بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

بخش خاکشناسی

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی

گرایش فیزیک و حفاظت خاک

تغییرات مکانی و زمانی توزیع اندازه ذرات رسوب تحت تأثیر فرسایش ناشی از رواناب

مؤلف

الهام سیرجانی

استاد راهنما

دکتر مجید محمودآبادی

استاد مشاور

دکتر وحیدرضا جلالی مؤخر

بهمن ماه ۱۳۹۱

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش خاکشناسی

دانشکده کشاورزی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: الهام سیرجانی

استاد راهنما: دکتر مجید محمودآبادی

استاد مشاور: دکتر وحیدرضا جلالی مؤخر

داور ۱: دکتر مجید فکری

داور ۲: دکتر اعظم جعفری

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده در جلسه دفاع: دکتر امین خضری

معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده: دکتر مجید رحیم‌پور

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان می‌باشد.

تقدیم به:

با کمال ادب و احترام
تقدیم به استاد گرامی جناب آقای دکتر مجید محمودآبادی
که شاگردی در محضر ایشان مایه افتخار من است
تقدیم به پدر و مادر عزیز و مهربانم
که لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه‌های یکتا و زیبای زندگی‌ام، مدیون حضور سبز آن‌هاست
تقدیم به برادر عزیز و بزرگوارم جناب آقای مهندس عطاء میرزایی
که سایه مهربانی‌اش همواره سایه‌سار زندگی‌ام می‌باشد
و تقدیم به همراه همیشگی لحظه‌هایم، پناه خستگی‌ها و امید بودنم، همسر مهربانم
که مسیح وار با صبرش در تمامی لحظات، رفیق راهم بود.

تشکر و قدردانی:

سپاس بیکران خدای را که با وجود تمام سختی‌ها و با وجود همه فراز و نشیب‌ها، این مرحله از زندگی نیز به مقصد خود رسید. خدایا در این مسیر پر پیچ و خم، آن‌گاه که تاریکی‌های ظلمانی ناامیدی بر من غلبه می‌کرد، تنها تو روشنایی بخش راهم بودی و آن‌گاه که در بی‌پناهی به دنبال دست‌هایی یاریگر می‌گشتم، دست‌های لطف و پناه تو از آستین انسان‌هایی شریف، اساتیدی بزرگوار و دوستانی یگانه، دستانم را به گرمی همراهی می‌فشرد و یاریگرم بود. خدای مهربانم، بی‌نهایت سپاسم را به بارگاه تو ارسال می‌کنم، درحالی‌که باری دیگر به یاری تو و با نگاه مهربان تو، مرحله‌ای دیگر از مراحل علمی زندگیم را پشت سر گذاشتم. مراتب تقدیر و سپاس نثار استاد بزرگوار و گرانقدرم جناب آقای دکتر مجید محمودآبادی که پیمودن این راه بدون رهنمودها و راهنمایی‌های ارزنده ایشان ممکن نبود. همچنین از استاد مشاور گرامی‌ام جناب آقای دکتر وحیدرضا جلالی صمیمانه قدردانی می‌نمایم. از اساتید گرامی جناب آقای دکتر مجید فکری و خانم دکتر اعظم جعفری که داوری جلسه دفاعیه را بر عهده داشتند و همچنین از جناب آقای دکتر امین خضری، نماینده محترم تحصیلات تکمیلی کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. در پایان از همکاری همه کسانی که برای عبور از این مرحله از زندگیم مرا یاری کردند، صمیمانه قدردانی می نمایم.

