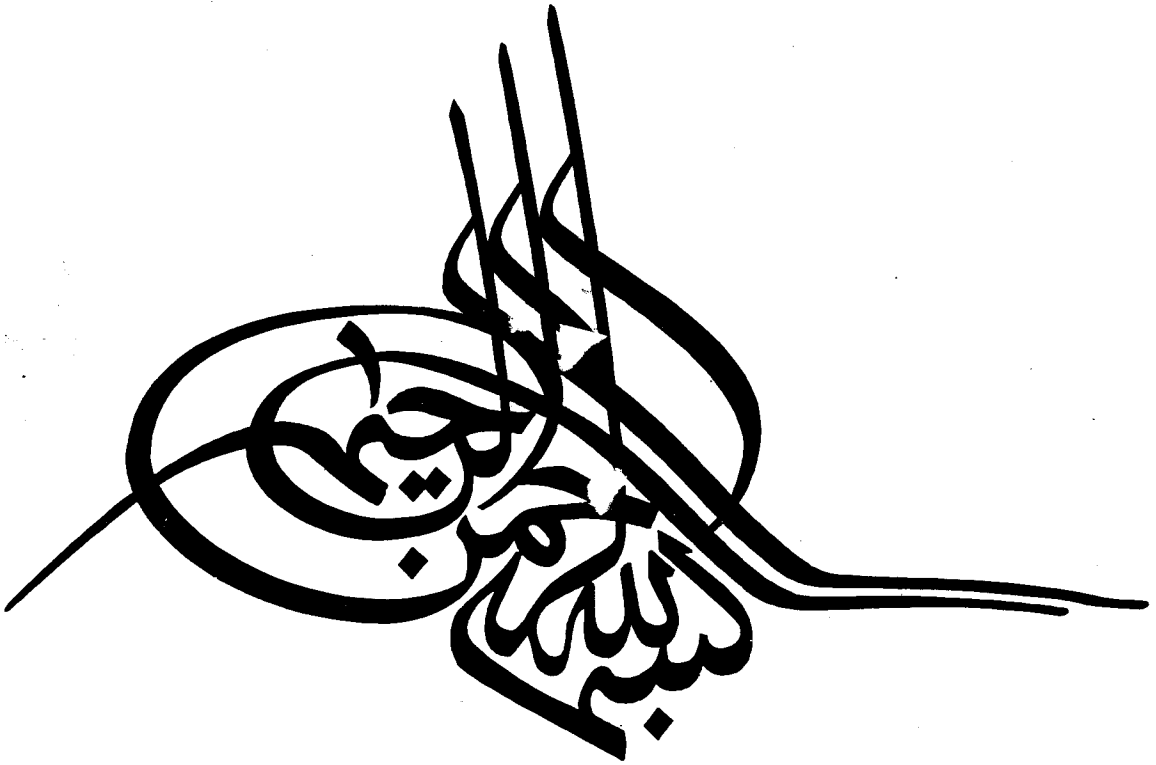
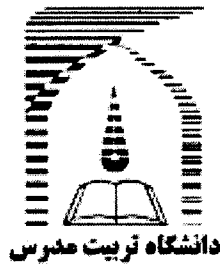


۱۰۱۹



۹۲۲۷۹



دانشکده کشاورزی

رساله دوره دکتری تخصصی خاکشناسی

مدل سازی تغییرات مکانی و زمانی فرسایش پذیری در خاک های آهکی
با استفاده از زمین آمار

نگارش

علیرضا واعظی

اساتید راهنما

دکتر حسینعلی بهرامی و دکتر سید حمیدرضا صادقی

استاد مشاور

دکتر محمدحسین مهدیان

۱۳۸۶ / ۹ / ۲۳




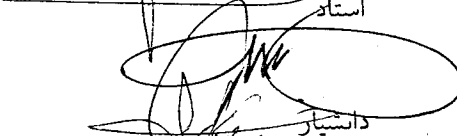



تابستان ۱۳۸۶

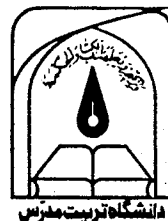
۹۳۴۷۹

کتابخانه مرکزی
دانشگاه تربیت مدرس
تاسیس ۱۳۶۲

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

اعضای هیات داوران نسخه نهایی رساله آقای علیرضا واعظی
تحت عنوان: مدل سازی تغییرات مکانی و زمانی فرسایش پذیری در خاک های آهکی با استفاده از زمین آمار را از
نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه دکتری پیشنهاد می کند.

