رواناب ...	۱۲۷
جدول ٤-۱٥- تجزیه واریانس اثر هدایت هیدرولیکی اشباع بر تولید رواناب	۱٤۰
جدول ٤-۱٦- تجزیه واریانس اثر ویژگی‌های خاک بر تولید رسوب	۱٤۰
جدول ٤-۱۷- تجزیه واریانس اثر بافت خاک بر فرسایش‌پذیری (K)	۱٤۱
جدول ٤-۱۸- مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری شده فرسایش‌پذیری در خاک‌های مورد مطالعه	۱٤۸
جدول ٤-۱۹- تجزیه واریانس اثر ذرات معدنی خاک بر تولید رسوب	۱٥۰
جدول ٤-۲۰- تجزیه واریانس اثر بافت خاک بر رطوبت اولیه	۱٥۲
جدول ٤-۲۱- تجزیه واریانس اثر رخدادهای باران بر رطوبت اولیه خاک	۱٥۹
جدول ٤-۲۲- تجزیه واریانس اثر رخدادهای باران بر زمان شروع رواناب و ارتفاع رواناب	۱٦۱
جدول ٤-۲۳- تجزیه واریانس اثر رخدادهای باران بر مقدار رسوب و غلظت آن در ...	۱٦٦

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- نمایی از فرسایش آبی در مزارع	۵
شکل ۱-۲- رابطه بین انرژی جنبشی باران و میانگین هندسی اندازه ذرات	۹
شکل ۱-۳- رابطه بین هدررفت خاک و درصد پوشش گیاهی	۱۱
شکل ۱-٤- نمای کلی از مقایسه اندازه ذرات شن، سیلت و رس	۱٦
شکل ۱-۵- مثلث بافت خاک بر اساس درصد نسبی ذرات خاک	۱۷
شکل ۱-٦- تأثیر نوع بافت خاک بر فرآیندهای رواناب و نفوذ	۱۹
شکل ۱-۷- اجزای تشکیل دهنده خاکدانه و چگونگی تشکیل آن	۲۰
شکل ۱-۸- انواع ساختمان خاک	۲۱
شکل ۱-۹- رابطه بین بافت خاک و سرعت نفوذ آب به خاک در طی بارندگی	۲۷
شکل ۱-۱۰- نموگراف برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) در معادله جهانی ...	۳۲
شکل ۲-۱- رابطه بین درصد خاکدانه‌های مقاوم در برابر ضربه قطرات باران و درصد رس	۳۵
شکل ۲-۲- رابطه بین K ویشمایر اسمیت با K بین شیاری و K شیاری	۳۸
شکل ۲-۳- رابطه بین هدررفت خاک با مواد کلوئیدی و رواناب سطحی با میزان شن	٤۳
شکل ۲-٤- رابطه بین میزان رس خاک با هدررفت خاک کل و رواناب کل در سرعت...	٤٤
شکل ۲-۵- رابطه بین فرسایش‌پذیری با درصد رس + ماده آلی، درصد رس، درصد ...	٤۷
شکل ۲-٦- کرت‌های استاندارد جهت اندازه‌گیری رواناب و رسوب	٤۸
شکل ۲-۷- نمایی از باران‌ساز مورد استفاده در این تحقیق	۵۳
شکل ۲-۸- رابطه بین رشد طولی خندق‌ها با درصد رس خاک و درصد سیلت خاک	۵٤
شکل ۲-۹- چگونگی شبیه‌سازی باران در کاربری جنگل مورد بررسی	۵٦
شکل ۲-۱۰- فرسایش‌پذیری در کاربری‌های مختلف اراضی	۵۹
شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی مناطق نمونه برداری شده در سطح استان زنجان	٦٤
شکل ۳-۲- خاک رسی و خاک رسی سیلتی واقع در غرب زنجان	٦٦
شکل ۳-۳- خاک با بافت لوم رسی در ۳۰ کیلومتری غرب زنجان و خاک با بافت لوم ...	٦۷
شکل ۳-٤- نمایی از خاک شن لومی و روش صحرایی برای تشخیص بافت آن	٦۷
شکل ۳-۵- خک شنی واقع در حاشیه رودخانه و خاک لوم رسی سیلتی در پیرامون ...	٦۸
شکل ۳-٦- نمایی از خاک با بافت لوم و لوم شنی و خاک با بافت لوم رسی شنی در ...	٦۸
شکل ۳-۷- تعیین بافت به روش لمسی و برداشت نمونه خاک پس از مشخص شدن ...	٦۹
شکل ۳-۸- زمین آزمایش قبل از شروع کار	۷۰