چکیده

فرسایش خاک فرآیندی پویاست که توزیع اندازه ذرات طی وقوع آن با زمان و مکان تغییرات زیادی دارد. شناخت دینامیکی توزیع اندازه ذرات رسوب، یکی از مبانی مدل‌سازی فرسایش خاک، انتقال عناصر غذایی، آلاینده‌ها و ذرات ریز محسوب می‌شود. تحقیق حاضر با هدف بررسی فرآیندها و مکانیسم‌های حمل ذرات ناشی از فرسایش ورقه‌ای با تأکید بر تغییرات زمانی و مکانی و با استفاده از فلوم آزمایشگاهی اجرا شد. آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و از طریق ایجاد ترکیب‌های مختلف شیب (۱/۵ و دو درصد) و دبی جریان (۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ میلی‌لیتر در ثانیه) و خاک (با اسامی زراعی و ماسه‌ای) در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که شرایط هیدرولیکی جریان و همچنین توزیع اندازه ذرات خاک، نقش اساسی در انتقال انتخابی ذرات رسوب ایفا می‌کنند به‌نحوی‌که در خاک زراعی، دو پیک در توزیع اندازه ذرات رسوب مشاهده شد. در پیک اول (ذرات ریز با اندازه ۰/۰۴۲ میلی-متر)، مکانیسم غالب حمل ذرات، بار معلق- جهشی بود و در پیک دوم (ذرات درشت با قطر ۱/۵ میلی‌متر)، مکانیسم حمل بار بستر غالب بود. از سویی، با افزایش قدرت جریان ناشی از افزایش شیب و یا دبی جریان، شرایط به‌تدریج از حالت انتخابی برای ذرات ریز خارج شد و هم ذرات ریز و هم ذرات درشت منتقل شدند. در خاک ماسه‌ای، تنها یک پیک آن هم برای ذرات با دامنه اندازه ۰/۱۰۹ تا ۰/۱۷۵ میلی‌متر مشاهده شد. به‌علاوه با افزایش قدرت جریان، فراوانی ذرات ریز (کلاس اندازه ۰/۱۰۹ میلی‌متر و کلاس‌های کوچک‌تر از آن)، در رسوب کاهش نشان داد. در مقابل با افزایش قدرت جریان، درصد ذرات در کلاس اندازه ۰/۲۱۸ میلی‌متر و کلاس‌های بزرگ‌تر از آن افزایش یافت. با افزایش قدرت جریان در هر دو خاک، اهمیت نسبی انتقال ذرات به‌صورت بار معلق و بار بستر به‌ترتیب کاهش و افزایش پیدا کرد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که ارتباط منطقی بین توزیع اندازه ذرات رسوب و در نتیجه مکانیسم حمل ذرات با شرایط هیدرولیکی جریان نظیر شیب و دبی جریان (قدرت جریان) و همچنین توزیع اندازه ذرات خاک در معرض فرسایش وجود دارد.

کلمات کلیدی: توزیع اندازه ذرات رسوب، فرسایش ورقه‌ای، فلوم، قدرت جریان، مکانیسم حمل.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهداف تحقیق ۵

۱-۳- فرضیات ۵

۱-۴- نوآوری تحقیق ۵

فصل دوم- مرور منابع

۲-۱- مفهوم فرسایش خاک ۸

۲-۲- اهمیت فرسایش ۸

۲-۳- انواع فرسایش ۹

۲-۴- تبعات ناشی از فرسایش ۱۲

۲-۵- وضعیت فرسایش در جهان ۱۲

۲-۶- وضعیت فرسایش در ایران ۱۳

۲-۷- فرآیندهای اصلی فرسایش ۱۴

۲-۷-۱- جدا شدن ذرات ۱۵

۲-۷-۲- انتقال ذرات ۱۶

۲-۷-۳- رسوبگذاری ۱۹

۲-۸- مدل‌های فرسایش ۲۰

۲-۹- عوامل مؤثر بر فرسایش آبی ۲۱

۲-۹-۱- فرسایندگی ۲۲

۲-۹-۱-۱- رواناب ۲۲

۲-۹-۱-۲- شیب ۲۶

۲-۹-۲- فرسایش پذیری خاک ۲۸

۲-۹-۲-۱- توزیع اندازه ذرات اولیه ۲۹

۲-۹-۲-۲- توزیع اندازه ذرات ثانویه ۳۰

۲-۹-۲-۳- زبری سطح ۳۲

۲-۹-۲-۴- سایر عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک ۳۴

۲-۱۰- دینامیک فرسایش ۳۶
۲-۱۰-۱- تغییرات زمانی غلظت رسوب ۳۶
۲-۱۰-۲- تغییرات مکانی و زمانی توزیع اندازه ذرات رسوب ۳۸
۲-۱۱- روش‌های اندازه‌گیری فرسایش ۴۳