امضا	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیات داوران
	استادیار	دکتر حسینعلی بهرامی	۱- استاد راهنمای اول
	دانشیار	دکتر سید حمید رضا صادقی	۲- استاد راهنمای دوم
	استادیار	دکتر محمد حسین مهدیان	۳- استاد مشاور
	استاد	دکتر محمد جعفر ملکوتی	۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	دکتر عبدالرسول تلوری	۵- اساتید ناظر:
	استادیار	دکتر جمال قدوسی	
	استاد	دکتر محمد جعفر ملکوتی	
	دانشیار	دکتر سید خلاق میرنیا	



بسمه تعالی

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی- پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

“ کتاب حاضر، حاصل رساله دکتری نگارنده در رشته خاکشناسی است که در سال ۱۳۸۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر حسینعلی بهرامی و سید حمید رضا صادقی و مشاوره جناب آقای دکتر محمد حسین مهدیان از آن دفاع شده است ”

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأديه کند.

ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب علیرضا واعظی دانشجوی رشته خاکشناسی (کشاورزی) مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: علیرضا واعظی

تاریخ و امضاء:

۱۳۸۷، ۷، ۲۳



تقدیم

به

روان پاک برادر بزرگوار،

هنرمند پاکباز،

نقاش طبیعت،

محمد واعظی

که با رنگ‌ها، جویباران آفرید

و

در راه خیرخواهی و نیک اندیشی،

بر نقش جویباران پیوست.

تشکر و قدردانی

سپاس به درگاه پروردگار توانا که توان انجام این رساله را بر من روا داشت. انجام این رساله طی دو سال کار مداوم و سخت صحرایی و آزمایشگاهی در راستای ایجاد راهکاری مناسب برای حفظ خاک به عنوان منبع مهم حیات به ویژه در مورد خاک‌های ایران انجام گرفت. بدیهی است نگارش این رساله بدون نگرش عالمانه اساتید محترم راهنما (آقای دکتر حسینعلی بهرامی و آقای دکتر سید حمیدرضا صادقی) و استاد محترم مشاور (آقای دکتر محمد حسین مهدیان) فراهم نمی‌شد. بنابراین بر خود وظیفه می‌دانم مراتب سپاس خود را از رهنمودهای بی‌دریغ اساتید محترم راهنما و مشاور طی انجام این رساله تقدیم دارم. امید آن که چراغ علم، ادب، تلاش و پشتکار این اساتید بزرگوار همواره روشنی‌بخش راه آینده من باشد. همچنین از آقای دکتر سید جعفر ملکوتی مدیر محترم گروه خاکشناسی و سایر اساتید بزرگوار گروه آقایان دکتر همایی، دکتر میرنیا، دکتر کریمیان اقبال و دکتر راهنمایی به خاطر مساعدت‌های علمی در اجرای این رساله تشکر می‌کنم.

جا دارد از آزمایشگاه گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس، آزمایشگاه گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان و آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زنجان که امکانات اجرای آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی خاک را فراهم نمودند و نیز از مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور و موسسه تحقیقات خاک و آب به خاطر در اختیار قرار دادن نقشه‌های جغرافیایی و خاکشناسی منطقه تشکر کنم. از کشاورزان محترم منطقه به خاطر در اختیار گذاشتن زمین‌های زراعی، از آقای مجید واعظی به خاطر در اختیار قرار دادن وسیله نقلیه به منظور انجام آزمایش‌های صحرایی، از آقای مهندس رضا آخوند به خاطر راهنمایی‌های بی‌دریغ در تجزیه و تحلیل آماری و نیز از کلیه دوستان همکلاسی و همخوابگاهی به خاطر کمک‌های مختلف در انجام این رساله قدردانی می‌کنم.

همچنین از همسر مهربانم به خاطر تحمل سختی‌های زیاد، از مادر فداکار و از برادران و خواهران بزرگوارم به خاطر الطاف بی‌دریغشان طی تحصیل در این دوره سپاسگزاری می‌کنم.