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۳-۹- نمایی از عملیات شخم و تسطیح کردن زمین قبل از شروع آزمایش	۷۱
شکل ۳-۱۰- زمین آزمایشی پس از انجام عملیات آماده‌سازی	۷۱
شکل ۳-۱۱- اندازه‌گیری شیب زمین با استفاده از شلنگ تراز و نمایی نزدیک از آن	۷۳
شکل ۳-۱۲- فلوم گالوانیزه‌ای مورد استفاده در این تحقیق	۷٤
شکل ۳-۱۳- پیاده سازی پلاتها با مجموع ۳۰ واحد آزمایشی	۷٤
شکل ۳-۱٤- استقرار فلوم‌ها با استفاده از تراز و طناب کشی دور کرتها برای موازی ...	۷۵
شکل ۳-۱۵- حفر چاله جهت گذاشتن مخزن جمع آوری رواناب و رسوب در آن	۷٦
شکل ۳-۱٦- جاگذاری مجرای رواناب و شکل گیری نهایی پلات فرسایشی همراه با ...	۷۷
شکل ۳-۱۷- نمایی از شبیه‌ساز باران طراحی شده در این تحقیق	۷۸
شکل ۳-۱۸- صفحه بارش دستگاه در حال سقوط قطرات و سیستم دورانی شلنگ تراز	۸۰
شکل ۳-۱۹- اندازه‌گیری شدت بارندگی دستگاه باران‌ساز	۸۱
شکل ۳-۲۰- استقرار دستگاه باران‌ساز بر روی پلات فرسایشی	۸۳
شکل ۳-۲۱- گذاشتن صفحه فلزی بر روی پلات قبل از اعمال بارش	۸٤
شکل ۳-۲۲- وقوع پاشمان و ظهور رواناب در سطح خاک و جمع آوری رواناب و ...	۸۵
شکل ۳-۲۳- نمایی از مخزن مدرج و دبه نمونه گیری و طرز نمونه‌گیری همگن از ...	۸۷
شکل ۳-۲٤- انتقال خاک به داخل کرت‌ها و پوشاندن قسمت بیرونی آنها و نمونه‌برداری ...	۸۹
شکل ۳-۲۵- اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک به روش سیلندر	۹۰
شکل ۳-۲٦- پیکنومتر شیشه‌ای برای اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی ذرات خاک	۹۱
شکل ۳-۲۷- دستگاه صفحه فشاری و دستگاه غشای فشاری	۹٤
شکل ۳-۲۸- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع با روش بار ثابت در آزمایشگاه	۹۵
شکل ۳-۲۹- اندازه‌گیری پایداری خاکدانه با روش الک تر و شستشوی خاکهای ...	۹۷
شکل ۳-۳۰- اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری	۹۹
شکل ۳-۳۱- دستگاه EC متر (مدل Jenway-4310)	۱۰۱
شکل ۳-۳۲- دستگاه فلیم فوتومتر	۱۰٦
شکل ۳-۳۳- قیف بوخنر برای عصاره‌گیری و دستگاه جذب اتمیک	۱۰۷
شکل ۳-۳٤- دستگاه اسپکتروفوتومتر برای اندازه‌گیری فسفر	۱۰۸
شکل ٤-۱- تغییرنمای شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) در سطح صفحه بارش ...	۱۱٦
شکل ٤-۲- توزیع مکانی شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) در سطح صفحه بارش ...	۱۱٦