فصل سوم- مواد و روش‌ها

۳-۱- نمونه‌برداری ۴۷
۳-۲- تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ۴۷
۳-۳- آزمایش‌های فرسایش ورقه‌ای ۴۷
۳-۳-۱- مشخصات فلوم ۴۷
۳-۳-۲- آزمایش‌های فلوم ۴۸
۳-۳-۳- توزیع اندازه ذرات ثانویه ۴۹
۳-۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها ۵۱
۳-۵- تعیین شاخص‌های فرسایندگی رواناب ۵۱
۳-۶- تجزیه و تحلیل توزیع اندازه ذرات ۵۲

فصل چهارم- نتایج و بحث

۴-۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه ۵۵
۴-۲- خصوصیات هیدرولیکی جریان ۵۷
۴-۳- تغییرات زمانی غلظت رسوب ۵۸
۴-۴- تغییرات زمانی دبی رسوب ۶۱
۴-۵- تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر شدت فرسایش ورقه‌ای ۶۳
۴-۵-۱- تأثیر دبی جریان ۶۴
۴-۵-۲- تأثیر شیب ۶۵
۴-۵-۳- تأثیر نوع خاک ۶۶
۴-۶- شاخص‌های فرسایندگی رواناب ۶۶
۴-۶-۱- عمق جریان ۶۷
۴-۶-۲- سرعت جریان ۶۸
۴-۶-۳- شدت جریان واحد ۷۰
۴-۶-۴- قدرت جریان واحد ۷۱

۴-۶-۵- تنش برشی جریان ۷۲
۴-۶-۶- قدرت جریان ۷۳
۴-۶-۷- مقایسه شاخص‌های فرسایندگی رواناب ۷۴
۴-۷- تغییرات زمانی توزیع اندازه ذرات رسوب ۷۶
۴-۷-۱- تأثیر دبی جریان ۹۰
۴-۷-۲- تأثیر شیب ۹۴
۴-۷-۳- تأثیر خاک ۹۷
۴-۷-۴- مکانیسم‌های حمل ذرات بر مبنای تغییرات زمانی ۹۸
۴-۸- تغییرات مکانی توزیع اندازه ذرات ۱۰۶
۴-۸-۱- تأثیر دبی جریان ۱۲۰
۴-۸-۲- تأثیر شیب ۱۲۹
۴-۸-۳- مکانیسم‌های حمل بر مبنای تغییرات مکانی ۱۳۵
فصل پنجم- نتیجه‌گیری
۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۴۴
۵-۲- پیشنهادات ۱۴۶
منابع ۱۴۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- نمایی از انواع مکانیسم‌های حمل ذرات ۱۸
شکل ۳-۱- نمایی از فلوم مورد استفاده و ابعاد آن ۴۸
شکل ۳-۲- سطح دو نمونه خاک مورد استفاده در تحقیق با حداکثر اندازه ذرات ۲ میلی‌متر پس از عملیات تسطیح در فلوم شامل؛ خاک زراعی (C) و خاک ماسه‌ای (S) ۴۹
شکل ۴-۱- توزیع اندازه ذرات ثانویه در حالت تر برای دو خاک زراعی و ماسه‌ای.....۵۵
شکل ۴-۲- تغییرات غلظت رسوب با زمان برای خاک زراعی در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۶۰
شکل ۴-۳- تغییرات غلظت رسوب با زمان برای خاک ماسه‌ای در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۶۱
شکل ۴-۴- تغییرات دبی رسوب با زمان برای خاک زراعی در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۶۲
شکل ۴-۵- تغییرات دبی رسوب با زمان برای خاک ماسه‌ای در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۶۳
شکل ۴-۶- اثر دبی‌های مختلف جریان بر شدت فرسایش ورقه‌ای ۶۵
شکل ۴-۷- اثر نوع خاک و درصد شیب بر شدت فرسایش ورقه‌ای.....۶۶
شکل ۴-۸- رابطه بین عمق جریان و شدت جدا شدن ذرات در دو شیب ۱/۵ و ۲ درصد برای دو خاک (الف) زراعی و (ب) ماسه‌ای (**: معنی‌دار در سطح یک درصد) ۶۸
شکل ۴-۹- رابطه بین سرعت جریان و شدت فرسایش ورقه‌ای برای دو خاک (الف) زراعی و (ب) ماسه‌ای (**: معنی‌دار در سطح یک درصد) ۶۹
شکل ۴-۱۰- رابطه بین شدت جریان واحد و شدت جدا شدن ذرات برای دو خاک (الف) زراعی و (ب) ماسه‌ای (**: معنی‌دار در سطح یک درصد).....۷۰
شکل ۴-۱۱- رابطه بین قدرت جریان واحد و شدت جدا شدن ذرات برای دو خاک (الف) زراعی و (ب) ماسه‌ای (**: معنی‌دار در سطح یک درصد) ۷۱
شکل ۴-۱۲- رابطه بین تنش برشی جریان و شدت جدا شدن ذرات برای دو خاک (الف) زراعی و (ب) ماسه‌ای (**: معنی‌دار در سطح یک درصد).....۷۲
شکل ۴-۱۳- رابطه بین قدرت جریان و شدت جدا شدن ذرات برای دو خاک (الف) زراعی و