علیرضا واعظی

تابستان ۱۳۸۶

چکیده

فرسایش پذیری خاک یکی از عوامل عمده موثر در فرسایش آبی بوده و در بسیاری از روش‌های برآورد فرسایش، به وسیله نمودار USLE برآورد می‌شود. از آنجا که این نمودار در خاک‌های غیرآهکی ارائه شده است و فرسایش پذیری خاک نیز دارای تغییرات مکانی و زمانی می‌باشد، بررسی کارایی نمودار در برآورد فرسایش پذیری خاک‌های آهکی و مطالعه تغییرات مکانی و زمانی آن ضروری است. این پژوهش در شهرستان هشتگرد در جنوب استان آذربایجان شرقی طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ انجام گرفت. خاک منطقه عمدتاً لومرسی و دارای حدود یک درصد ماده آلی و ۱۳ درصد آهک است. برای انجام پژوهش، محدوده‌ای از خاک‌های آهکی، به شکل مربع به ابعاد ۳۰ کیلومتر انتخاب و به ۳۶ شبکه مربعی به ابعاد ۵ کیلومتر جدا گردید. در هر شبکه ۳ تکرار کرت استاندارد با فاصله ۱/۲ متر ایجاد شد. مقدار برآوردی فرسایش پذیری از نمودار و مقدار اندازه‌گیری شده آن از نسبت مقدار رسوب بر عامل فرسایش‌دگی باران طی ۴۱ رگبار منجر به رواناب به دست آمد. به منظور شناسایی عوامل موثر بر فرسایش پذیری، مقدار اجزای بافت، سنگریزه، پایداری خاکدانه، نفوذپذیری، ماده آلی، آهک و پتاسیم در خاک کرت‌ها تعیین شد. با استفاده از روش تجزیه مولفه‌های اصلی، ویژگی‌های اصلی خاک تعیین شدند. تغییرات مکانی و زمانی فرسایش پذیری خاک با نرم‌افزار GS+ بررسی شد. بر اساس نتایج، میانگین مقدار فرسایش-پذیری اندازه‌گیری شده در منطقه برابر ۰/۰۰۴۴۴۶ تن ساعت در مگاژول میلی‌متر بود که ۸/۷۸ برابر کمتر از مقدار برآوردی بود. این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار ($p < ۰/۰۰۱$) بود. بر اساس نتایج، شن درشت، آهک، پایداری خاکدانه و نفوذپذیری به عنوان ویژگی‌های اصلی خاک منطقه بودند. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون چند متغیره خطی، اثر کاهندگی این ویژگی‌ها بر فرسایش پذیری اندازه‌گیری شده معنی‌دار ($p < ۰/۰۰۱$; $R^2 = ۰/۹۲$) بود. اثر پایداری خاکدانه و نفوذپذیری در سطح احتمال ۰/۰۰۱ و اثر شن درشت و آهک در سطح احتمال ۰/۰۵ بر فرسایش پذیری معنی‌دار شد. بر همین اساس برای برآورد آسان فرسایش پذیری خاک‌های آهکی منطقه، نموداری جدید بر اساس مقادیر کمی شن درشت، آهک، پایداری خاکدانه و نفوذپذیری با اطمینان ۹۲ درصد ارائه شد. نتایج همچنین نشان داد که میانگین هدرفت خاک در منطقه همبستگی معنی‌دار ($p < ۰/۰۰۱$; $R^2 = ۰/۸۴$) با شاخص فرسایش‌دگی باران (EI_3) دارد، اما همبستگی بین میانگین فرسایش پذیری خاک منطقه و شاخص فرسایش‌دگی باران معنی‌دار نیست. تمامی ویژگی‌های خاک به جز ماده آلی دارای ساختار مکانی بودند، با این وجود نوع تغییرات مکانی آن‌ها از هم متفاوت بود. تغییرات مکانی فرسایش پذیری اندازه‌گیری شده و برآوردی با مدل کروی شبیه‌سازی شد. شعاع تاثیر تغییرات مکانی فرسایش پذیری اندازه‌گیری شده (۲/۴۵ کیلومتر) بسیار کمتر از مقدار برآوردی (۱۱/۵۱ کیلومتر) بود. این تفاوت به دلیل تغییرات مکانی ویژگی‌های موثر بر آن بود. فرسایش پذیری خاک در رگبارهای مختلف دارای مقادیر متفاوتی بود. نوع مدل و شعاع تاثیر تغییرات مکانی فرسایش پذیری خاک در فصل بهار (به ترتیب کروی و ۲/۴۱ کیلومتر) بسیار شبیه به الگوی تغییرات مکانی فرسایش پذیری سالانه خاک بود. **واژگان کلیدی:** تغییرات مکانی و زمانی، خاک آهکی، رابطه جهانی فرسایش خاک، زمین آمار، فرسایش پذیری خاک