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- فرسایش آبی[1]

فرسایش خاک[2] به فرآیندی گفته می شود که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی جدا شده و به کمک عامل انتقال دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شود (Quansah, 1981). در صورتی که عامل جدا کننده ذرات از بستر آب باشد به آن فرسایش آبی گویند (رفاهی، ۱۳۸۲). فرسایش خاک یک فرآیند سه مرحله‌ای شامل جداسازی ذرات خاک توسط قطرات باران و انتقال آنها توسط عوامل فرساینده مانند جریان آب و باد و رسوبگذاری است. رسوبگذاری هنگامی رخ می‌دهد که انرژی کافی برای انتقال ذرات موجود نباشد (Wischmeier and Smith, 1978; Catt, 2001; Morgan, 2005). برخورد قطرات باران با زمین مهمترین عامل جدا کننده ذرات خاک است. در اثر برخورد قطرات باران با یک خاک لخت ذرات خاک از جا کنده و تا شعاع چند سانتیمتری در هوا پراکنده می‌شود. بنابراین در مرحله اول ذرات خاک در اثر برخورد قطرات باران به سطح خاک متلاشی می‌شوند و در مرحله دوم رواناب سطحی حاصل از باران این ذرات پراکنده شده را با خود انتقال می دهد (Morgan, 2005).

به طور کـلی فرسـایش خاک به وسیله آب را می‌توان به اشکال مختلف مانند: ۱- فرسایش بارانی یا پاشمانی، ۲- فرسایش ورقه‌ای[3]، ۳- فرسایش شیاری[4]، ٤- فرسایش خندقی[5]، ٥- فرسایش سیلابی[6]، ٦- فرسایش بدلند[7]، ۷- فرسایش کنار رودخانه‌ای[8]، ۸- فرسایش تونلی[9]، ۹- فرسـایش توده‌ای[10]، ۱۰- فرسایش پاسنگی یا ستونی[11]، ۱۱- فرسایش درونی یا عمودی[12]، ۱۲- فرسایش مکانیکی یا فرسایش

[1] Water Erosion
[2] Soil Erosion
[3] Sheet erosion
[4] Rill erosion
[5] Gully erosion
[6] Torrent erosion
[7] Badland erosion
[8] Stream bank erosion
[9] Tunnel erosion
[10] Massive erosion
[11] Pedestal erosion
[12] Vertical erosion

ناشی از عملیات خاکورزی[1]، ۱۳- فرسایش شبه کارستی[2]، ۱٤- فرسایش گلخرابی[3]، مشاهده نمود (رفاهی، ۱۳۸۲).

۱-۱-۱- اهمیت فرسایش آبی

در مقیاس جهانی حدود ۱۳٪ از سطح کره زمین در قبال تخریب‌های ناشی از اثرات منفی عوامل انسانی دچار مشکل شده است و در این بین فرسایش آبی دلیل اصلی این تخریب بوده است (غلامی و همکاران، ۱۳۸۹). گزارش‌ها نشان می‌دهد که فرسایش آبی و بادی دو تا از عوامل اصلی تخریب خاکها هستند که به ترتیب حدود ٥٦٪ و ۲۸٪ از کل تخریب اراضی را در سطح جهان به خود اختصاص داده‌اند (Blanco and Lal, 2008). در جدول ۱-۱ می‌توان به میزان تخریب خاکهای جهان در اثر عوامل مختلف پی برد.

جدول ۱-۱- تخریب خاک در کشورهای جهان سوم (ارقام زیر ضریبی از 10^6 هکتار می‌باشند) (Oldmen, 1994)