(ب) ماسه‌ای (**: معنی‌دار در سطح یک درصد) ۷۳
شکل ۴-۱۴- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک زراعی در شیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۷۹
شکل ۴-۱۵- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک زراعی در شیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۲۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۵۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۸۰
شکل ۴-۱۶- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک زراعی در شیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۸۱
شکل ۴-۱۷- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک زراعی در شیب ۲ درصد و دو دبی جریان (الف) ۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۸۲
شکل ۴-۱۸- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک زراعی در شیب ۲ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۲۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۵۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۸۳
شکل ۴-۱۹- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک زراعی در شیب ۲ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۸۴
شکل ۴-۲۰- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک ماسه‌ای در شیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۸۵
شکل ۴-۲۱- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک ماسه‌ای در شیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۲۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۵۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۸۶
شکل ۴-۲۲- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک ماسه‌ای در شیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۸۷

شکل ۴-۲۳- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک ماسه‌ای در شیب ۲ درصد و دو دبی جریان (الف) ۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه.....۸۸
شکل ۴-۲۴- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک ماسه‌ای در شیب ۲ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۲۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۵۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۸۹
شکل ۴-۲۵- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در بازه‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش در مقایسه با خاک ماسه‌ای در شیب ۲ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۹۰
شکل ۴-۲۶- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در دبی‌های مختلف جریان در مقایسه با خاک زراعی در دقیقه یک از شروع آزمایش در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۹۲
شکل ۴-۲۷- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه رسوب در دبی‌های مختلف جریان در مقایسه با خاک ماسه‌ای در دقیقه یک از شروع آزمایش در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۹۴
شکل ۴-۲۸- تأثیر شیب بر درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در رسوب خروجی در مقایسه با خاک زراعی در دقیقه یک از شروع آزمایش برای دبی جریان‌های (الف) ۷۵، (ب) ۱۰۰، (ج) ۱۲۵، (د) ۱۵۰، (ه) ۱۷۵ و (و) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۹۶
شکل ۴-۲۹- تأثیر شیب بر درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در رسوب خروجی در مقایسه با خاک ماسه‌ای در دقیقه یک از شروع آزمایش برای دبی جریان‌های (الف) ۷۵، (ب) ۱۰۰، (ج) ۱۲۵، (د) ۱۵۰، (ه) ۱۷۵ و (و) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۹۷
شکل ۴-۳۰- رابطه بین قدرت جریان و مکانیسم‌های حمل ذرات برای خاک زراعی در دقیقه یک از شروع آزمایش بر مبنای (الف) SS و (ب) BL (اعدادی که با ستاره مشخص شده، در ترسیم خط رگرسیون مربوط به هر دو شیب، لحاظ نشده است) ۱۰۳
شکل ۴-۳۱- رابطه بین قدرت جریان و مکانیسم‌های حمل ذرات برای خاک ماسه‌ای در دقیقه یک از شروع آزمایش بر مبنای (الف) SS و (ب) BL.....۱۰۴
شکل ۴-۳۲- رابطه بین قدرت جریان و نسبت بار معلق- جهشی به بار بستر (SS/BL) در رسوب برای دو خاک زراعی و ماسه‌ای، در دقیقه یک از شروع آزمایش (در خاک زراعی اعدادی که با ستاره مشخص شده، در ترسیم خط رگرسیون لحاظ نشده است) ۱۰۶
شکل ۴-۳۳- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک

فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک زراعی پس از اتمام آزمایش درشیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۰۸
شکل ۴-۳۴- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک زراعی پس از اتمام آزمایش درشیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۲۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۵۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۰۹
شکل ۴-۳۵- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک زراعی پس از اتمام آزمایش درشیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۱۰
شکل ۴-۳۶- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک زراعی پس از اتمام آزمایش درشیب ۲ درصد و دو دبی جریان (الف) ۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۱۱
شکل ۴-۳۷- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک زراعی پس از اتمام آزمایش درشیب ۲ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۲۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۵۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۱۲
شکل ۴-۳۸- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک زراعی پس از اتمام آزمایش درشیب ۲ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۱۳
شکل ۴-۳۹- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک ماسه‌ای پس از اتمام آزمایش درشیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۱۵
شکل ۴-۴۰- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک ماسه‌ای پس از اتمام آزمایش درشیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۲۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۵۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۱۶
شکل ۴-۴۱- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک ماسه‌ای پس از اتمام آزمایش درشیب ۱/۵ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۱۷
شکل ۴-۴۲- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک ماسه‌ای پس از اتمام آزمایش درشیب ۲ درصد و دو دبی جریان

(الف) ۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۱۸
شکل ۴-۴۳- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک ماسه‌ای پس از اتمام آزمایش درشیب ۲ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۲۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۱۵۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۱۹
شکل ۴-۴۴- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات خاک در سه مکان مختلف در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک ماسه‌ای پس از اتمام آزمایش درشیب ۲ درصد و دو دبی جریان (الف) ۱۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه و (ب) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۲۰
شکل ۴-۴۵- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات رسوب در دقایق انتهایی آزمایش در مقایسه با خاک زراعی در دبی‌های مختلف جریان در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد..... ۱۲۲
شکل ۴-۴۶- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در خاک فرسایش‌یافته در ابتدای فلوم در مقایسه با خاک زراعی پس از اتمام آزمایش در دبی‌های مختلف جریان در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۱۲۳
شکل ۴-۴۷- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در خاک فرسایش‌یافته در وسط فلوم در مقایسه با خاک زراعی پس از اتمام آزمایش در دبی‌های مختلف جریان در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۱۲۴
شکل ۴-۴۸- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در خاک فرسایش‌یافته در انتهای فلوم در مقایسه با خاک زراعی پس از اتمام آزمایش در دبی‌های مختلف جریان در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۱۲۵
شکل ۴-۴۹- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات رسوب در دقایق انتهایی آزمایش در مقایسه با خاک ماسه‌ای در دبی‌های مختلف جریان در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد..... ۱۲۶
شکل ۴-۵۰- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در خاک فرسایش‌یافته در ابتدای فلوم در مقایسه با خاک ماسه‌ای پس از اتمام آزمایش در دبی‌های مختلف جریان در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۱۲۷
شکل ۴-۵۱- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در خاک فرسایش‌یافته در وسط فلوم در مقایسه با خاک ماسه‌ای پس از اتمام آزمایش در دبی‌های مختلف جریان در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۱۲۸
شکل ۴-۵۲- درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در خاک فرسایش‌یافته در انتهای فلوم در مقایسه با خاک ماسه‌ای پس از اتمام آزمایش در دبی‌های مختلف جریان در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و