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول- مقدمه و کلیات تحقیق
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ کلیات تحقیق
۳	۱-۲-۱ بررسی فرسایش آبی
۴	۲-۲-۱ فرسایش پذیری خاک
۵	۱-۲-۲-۱ تعیین فرسایش پذیری خاک
۹	۲-۲-۲-۱ ویژگی های موثر بر فرسایش پذیری خاک
۱۱	۳-۲-۲-۱ اهمیت بررسی فرسایش پذیری خاک
۱۲	۳-۲-۱ زمین آمار
۱۲	۱-۳-۲-۱ تغییرنا
۱۶	۲-۳-۲-۱ میان یابی مکانی
۱۷	۳-۳-۲-۱ کاربرد زمین آمار در مطالعات خاکشناسی
۱۹	۴-۲-۱ ضرورت پژوهش
۲۰	۵-۲-۱ فرضیه های تحقیق
۲۰	۶-۲-۱ اهداف تحقیق
۲۱	فصل دوم- بررسی سوابق تحقیق
۲۲	۱-۲ اهمیت بررسی پژوهش ها
۲۲	۲-۲ پژوهش های انجام گرفته در خارج از ایران
۳۹	۳-۲ پژوهش های انجام گرفته در ایران
۴۱	۴-۲ جمع بندی بررسی سوابق تحقیق
۴۳	فصل سوم- مواد و روش ها
۴۴	۱-۳ منطقه مورد مطالعه
۴۸	۲-۳ روش طراحی آزمایش
۵۵	۳-۳ ایجاد کرت های فرسایشی
۵۸	۴-۳ اندازه گیری رواناب و رسوب

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۹	۳-۵ اندازه گیری نزولات جوی
۵۹	۳-۶ تعیین عامل فرساینده گی باران
۶۱	۳-۷ اندازه گیری ویژگی های خاک
۶۲	۳-۷-۱ اندازه گیری ویژگی های فیزیکی خاک
۶۸	۳-۷-۲ اندازه گیری ویژگی های شیمیایی خاک
۶۹	۳-۸ تعیین عامل فرسایش پذیری خاک
۶۹	۳-۹ روش تجزیه و تحلیل داده های مکانی و زمانی
۷۳	فصل چهارم - نتایج
۷۴	۴-۱ بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک
۷۸	۴-۲ بررسی ویژگی های باران های مولد رواناب
۸۲	۴-۳ بررسی ویژگی های فرسایشی خاک
۸۸	۴-۴ بررسی رابطه بین فرسایش پذیری برآوردی و اندازه گیری شده
۹۲	۴-۵ بررسی تفاوت فرسایش پذیری برآوردی و اندازه گیری شده در کرت های مختلف
۹۳	۴-۶ بررسی تاثیر ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک بر فرسایش پذیری آن
۹۷	۴-۷ مدل سازی فرسایش پذیری خاک
۱۰۳	۴-۸ بررسی تغییر پذیری مکانی ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک
۱۰۷	۴-۹ بررسی تغییر پذیری مکانی فرسایش پذیری خاک
۱۱۱	۴-۱۰ بررسی تغییر پذیری زمانی فرسایش پذیری خاک
۱۲۲	۴-۱۱ میان یابی مکانی و تهیه نقشه فرسایش پذیری خاک
۱۲۷	فصل پنجم - بحث و پیشنهادها
۱۲۸	۵-۱ اثر ویژگی های فیزیکوشیمیایی بر فرسایش پذیری خاک
۱۳۲	۵-۲ تغییرات مکانی ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک
۱۳۴	۵-۳ تغییرات مکانی و زمانی فرسایش پذیری خاک
۱۳۸	۵-۴ پیشنهادها
۱۳۹	منابع