منطقه	فرسایش آبی	فرسایش بادی	تخریب شیمیائی	تخریب فیزیکی	کل
آفریقا	۲۲۷/۳	۱۸۷/۸	۵۹/۳	۱۹/۸	۴۹۴/۲
آسیا	۴۳۵/۲	۲۲۴/۱	۷۴/۷	۱۵	۷۴۷
آمریکای مرکزی و مکزیک	۴۶/۵	۴/۴	۶/۹	۵	۶۲/۸
آمریکای جنوبی	۱۲۴/۱	۴۱/۴	۷۰/۶	۷/۳	۲۳۴/۴
کل (جمع کشورها)	۸۳۱/۱	۴۵۷/۷	۲۱۱/۵	۴۷/۱	۱۵۳۸/۴
کل جهان	۱۱۰۰	۵۵۰	۲۳۵/۸	۷۸/۶	۱۹۶۴/۴
درصد از کل جهان	۷۵/۶	۸۳/۲	۸۹/۷	۵۹/۹	۷۸/۳

فرسایش آبی یکی از انواع اصلی فرسایش خاک است. سالانه میلیون‌ها تن خاک در اثر فرسایش آبی از سطح حوزه‌های آبخیز جابه‌جا شده و تولید محصولات کشاورزی را با مشکل مواجه می‌سازد.

[1] Mechanical/ Tillage erosion
[2] Pseudocarst erosion
[3] Puddle erosion

مطالعات بسیاری که در رابطه با فرسایش آبی صورت گرفته است، نشان می‌دهد که این فرسایش باعث تغییر در بسیاری از خصوصیات خاک از جمله کاهش ظرفیت نگهداشت، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و تخریب خاک می‌شود (Jin et al., 2008).

فرسایش نه تنها سبب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌گردد و از این راه خسارت زیاد و جبران ناپذیری به جا می‌گذارد بلکه باعث رسوب مواد در آبراهه‌ها، سدها، بنادر و کاهش ظرفیت آنها می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۲). فرسایش خاک از مسائل و مشکلات مهم زیست محیطی به شمار می‌رود. همه ساله میلیون‌ها تن رسوب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مخازن و سدها انباشته می‌شود و هزینه سنگینی صرف لای‌روبی دریاچه‌ها، مخازن و سدها می‌شود. همچنین سیلاب‌های مکرر و از بین رفتن و شستن جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی و آلوده شدن آب شرب ضررهای جبران ناپذیری به انسان و اکوسیستم وارد می‌نماید (محمدی‌ها و همکاران، ۱۳۸۸).

فرسایش آبی نه تنها باعث کاهش حاصلخیزی، تولید محصول و تنوع زیستی می‌شود بلکه باعث تغییر در کیفیت آب، افزایش خطر تغییر آب و هوای جهانی و عدم تامین نیاز غذایی جوامع بشری می‌گردد. همانطور که شکل ۱-۱ نشان می‌دهد فرسایش آبی و هدررفت خاک منجر به تخریب خاک و هدررفت آب می‌شود (Blanco and Lal, 2008). اهمیت خسارت حاصل از فرسایش از آن جهت است که برای تشکیل ۳۰ تا ٤۰ سانتیمتر خاک زراعی زمان زیادی لازم است، در حالی که برای از بین رفتن آن زمان کوتاهی کافی می باشد (رفاهی، ۱۳۸۲).

شکل ۱-۱- نمایی از فرسایش آبی در مزارع (Blanco and Lal, 2008)

امروزه بیش از ۹۷٪ مواد غذایی جهان از خاک به دست می‌آید. رشد روز افزون جمعیت و افزایش نیازها به منابع طبیعی موجب گردیده تا کاهش فرسایش و توسعه پایدار به عنوان امری ضروری طی دهه‌های اخیر مطرح گردد (Oldmen, 1994). امروزه حفاظت از خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری-ترین اقدامات در هر کشور می‌باشد (رفاهی، ۱۳۸۲). حفاظت خاک و آب از اصولی‌ترین پایه‌های توسعه پایدار است. بی‌توجهی به این اصل می‌تواند عواقب جبران‌ناپذیری را از نظر اقتصادی، اجتماعی و سیاسی برای کشور به دنبال داشته باشد. از جمله این عواقب، در خطر قرار گرفتن اهمیت غذایی کشور است (چرخابی، ۱۳۸۰).