(ب) ۲ درصد ۱۲۹
شکل ۴-۵۳- تأثیر شیب بر درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک زراعی در ابتدای فلوم در دو شیب ۱/۵ و ۲ درصد برای دبی جریان‌های (الف) ۷۵، (ب) ۱۰۰، (ج) ۱۲۵، (د) ۱۵۰، (ه) ۱۷۵ و (و) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۳۰
شکل ۴-۵۴- تأثیر شیب بر درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک زراعی در وسط فلوم در دو شیب ۱/۵ و ۲ درصد برای دبی جریان‌های (الف) ۷۵، (ب) ۱۰۰، (ج) ۱۲۵، (د) ۱۵۰، (ه) ۱۷۵ و (و) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۳۱
شکل ۴-۵۵- تأثیر شیب بر درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک زراعی در انتهای فلوم در دو شیب ۱/۵ و ۲ درصد برای دبی جریان‌های (الف) ۷۵، (ب) ۱۰۰، (ج) ۱۲۵، (د) ۱۵۰، (ه) ۱۷۵ و (و) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۳۲
شکل ۴-۵۶- تأثیر شیب بر درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک ماسه‌ای در ابتدای فلوم در دو شیب ۱/۵ و ۲ درصد برای دبی جریان‌های (الف) ۷۵، (ب) ۱۰۰، (ج) ۱۲۵، (د) ۱۵۰، (ه) ۱۷۵ و (و) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۳۳
شکل ۴-۵۷- تأثیر شیب بر درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک ماسه‌ای در وسط فلوم در دو شیب ۱/۵ و ۲ درصد برای دبی جریان‌های (الف) ۷۵، (ب) ۱۰۰، (ج) ۱۲۵، (د) ۱۵۰، (ه) ۱۷۵ و (و) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۳۴
شکل ۴-۵۸- تأثیر شیب بر درصد جزء ۱۰ کلاس اندازه ذرات در سطح خاک فرسایش‌یافته در مقایسه با خاک ماسه‌ای در انتهای فلوم در دو شیب ۱/۵ و ۲ درصد برای دبی جریان‌های (الف) ۷۵، (ب) ۱۰۰، (ج) ۱۲۵، (د) ۱۵۰، (ه) ۱۷۵ و (و) ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ثانیه ۱۳۵
شکل ۴-۵۹- رابطه بین قدرت جریان و تغییر نسبی مکانیسم بار معلق- جهشی (SS) نسبت به خاک اصلی در سه موقعیت ابتدا، میانه و انتهای فلوم در سطح خاک فرسایش‌یافته برای خاک زراعی در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۱۳۷
شکل ۴-۶۰- رابطه بین قدرت جریان و تغییر نسبی مکانیسم بار معلق- جهشی (SS) نسبت به خاک اصلی در سه موقعیت ابتدا، میانه و انتهای فلوم در سطح خاک فرسایش‌یافته برای خاک ماسه‌ای در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۱۳۹
شکل ۴-۶۱- رابطه بین قدرت جریان و تغییر نسبی مکانیسم بار بستر (BL) نسبت به خاک اصلی در سه موقعیت ابتدا، میانه و انتهای فلوم در سطح خاک فرسایش‌یافته برای خاک زراعی در دو شیب (الف) ۱/۵ درصد و (ب) ۲ درصد ۱۴۰

شکل ۴-۶۲- رابطه بین قدرت جریان و تغییر نسبی مکانیسم بار بستر (BL) نسبت به خاک اصلی در سه موقعیت ابتدا، میانه و انتهای فلوم در سطح خاک فرسایش‌یافته برای خاک ماسه‌ای در دو شیب (الف) ۱/۵ و (ب) ۲ درصد ۱۴۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- اراضی تحت فرسایش آبی و بادی در جهان (Oldman، ۱۹۹۲) ۱۳
جدول ۳-۱- فهرست علائم اختصاری مورد استفاده ۵۳
جدول ۴-۱- مقادیر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه ۵۵
جدول ۴-۲- مقادیر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.....۵۶
جدول ۴-۳- نتایج برخی ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش‌های فلوم ۵۷
جدول ۴-۴- محدوده تغییرات خصوصیات هیدرولیکی مربوط به آزمایش‌های انجام شده در خاک زراعی در دو شیب ۱/۵ و ۲ درصد ۵۸
جدول ۴-۵- محدوده تغییرات خصوصیات هیدرولیکی مربوط به آزمایش‌های انجام شده در خاک ماسه‌ای در دو شیب ۱/۵ و ۲ درصد ۵۸
جدول ۴-۶- نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مورد مطالعه بر شدت فرسایش ورقه‌ای (اعداد، میانگین مربعات (MS) را نشان میدهد) ۶۴
جدول ۴-۷- مقایسه شاخص‌های فرسایندگی در برآورد شدت جدا شدن ذرات در خاک زراعی ۷۵
جدول ۴-۸- مقایسه شاخص‌های فرسایندگی در برآورد شدت جدا شدن ذرات در خاک ماسه‌ای ۷۶
جدول ۴-۹- مقادیر قدرت جریان در آزمایش‌های انجام شده بر روی دو خاک زراعی و ماسه‌ای ۷۷
جدول ۴-۱۰- کلاس‌های اندازه (میلی‌متر) بدست آمده به عنوان مرز تقریبی برای تمام دبی جریان‌ها برای دو نمونه خاک زراعی و ماسه‌ای در دقیقه یک از شروع آزمایش ۱۰۰
جدول ۴-۱۱- اهمیت نسبی (درصد) مکانیسم‌های بار معلق-جهشی (SS) و بار بستر (BL) در انتقال ذرات رسوب در دقیقه یک از شروع آزمایش ۱۰۱
جدول ۴-۱۲- نسبت مکانیسم‌های بار معلق- جهشی (SS) به بار بستر (BL) در رسوب دو خاک زراعی و ماسه‌ای در دقیقه یک از شروع آزمایش ۱۰۵
جدول ۴-۱۳- کلاس‌های اندازه (میلی‌متر) تعیین شده به عنوان مرز تقریبی بین مکانیسم‌های بارمعلق- جهشی و بار بستر در هر سه موقعیت مکانی پس از آزمایش در سطح دو خاک زراعی و ماسه‌ای ۱۳۶