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۵۴	جدول ۱-۳ موقعیت مکانی کرت‌های واحد در منطقه مورد بررسی در شهرستان هشتگرد
۷۷	جدول ۱-۴ شاخص‌های مختلف آماری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک منطقه مورد بررسی در شهرستان هشتگرد
۷۹	جدول ۲-۴ ویژگی باران‌های مولد رواناب در منطقه مورد بررسی طی سال ۱۳۸۴
۸۰	جدول ۳-۴ ویژگی باران‌های مولد رواناب در منطقه مورد بررسی طی سال ۱۳۸۵
۸۲	جدول ۴-۴ ویژگی‌های باران‌های منجر به رواناب در منطقه مورد بررسی طی دوره تحقیق
۸۶	جدول ۵-۴ نتایج شاخص‌های مختلف آماری ویژگی‌های فرسایشی خاک در منطقه مورد بررسی طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵
۸۹	جدول ۶-۴ نتایج مقایسه فرسایش‌پذیری اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۸۴ و برآوردی با آزمون t نمونه‌های جفتی
۸۹	جدول ۷-۴ نتایج تحلیل رگرسیونی رابطه فرسایش‌پذیری در سال ۱۳۸۴ و برآوردی
۹۰	جدول ۸-۴ نتایج مقایسه فرسایش‌پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۸۵ با آزمون t نمونه‌های جفتی
۹۰	جدول ۹-۴ نتایج تحلیل رگرسیونی رابطه فرسایش‌پذیری اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۸۵ و برآوردی
۹۱	جدول ۱۰-۴ نتایج مقایسه فرسایش‌پذیری اندازه‌گیری شده طی دوره تحقیق و برآوردی با آزمون t نمونه‌های جفتی
۹۱	جدول ۱۱-۴ نتایج تحلیل رگرسیونی رابطه فرسایش‌پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده طی دوره تحقیق
۹۳	جدول ۱۲-۴ نتایج تجزیه واریانس تفاوت فرسایش‌پذیری برآوردی در کرت‌های مختلف
۹۳	جدول ۱۳-۴ نتایج تجزیه واریانس تفاوت فرسایش‌پذیری اندازه‌گیری شده طی دوره تحقیق در کرت‌های مختلف
۹۴	جدول ۱۴-۴ نتایج ماتریس همبستگی ویژگی‌های خاک با فرسایش‌پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده در منطقه مورد بررسی
۹۸	جدول ۱۵-۴ نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۹۹	جدول ۴-۱۶ سطح معنی‌داری و ضریب تبیین رابطه بین فرسایش‌پذیری خاک طی دوره تحقیق و ویژگی‌های اصلی در مدل‌های مختلف
۹۹	جدول ۴-۱۷ تحلیل رگرسیونی رابطه فرسایش‌پذیری اندازه‌گیری شده طی دوره تحقیق و ویژگی‌های اصلی خاک
۱۰۰	جدول ۴-۱۸ تحلیل رگرسیونی نهایی رابطه فرسایش‌پذیری اندازه‌گیری شده طی دوره تحقیق و ویژگی‌های اصلی موثر بر آن
۱۰۱	جدول ۴-۱۹ تحلیل رگرسیونی رابطه بین فرسایش‌پذیری و پایداری خاکدانه و نفوذپذیری خاک
۱۰۴	جدول ۴-۲۰ مشخصات تغییرنمای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی موثر بر فرسایش‌پذیری خاک در منطقه مورد بررسی
۱۰۸	جدول ۴-۲۱ مشخصات تغییرنمای فرسایش‌پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده در منطقه مورد بررسی
۱۱۸	جدول ۴-۲۲ سطح معنی‌داری و ضریب تبیین رابطه بین فرسایش‌پذیری خاک و فرسایش‌پذیری باران در مدل‌های مختلف در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵
۱۱۹	جدول ۴-۲۳ مشخصات تغییرنمای فرسایش‌پذیری اندازه‌گیری شده طی فصول مختلف در منطقه مورد بررسی

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۸	شکل ۱-۱ نمودار فرسایش‌پذیری خاک در سیستم بین‌المللی (Rosewell, ۱۹۹۳)
۱۳	شکل ۲-۱ منحنی تغییرنا در مختصات $\gamma-h$
۱۵	شکل ۳-۱ معادله و شکل مدل‌های تغییرنا
۴۵	شکل ۱-۳ موقعیت جغرافیایی شهرستان هشترو در ایران و استان آذربایجان شرقی
۴۵	شکل ۲-۳ میانگین بارندگی و تبخیر ماهانه در شهرستان هشترو (۱۳۷۳ تا ۱۳۸۴)
۴۷	شکل ۳-۳ نمایشی از دیمزارهای گندم با خاک آهکی (الف) و نحوه مدیریت آنها (ب) در منطقه مورد بررسی در شهرستان هشترو
۴۸	شکل ۴-۳ نمایشی از فرسایش سطحی (الف)، شیاری (ب)، آب‌کندی (ج) و کنار رودخانه‌ای (د) در منطقه مورد بررسی در شهرستان هشترو
۴۹	شکل ۵-۳ نقشه منابع و قابلیت اراضی منطقه مورد بررسی در شهرستان هشترو (بی‌نام، ۱۳۵۲)
۵۰	شکل ۶-۳ نقشه توپوگرافی منطقه مورد بررسی و شبکه‌های مطالعاتی در آن (بی‌نام، ۱۳۵۴)
۵۲	شکل ۷-۳ نقشه جهت شیب (الف) و خاک‌های دارای شیب بین ۸ تا ۱۰ درصد (ب) در منطقه مورد بررسی در شهرستان هشترو
۵۳	شکل ۸-۳ نقشه خاک‌های دارای شیب بین ۸ تا ۱۰ درصد و رو به جنوب در منطقه مورد بررسی
۵۶	شکل ۹-۳ طراحی طول، عرض و فاصله کرت‌ها (الف) و نمایشی کلی از کرت‌های واحد ایجاد شده در کنار یکدیگر (ب) در شبکه ۳۱ در منطقه مورد بررسی
۵۷	شکل ۱۰-۳ چگونگی نصب لوله انتقال محفظه و جمع‌آوری رواناب و رسوب (الف) و جاگذاری آن‌ها در انتهای کرت‌های واحد (ب) در منطقه مورد بررسی
۵۹	شکل ۱۱-۳ اندازه‌گیری مقدار رسوب پس از خشک شدن در آزمایشگاه
۶۰	شکل ۱۲-۳ محل ایستگاه‌های بارندگی روی نقشه تقسیمات روستایی منطقه مورد بررسی
۶۱	شکل ۱۳-۳ نمونه‌برداری از خاک برای تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی
۶۳	شکل ۱۴-۳ نمونه‌ای از خاکدانه‌های دانه‌ای با قطر بین ۲ تا ۱۰ میلی‌متر
۶۵	شکل ۱۵-۳ خاکدانه‌های با قطر بین ۶ تا ۸ میلی‌متر روی سری الک‌ها (الف) و اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها با روش الک‌تر به وسیله دستگاه مکانیکی (ب)
۶۸	شکل ۱۶-۳ استوانه‌های مضاعف مورد استفاده در آزمایش (الف) و اندازه‌گیری نفوذپذیری خاک به وسیله استوانه‌ی مضاعف (ب)