فرسایش آبی یکی از فرایندهای کلیدی در فرسایش خاک در ایران است. در مناطق خشک و نیمه-خشک ایران به علت ناچیز بودن پوشش سطحی خاک، فرسایش سطحی ناشی از قطرات باران و رواناب بسیار شایع است (نیکپور و همکاران، ۱۳۸٦). درکشورهای درحال توسعه ازجمله ایران، فرسایش خاک یک معضل است که باعث هدررفتن منابع خاک می‌شود و سالانه میلیاردها ریال زیان وارد می‌کند (آرمین و همکاران، ۱۳۸٦). به طور مثال، افزایش ٤٥۰ درصدی میزان فرسایش خاک در کشور طی سالهای ۱۳۳۰ تا ۱۳۷۸ نشانگر بحرانی بودن وضعیت فرسایش و لزوم مهار آن در ایران می‌باشد (احمدی،

۱۳۷۸). فرسایش خاک توسط آب یکی از مسائل مهم و اصلی بازدارنده برای تحقق توسعه اقتصادی و اجتماعی به دلیل تخریب منابع زیست محیطی افزون بر عامل بازدارنده در دستیابی به امنیت غذایی در جهان می‌باشد (چترسیماب و همکاران، ۱۳۹۰). مهار فرسایش خاک برای حفظ حاصلخیزی طولانی مدت منابع طبیعی امری حیاتی می‌باشد (Kazuki Nanko et al., 2008).

۱-۲- عوامل موثر بر فرسایش آبی

برای بررسی فرسایش خاک در یک منطقه، شناسایی عوامل مؤثر بر فرسایش و نقش هر یک در مقدار فرسایش حائز اهمیت است. ارزیابی مناسب عوامل مؤثر در فرسایش خاک در یک منطقه به عنوان نخستین گام در ارائه راهکاری مناسب برای کاهش فرسایش خاک است (Rejman et al., 1998). هدف از شناخت عوامل مؤثر در فرسایش خاک، ارزیابی خطرات فرسایش و مشخص کردن مناطقی است که از نظر خطر فرسایش مشابه می‌باشد. به نظر می‌رسید که از این طریق امکان برنامه‌ریزی برای حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش میسر می‌شود. با توجه به چنین نگرش و تفکری بوده است که لزوم آگاهی از مقدار و شدت فرسایش برای تعیین راهبردهای کارآمد و بهینه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش و تولید رسوب مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته تا بر اساس آن بتوان موقعیت مکانی و میزان خطر فرسایش را پیش‌بینی نمود (Morgan, 2005).

در طبیعت، مسأله فرسایش خاک در مقابل پدیده خاک‌سازی قرار دارد. عوامل مختلف طبیعی و انسانی در بروز و تشدید فرسایش نقش دارند. فرسایش خاک یک پدیده طبیعی است که در اثر فعالیت-های بشر تشدید می‌شود (Morgan, 2005). در بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک اساسا نمی‌توان

عامل مشخص و معینی را به عنوان عامل اصلی فرسایش در یک منطقه معرفی نمود و فرسایش موجود را باید معلول تأثیرات متقابل مجموعه و عناصر مؤثر در ایجاد فرسایش دانست (رفاهی، ۱۳۸۲).

عوامل مؤثر در فرسایش آبی شامل عوامل اقلیمی (باران، تگرگ، برف، یخبندان، دما و باد)، فرسایش-پذیری خاک، شیب زمین، پوشش گیاهی و مدیریت بهره‌برداری از اراضی می‌باشد (رفاهی،۱۳۸۲). تأثیر متقابل این عوامل بر یکدیگر، شدت و مقدار فرسایش را تعیین می‌کند (Blanco and Lal, 2008). این عوامل به سه گروه کلی تقسیم می‌شوند: گروه اول عواملی هستند که انرژی لازم را برای بروز فرسایش فراهم می‌کنند. گروه دوم عواملی هستند که زمینه بروز یا عدم بروز آن را فراهم می‌کنند و گروه سوم عواملی هستند که موجب حفظ خاک (به درجات مختلف) در برابر فرسایش می‌شوند (Morgan, 2005).