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

فرسایش خاک مهم‌ترین جنبه تخریب اراضی و از مهم‌ترین معضلات زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است. این پدیده اثرات مخربی بر تمام اکوسیستم‌های طبیعی تحت مدیریت انسان دارد (یوسفی فرد و همکاران، ۱۳۸۶). امروزه فرسایش خاک به عنوان خطری برای رفاه انسان و حتی حیات او به شمار می‌آید. خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور است که در نتیجه فرسایش، به تدریج فرسایش یافته و حاصلخیزی خود را از دست می‌دهد (رفاهی، ۱۳۸۵).

با توجه به اهمیت خاک در تولید محصولات کشاورزی، حفظ آن ضروری است (واعظی و همکاران، ۱۳۸۸). فرسایش خاک، امنیت غذای بشر را تحت تأثیر قرار داده است. هر چند این پدیده به‌طور طبیعی نیز رخ می‌دهد، اما طی قرن‌های اخیر در اثر فعالیت‌های غیراصولی بشر به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است (Zegeye، ۲۰۰۹). از طرفی، افزایش نیاز به غذا به دلیل رشد تصاعدی جمعیت و تغییر نادرست کاربری اراضی، تشدید فرسایش آبی را به دنبال داشته است. از این رو فرسایش، به تهدیدی جدی برای منابع خاک و آب تبدیل شده است (Dlamini و همکاران، ۲۰۱۱). از آن‌جا که فرسایش و رسوب یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های طبیعی محسوب شده و عوامل زیادی در آن دخیل می‌باشد، شناخت کامل این پدیده بسیار دشوار است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶). در این راستا، شناخت و ارزیابی عوامل عمده مؤثر در فرسایش آبی نخستین گام در ارائه راه‌کاری مناسب برای مهار و کاهش آن محسوب می‌شود (واعظی و همکاران، ۱۳۸۶).

از دیگر منظر، فرسایش خاک یک معزل زیست‌محیطی جدی است که پیشرفت آینده بشر و البته کشاورزی را تهدید می‌کند. افزایش توجه به این مهم، منجر به درک عمیق‌تر مکانیسم‌های فرسایش، توجه به پیش‌بینی تلفات خاک و بهبود اقدامات حفاظتی شده است (Lei و همکاران، ۲۰۰۸). به دلیل مشکلات و محدودیت‌های موجود در روش‌های مستقیم اندازه‌گیری فرسایش خاک و همین طور پیشرفت شایان توجهی که در درک مفاهیم و ساز و کار فرسایش حاصل شده، ابداع الگوهای مختلف در زمینه فرسایش و رسوب از سال‌ها پیش مورد توجه قرار گرفته است. در حال حاضر، شناخت نسبتاً جامعی از بسیاری عوامل مؤثر در فرسایش وجود دارد و روابط بین آن‌ها به صورت معادلات ریاضی تعریف شده است (علیزاده، ۱۳۶۸).