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۷۵	شکل ۱-۴ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در کرت‌های واقع در ۳۶ شبکه مورد بررسی در شهرستان هشتروند
۸۱	شکل ۲-۴ پراکنش باران‌های با مدت بیشتر از ۳۰ دقیقه در منطقه مورد بررسی طی سال ۱۳۸۴ (الف) و ۱۳۸۵ (ب)
۸۳	شکل ۳-۴ مقدار ویژگی‌های فرسایشی در کرت‌های واقع در ۳۶ شبکه مورد بررسی در شهرستان هشتروند
۸۷	شکل ۴-۴ مقدار فرسایش‌پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در کرت‌های مختلف در منطقه مورد بررسی
۸۸	شکل ۵-۴ درصد خطای برآورد فرسایش‌پذیری در کرت‌های مختلف در منطقه مورد بررسی طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵
۹۲	شکل ۶-۴ همبستگی بین فرسایش‌پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده طی دوره تحقیق
۱۰۲	شکل ۷-۴ نمودار فرسایش‌پذیری خاک‌های مورد بررسی
۱۰۵	شکل ۸-۴ تغییر نمای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی در منطقه مورد بررسی در شهرستان هشتروند
۱۰۹	شکل ۹-۴ تغییر نما و مدل مکانی فرسایش‌پذیری برآوردی (الف) و اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۸۴ (ب)، ۱۳۸۵ (ج) و طی دوره تحقیق (د) در منطقه مورد بررسی
۱۱۰	شکل ۱۰-۴ سطح تغییرنمای فرسایش‌پذیری برآوردی (الف) و اندازه‌گیری شده طی دوره تحقیق (ب)
۱۱۲	شکل ۱۱-۴ میانگین تغییرات فرسایش خاک کرت‌های منطقه مورد بررسی در رگبارهای مختلف طی سال ۱۳۸۴ (الف) و ۱۳۸۵ (ب)
۱۱۲	شکل ۱۲-۴ رابطه فرسایش خاک و عامل فرسایش‌دهی باران در منطقه مورد بررسی طی سال ۱۳۸۴ (الف) و ۱۳۸۵ (ب)
۱۱۴	شکل ۱۳-۴ تغییرات فرسایش‌پذیری خاک کرت‌های مختلف در رخدادهای مختلف باران طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵
۱۱۵	شکل ۱۴-۴ میانگین تغییرات فرسایش‌پذیری خاک کرت‌های منطقه مورد بررسی در رگبارهای مختلف طی سال ۱۳۸۴ (الف) و ۱۳۸۵ (ب)
۱۱۶	شکل ۱۵-۴ مقدار فرسایش‌پذیری خاک در ماه‌های مختلف در سال ۱۳۸۴ (الف)، ۱۳۸۵ (ب) و به طور میانگین طی دوره تحقیق (ج)

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۱۷	شکل ۴-۱۶ رابطه عامل فرسایش‌پذیری خاک و عامل فرسایندگی باران در سال ۱۳۸۴ (الف) و (ب) ۱۳۸۵
۱۲۰	شکل ۴-۱۷ تغییرنمای فرسایش‌پذیری اندازه‌گیری شده طی فصول مختلف در منطقه مورد بررسی در شهرستان هشتروند
۱۲۳	شکل ۴-۱۸ نقشه دو بعدی تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری برآوردی (الف) و اندازه‌گیری شده (ب) در منطقه مورد بررسی
۱۲۴	شکل ۴-۱۹ نقشه سه بعدی تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری برآوردی (الف) و اندازه‌گیری شده (ب) در منطقه مورد بررسی
۱۲۶	شکل ۴-۲۰ ارزیابی تقاطعی فرسایش‌پذیری برآوردی (الف) و اندازه‌گیری شده (ب)