۱-۲-۱- فرسایندگی باران[1]

دو عامل اصلی موثر در فرسایش خاک به وسیله آب، باران و رواناب می‌باشد. فرسایندگی باران از جمله عوامل مؤثر بر فرسایش خاک می‌باشد. در فرسایش‌های آبی میزان تلفات خاک رابطه مستقیمی با بارندگی دارد که از طرفی به قدرت پاشمان قطرات باران که به سطح خاک برخورد می‌کنند و از طرفی به نقش باران در تولید رواناب بستگی دارد (نیک کامی و همکاران، ۱۳۸٤). خصوصیات موثر در فرسایندگی باران شامل: مقدار، شدت، سرعت نهایی، اندازه قطرات و توزیع اندازه قطرات باران می‌باشد. این مشخصه‌ها بر فرسایندگی کل یک باران اثر می‌گذارند، با این وجود داده‌های آنها در هر منطقه‌ای برای برآوردی صحیح از میزان فرسایندگی باران در دسترس نیستند. فرسایندگی باران و تأثیر آن در نواحی با آب و هوای مختلف متفاوت است. توزیع سالانه باران نیز بر فرسایندگی باران اثر می‌گذارد. در

[1] Rainfall erosivity

این میان شدت بارندگی مهمترین خصوصیت باران است که مقدار فرسایش را مشخص می‌کند (Blanco and Lal, 2008).

در حالت طبیعی، فرسایش به مجموع قدرت باران در ایجاد فرسایش و همچنین توانایی خاک در برابر باران بستگی دارد. به عبارتی فرسایش تابعی از فرسایندگی باران و فرسایش‌پذیری خاک است (هادسون[1]، ۱۳۸۲). در یک رخداد بارندگی، انرژی جنبشی لازم برای جدا کردن یک کیلوگرم خاک به میانگین هندسی اندازه ذرات خاک بستگی دارد، طوری که ذراتی که در دامنه سیلت قرار دارند کمترین انرژی جنبشی باران را برای جداشدن از سطح خاک نیاز دارند. در شکل ۱-۲ می‌توان این رابطه را به صورت کامل مشاهده کرد (Morgan, 2005).

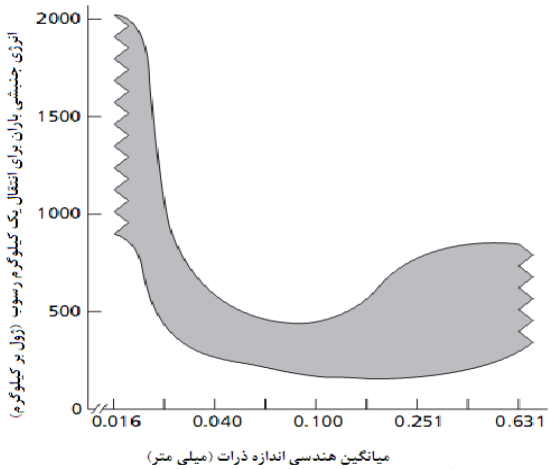
همچنین ژین ژیاو[2] و همکاران (۲۰۰۶) معتقدند که بارندگی به عنوان نیروی محرکه اصلی برای ایجاد فرسایش است به طوری که مقدار بارندگی، شدت، مدت، نوع باران و دیگر خصوصیات آن دقیقا با مقدار فرسایش خاک ارتباط دارد. شدت بارندگی در صورتی سبب فرسایش می‌شود که مدت ریزش باران نسبتا طولانی باشد به عبارتی دیگر فرساینده‌ترین باران آنهایی هستند که شدت زیاد و مقدار زمان بارش کافی داشته باشند.