در یک تقسیم‌بندی بر اساس عامل فرساینده (باران یا رواناب)، فرسایش آبی به چهار گروه اصلی شامل فرسایش ورقه‌ای، شیاری، خندقی و کناره‌ای تقسیم می‌گردد (Merritt و همکاران،

۲۰۰۳). یکی از انواع فرسایش آبی، فرسایش ورقه‌ای یا صفحه‌ای است. طبق تعریف، فرسایش ورقه‌ای در اثر جریان رواناب سطحی کم‌عمق رخ می‌دهد. فرسایش ورقه‌ای که نوعی از فرسایش سطحی است، باعث خسارات متعددی نظیر کاهش تدریجی حاصلخیزی خاک، کاهش توانایی ذخیره آب، از بین رفتن بذر یا نهال گیاهان، کاهش کیفیت آب، افزایش سیل‌خیزی و رسوبگذاری برون منطقه‌ای می‌گردد (دستورانی و همکاران، ۱۳۸۶). مشخصه این نوع فرسایش، خروج ذرات ریز خاک و باقی ماندن ذرات درشت سطح خاک می‌باشد (Descroix و همکاران، ۲۰۰۸). رواناب حاوی رسوب به صورت یک صفحه نازک به سمت پایین دست منتقل شده و خاک توسط ورقه‌های پی‌درپی فرسایش می‌یابد (Descroix و همکاران، ۲۰۰۸، به نقل از Foumier، ۱۹۶۰). این فرسایش به کندی عمل می‌کند و سرانجام قسمت اعظم خاک سطحی حاصلخیز را از بین می‌برد و در نتیجه خاک تحت الارض فقیر می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۵). در مجموع، این نوع فرسایش در اراضی کشاورزی کاهش کیفیت خاک را به دنبال دارد.

در فرسایش ورقه‌ای، جریان سطحی رواناب اغلب تنها چند میلی‌متر عمق دارد. در حضور باران رسوبات می‌توانند توسط جریان سطحی، پاشمان باران و ترکیبی از برخورد باران و جریان سطحی منتقل شوند (Beuselinck و همکاران، ۲۰۰۲). تلفات خاک ناشی از رواناب سطحی می‌تواند بخش قابل توجهی از مواد آلی را خارج نماید زیرا بخش زیادی از مواد آلی، در سطح خاک یا نزدیک به آن قرار گرفته‌اند (Schiettecatte و همکاران، ۲۰۰۷). طی فرآیند فرسایش، مواد آلی و مغذی مورد نیاز گیاه از خاک تخلیه شده و عمق خاک به‌تدریج کاهش می‌یابد (Pimentel، ۲۰۰۶). با تشکیل رواناب و شسته شدن خاک سطحی، بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه که در لایه سطحی خاک وجود دارند نیز همراه رواناب و رسوب از دسترس خارج می‌شوند (رشیدفر و همکاران، ۱۳۸۳).

از منظر دیگر، فرسایش خاک پدیده‌ای پویا است که دارای تغییرات زمانی و مکانی زیادی است (اسدی و روحی‌پور، ۱۳۸۶). در مطالعات گذشته مشخص شده که در فرسایش ناشی از رواناب سطحی و در شرایط پایدار، تغییرات دینامیکی در خصوصیات رسوب به ویژه توزیع اندازه ذرات رسوب رخ می‌دهد (Asadi و همکاران، ۲۰۰۷b). این در حالی است که توزیع اندازه ذرات رسوب، فرآیندهای انتقال و ته‌نشینی ذرات رسوب را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Shi و همکاران، ۲۰۱۲). از طرفی، شناخت بهتر دینامیک توزیع اندازه ذرات رسوب، درک ما را از فرآیندهای فرسایش و رسوبگذاری بهبود می‌بخشد و در نتیجه باعث توسعه مطلوب‌تر مدل‌های فرسایش می‌شود (Asadi و همکاران، ۲۰۱۱). این همچنین می‌تواند پایه‌ای برای درک بهتر انتقال