فصل اول

مقدمه و کلیات تحقیق

تولید محصولات کشاورزی در کنار آب، به خاک نیازمند است. امروزه بیش از ۹۷ درصد مواد غذایی جهان از خاک به دست می‌آید (Gerrard، ۲۰۰۰). یکی از مهمترین مشکلات کشاورزی در جهان، فرسایش خاک به وسیله آب است (Kirkby و Morgan، ۱۹۸۰). فرسایش آبی^۱ پدیده‌ای است که طی آن ذرات خاک بر اثر انرژی جنبشی قطرات باران از هم جدا شده و به وسیله جریان سطحی (رواناب) جابه‌جا می‌شوند. در اثر این پدیده هر سال میلیون‌ها تن خاک در سطح خشکی‌ها جابه‌جا می‌شود.

در اثر فرسایش، خاک حاصلخیز سطحی و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به تدریج از دسترس خارج می‌شود و شرایط فیزیکی خاک به ویژه از نظر نفوذپذیری نامناسب می‌گردد (Troeh و همکاران، ۱۹۸۰). گزارش‌ها نشان می‌دهد که حدود ۸۵ درصد از تخریب زمین^۲ به دلیل فرسایش خاک بوده است. این پدیده تولید محصولات کشاورزی طی قرن بیستم را تا ۱۷ درصد کاهش داده است (Angima و همکاران، ۲۰۰۳). در ایران نیز فرسایش آبی به عنوان یک مشکل اساسی در حوزه‌های آبخیز است که مقدار ویژه آن بین ۸ تا ۱۶ تن در هکتار در سال است (مهدیان، ۱۳۸۴). از طرفی گزارش‌ها نشان می‌دهد که کاهش حاصلخیزی خاک در اثر فرسایش آبی دلیل اصلی افت تولیدات کشاورزی در خاک‌های ایران است (رفاهی، ۱۳۷۵).

^۱ Water erosion

^۲ Land degradation

رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیاز به منابع طبیعی موجب گردیده است تا کاهش فرسایش و توسعه کشاورزی پایدار به عنوان امری ضروری طی دهه‌های اخیر مطرح گردد (Lal, 2000). در این راستا، بررسی و پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک و ارزیابی عوامل عمده موثر در آن به عنوان نخستین گام در ارائه راهکاری مناسب برای نگهداری توان تولید خاک و کاهش فرسایش آن است (Troeh و همکاران، 1980).

۲-۱ کلیات تحقیق

با توجه به اهمیت فرسایش خاک، کلیاتی درباره بررسی فرسایش آبی، فرسایش‌پذیری خاک، چگونگی تعیین فرسایش‌پذیری و عوامل موثر بر آن، زمین‌آمار و کاربرد آن در مطالعات خاکشناسی و در ادامه نیز سوالات، فرضیه‌ها و اهداف انجام این پژوهش بیان گردیده است.

۱-۲-۱ بررسی فرسایش آبی

روش‌های مختلفی برای بررسی عوامل موثر بر فرسایش آبی و پیش‌بینی آن ارائه شده است. بدیهی است که استفاده از هر روش بستگی به سازگاری آن با شرایط منطقه، و محدود بودن شاخص‌های و آسان بودن اندازه‌گیری آن‌ها دارد. یکی از روش‌هایی که به طور گسترده برای بررسی عوامل موثر در فرسایش آبی و برآورد آن استفاده می‌شود، رابطه جهانی فرسایش خاک^۱ یا USLE است. این رابطه توسط Wischmeier و Smith (1978) برای برآورد هدررفت خاک در اثر فرسایش سطحی و شیب‌ری از زمین‌های زراعی ارائه شد.

^۱ Universal Soil Loss Equation

معادله جهانی فرسایش خاک از داده‌های اندازه‌گیری شده در ۱۰۰۰۰ کرت با باران طبیعی همراه با ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ کرت با بکارگیری شبیه‌ساز باران طی مدت بیش از ۴۰ سال در بسیاری از ایالت‌های آمریکا به دست آمده است (Foster و همکاران، ۱۹۸۵). سادگی بسیاری از متغیرهای موجود در USLE سبب شده است تا این معادله به عنوان گسترده‌ترین روش برآورد هدررفت خاک مورد پذیرش باشد (Schwab و همکاران، ۱۹۸۱). بر اساس این معادله، فرسایش آبی تحت تاثیر شش عامل (فرساینده‌گی باران^۱، فرسایش-پذیری خاک^۲، درجه شیب^۳، طول شیب^۴، پوشش گیاهی^۵ و کارهای حفاظت خاک^۶) قرار دارد. شکل کلی این معادله به صورت زیر است:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (1-1)$$

که در آن: A مقدار هدررفت خاک (تن در هکتار در سال)، R عامل فرساینده‌گی باران (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال)، K عامل فرسایش‌پذیری خاک (مگاگرم ساعت در مگاژول میلی‌متر)، L عامل طول شیب (بدون واحد)، S عامل درجه شیب (بدون واحد)، C عامل پوشش گیاهی (بدون واحد) و P عامل کارهای حفاظت خاک (بدون واحد) است.