حاصل‌ضرب انرژی جنبشی باران (E) و بزرگترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای آن (I_{30}) شاخصی مناسب برای تعیین قدرت فرسایندگی باران است. این شاخص توانایی هر باران در جداسازی ذرات خاک و انتقال آن را نشان می‌دهد. آنها رابطه انرژی جنبشی با شدت بارندگی را به صورت زیر بیان می‌شود (Wischmeier and Smith, 1978).

$$KE = 11.87 + 8.75 \log_{10} I \qquad (۱-۱)$$

[1] Hudson
[2] Xinxiao

که در آن: KE، انرژی جنبشی باران بر حسب ژول بر متر مربع در سانتیمتر باران و I، شدت بارندگی بر حسب سانتیمتر در ساعت می‌باشد.



شکل ۱-۲- رابطه بین انرژی جنبشی باران و میانگین هندسی اندازه ذرات (Morgan, 2005)

۱-۲-۲- شیب

خصوصیاتی از شیب که در فرسایش خاک دخالت دارند عبارتند از: درجه، طول، شکل و جهت شیب. در صورت یکسان بودن سایر شرایط، شیب‌های تند فرسایش زیادی ایجاد می‌کنند زیرا در این شیب‌ها آب با سرعت بیشتری به طرف پایین جاری شده و در نتیجه فرسایندگی آن بیشتر می‌شود. باتنی و گریسمر[1] (۲۰۰۰) بیان کردند که افزایش درصد شیب زمین در محدوده بین ٤ تا ١٦ درصد، تأثیر مثبت و معنی دار بر روی میزان هدررفت خاک دارد. شیب طولانی نیز با دریافت باران بیشتر نسبت به شیب با طول کوتاه موجب افزایش حجم و سرعت آب شده و در نتیجه فرسایندگی رواناب در آن نسبت به شیب‌های کوتاه بیشتر است. در کل شیب‌های تند، طولانی، دارای شکل محدب و در جهت رو به آفتاب دارای بیشترین میزان فرسایش می‌باشند (رفاهی، ۱۳۸۲). رابطه بین فرسایش و شیب بر اساس رابطه نمایی زیر می‌تواند بیان شود (Morgan, 2005):

[1] Battany and Grismer

$$E \propto \tan^m \theta L^n \quad (۲-۱)$$

که در آن: E، هدررفت خاک در واحد سطح، θ زاویه شیب، L طول شیب می‌باشد. n و m نیز پارامترهای تجربی هستند که طبق مطالعات زینگ[1] (۱۹٤۰) در سرویس حفاظت خاک آمریکا به ترتیب برابر با ۰/٦ و ۱/٤ برآورد شده بود (رابطه ۱-۳).

$$E \propto \tan^{1.4} \theta L^{0.6} \quad (۳-۱)$$

۱-۲-۳- پوشش گیاهی

یکی دیگر از عوامل بسیار مهم تعیین کننده میزان فرسایش و هدر رفت خاک، مشخصه‌های مربوط به پوشش گیاهی در سطح خاک می‌باشد. پوشش گیاهی از جهات مختلف می‌تواند باعث کاهش میزان فرسایش خاک گردد (زنگی آبادی و همکاران، ۱۳۸٤). ویژگی‌های مختلف پوشش گیاهی از جمله: ارتفاع، تراکم و مرحله رشد پوشش گیاهی بر میزان فرسایش تاثیر دارند. به طور کلی گیاهان دارای ارتفاع کم و تراکم زیاد که در مراحل بیشترین رشد رویشی خود می‌باشند، نقش بیشتری در کاهش فرسایش خاک دارند (رفاهی، ۱۳۸۲).

نقش گیاهان به عنوان یک لایه حفاظتی یا حائل بین اتمسفر و خاک است. ترکیبات سطح زمین، از قبیل برگ گیاهان و خاشاک عمده‌ی انرژی قطرات باران، جریان آب و باد را می‌گیرد به طوری که کمتر متوجه خاک شود، در حالی که ترکیبات زیر سطح زمین، شامل سیستم ریشه‌ای با مقاومت مکانیکی خاک در ارتباط است. با توجه به شکل ۱-۳ می‌توان گفت رابطه بین میزان هدررفت خاک با درصد پوشش گیاهی به صورت نمایی کاهشی است (Wischmeier and Smith, 1978 به نقل از Morgan, 2005):

1 Zingg