۲-۲-۱ فرسایش‌پذیری خاک

فرسایش آبی تعادل بین نیروی حرکتی آب در عرض سطح خاک و مقاومت خاک را بیان می‌کند (Zheng, ۲۰۰۵). به طور کلی فرسایش‌پذیری خاک، به عنوان حساسیت ذاتی ذرات خاک یا خاکدانه‌ها به

^۱ Rainfall erosivity
^۲ Soil erodibility
^۳ Slope steepness
^۴ Slope length
^۵ Crop cover
^۶ Soil conservation practices

جداشدن یا انتقال به وسیله عوامل فرساینده مانند باران، رواناب، باد یا یخچال است (Laffan و McIntosh، ۲۰۰۵). مقاومت خاک به فرسایش آبی را می‌توان با عامل فرسایش‌پذیری تعریف شده در رابطه جهانی فرسایش خاک بیان کرد (YU و همکاران، ۲۰۰۶). فرسایش‌پذیری خاک سهولت جداشدن ذرات در اثر ضربه قطرات باران و انتقال آن‌ها به وسیله رواناب را بیان می‌کند (Veihe، ۲۰۰۲). بر اساس رابطه جهانی فرسایش خاک، مقدار فرسایش‌پذیری خاک در صحرا را می‌توان به صورت زیر تعیین کرد:

$$K = \frac{A}{R \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P} \quad (2-1)$$

در سیستم بین‌المللی از آنجا که A بر حسب $\text{Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ یا $\text{t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (تن در هکتار در سال)، R بر حسب $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال) و L ، S ، C و P بدون واحد می‌باشند واحد عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) عبارت از $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ یا $\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (تن ساعت در مگاژول میلی‌متر) خواهد بود. با توجه به اهمیت عامل فرسایش‌پذیری در پدیده فرسایش آبی، در زیر چگونگی تعیین و عوامل موثر بر آن بیان شده است.

۱-۲-۲-۱ تعیین فرسایش‌پذیری خاک

آزمایش‌های Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) برای تعیین عامل فرسایش‌پذیری، در کرت واحد^۱، مبنای استاندارد انجام شده است. کرت واحد عبارت از زمینی با شیب ۹ درصد، عرض ۱/۸۳ و طول ۲۲/۱ متر

^۱ Uint plot

است که در جهت شیب شخم خورده و سطح آن بدون پوشش گیاهی و بقایایی گیاهی می‌باشد. مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک در کرت استاندارد برابر است با:

$$K = \frac{A}{R \times 1 \times 1 \times 1 \times 1} = \frac{A}{R \times 1 \times 1 \times 1 \times 1} \quad (3-1)$$

بنابراین بر اساس USLE مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک از راه تعیین مقدار خاک فرسایش یافته از کرت واحد در واحد شاخص فرسایش‌پذیری باران (R) به دست می‌آید (Zhang و همکاران، ۲۰۰۴). فرسایش-پذیری واقعی^۱ خاک نیز بر اساس اندازه‌گیری مقدار هدررفت خاک در مزرعه بر اثر رگبارهای طبیعی^۲ یا در شرایط بکارگیری باران مصنوعی به طور دقیق و منظم به دست می‌آید.

برای به دست آوردن عامل فرسایش‌پذیری خاک در کنار تعیین مقدار فرسایش، لازم است مقدار عامل فرسایش‌پذیری باران نیز تعیین شود. توان ذاتی قطرات باران در جداسازی ذرات خاک و انتقال آنها را فرسایش‌پذیری باران می‌گویند (Troeh، ۱۹۸۰). بررسی‌های Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) نشان داد که حاصلضرب انرژی جنبشی باران (E) و بزرگترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای آن (I_{30}) شاخصی مناسب برای تعیین قدرت فرسایش‌پذیری باران است. این شاخص (EI_{30}) توانایی هر باران در جداسازی ذرات خاک و انتقال آن را نشان می‌دهد. بر اساس نظر این دو پژوهشگر رابطه انرژی جنبشی و شدت بارندگی به صورت زیر است:

$$KE = 210/3 + 87 \text{ Log}_{10}I \quad (4-1)$$

که در آن: KE انرژی جنبشی قطرات باران ($J m^{-2} cm^{-1}$) و I شدت بارندگی ($cm h^{-1}$) است. از حاصلضرب

^۱ True erodibility
^۲ Natural rainstorms