



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## تهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌های ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب سوسن طولابی دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی جغرافیای طبیعی گرایش ژئومورفولوژی دانشکده‌ی علوم انسانی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۱۱۲۷۳۱۱۰ که در تاریخ ۱۳۹۲/۰۶/۱۲ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب با مدل‌های WEPP و EPM در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز سولاچای- اردبیل) دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

- این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به‌عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
- مسئولیت صحت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.
- این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام‌شده توسط اینجانب می‌باشد.
- در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مأخذ ذکر نموده‌ام.
- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هرگونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
- در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
- چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو: سوسن طولابی

امضا

تاریخ: ۱۳۹۲/۰۶/۱۲



دانشکده‌ی علوم انسانی  
گروه آموزشی جغرافیای طبیعی

پایان نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد  
در رشته‌ی جغرافیای طبیعی گرایش ژئومورفولوژی

### عنوان:

**مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب با مدل‌های WEPP و EPM در محیط  
GIS (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز سولاچای – اردبیل)**

استاد راهنما:

دکتر موسی عابدینی

استاد مشاور:

دکتر اباندر اسمعلی عوری

پژوهشگر:

سوسن طولابی

شهریور ۱۳۹۲



وبعد از مدت ها، پس از سیصدون راه های فراوان که با حضور شیرین پدر و مادر عزیز و مهربانم، بار الهی های ما و دغدغه های فراوانشان، و زیبایی حضور برادران و خواهرانم در کنارم، که خشکی های این راه را به امید و روشنی راه تبدیل کرده و امیدوارم بتوانم در آینده ای نزدیک جوایبوی این همه محبت آن ها باشم... اکنون، با احترام فراوان برای این همه تلاش این عزیزان برای موفقیت من، این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و اطمینان تقدیم می کنم به محضر ارز شمنند...

## پدر و مادر عزیز، دلسوز و فداکارم

### برادران عزیز و خواهران نازنینم

به خاطر همه ی تلاش های محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام داده اند و با مهربانی چگونگی زیستن را به من آموخته اند. امیدوارم قادر به درک زیبایی های وجودشان باشم...  
پروردگارا، حسن عاقبت، سلامت و سعادت را برای آنان مقدر فرما و به من کمک کن تا بتوانم ادای دین کنم و به خواسته های آنان جامه ی عمل پوشانم...



# پاسکزاری:

«من لم یسکر المنعم من المخلوقین لم یسکر الله عزوجل»

پاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان تجسید و به طریق علم و دانش، نمونه‌مان شود به، بنشین رحروان علم و دانش مستقرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزمان ساخت؛ و سلام و دور در محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان و مدار وجودشان است و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز.

با تقدیر و دود فراوان خدمت پر و مادر عزیز، دلوز و فداکارم که پیوسته جرحه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آن با بوده ام و همواره چراغ وجودشان رو منگر راه من در سختی‌ها و مشکلات بوده است. هم چنین از برادران عزیز و خواهران نازنینم که همواره در طول مسیر زندگی پشتیبانم بوده اند شکر و قدر دانی می‌کنم...

از اساتید فرزانه، فرهیخته و شایسته، جناب آقای دکتر موسی علی‌دینی به عنوان استاد راهنما و جناب آقای دکتر اباز اسمعیلی به عنوان استاد مشاور پایان نامه که با تلاش‌های مداوم و کوشش‌های مستمر و با صبر و حوصله‌ی فراوان، همواره راهنما و راه‌گشای نگارنده در اتمام و اكمال پایان نامه بوده- اند؛ هم چنین از جناب آقای دکتر برومند صلاحی که زحمت داور پیان نامه را متقبل شدند؛ در کمال افتخار و امتنان تقدیر و شکر و قدر دانی می‌نمایم. باشد که این خردترین، بنحشی از زحمت آنان را پاس گوید...

و با شکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مراد به انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند

در پایان، از خداوند مهربان برای این عزیزان آرزوی سلامتی و سعادت را دارم...

در همه راه صابری در مان ده

یارب دل ما را توبه رحمت جان ده

داننده تویی هر آنچه دانی آن ده

این بنده چه داند که چه می‌باید جست

نام خانوادگی دانشجو: طولابی	نام: سوسن
عنوان پایان‌نامه: مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب با مدل‌های WEPP و EPM در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز سولاچلی-اردبیل)	
استاد راهنما: دکتر موسی عابدینی استاد مشاور: دکتر اباذر اسمعلی عوری	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: جغرافیای طبیعی
گرایش: ژئومورفولوژی	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: علوم انسانی	تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۰۶/۱۲
چکیده:	تعداد صفحات: ۱۰۹
<p>خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور می‌باشد که امروزه فرسایش خاک به عنوان یک خطر جدی برای این منبع با ارزش و حتی برای حیات بشر به شمار می‌آید. بنابراین بررسی فرسایش خاک و کنترل آن امری ضروری می‌باشد. انجام مطالعات ارزیابی کمی و کیفی فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های مختلف یکی از راهکارهایی است که از طریق آن می‌توان این پدیده را تا حدودی کنترل و مقدار فرسایش خاک را به حداقل رساند. هدف از این تحقیق برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌ی آبخیز سولاچلی با استفاده از مدل‌های WEPP (پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی)، EPM (مدل پتانسیل فرسایش) و نرم‌افزار GIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی) می‌باشد. به طور کلی روش کار در مدل WEPP به این صورت بود که فایل مربوط به هر یک از این پارامترهای مدل ساخته و وارد نرم‌افزار GeoWEPP شد و در نهایت مقدار رسوب محاسبه گردید. در مدل EPM نیز ابتدا نقشه‌ی ضرایب تهیه و سپس با توجه به این ضرایب نقشه شدت فرسایش تهیه شد. در نهایت مقدار رسوب تولیدشده محاسبه گردید. مقدار رسوب مشاهده‌ای نیز با استفاده از گرادیان دبی و رسوب به دست آمد. مدل WEPP دارای سه روش دامنه، حوضه آبخیز و مسیر جریان می‌باشد. مقدار رسوب برآوردشده با هر یک از سه روش فوق به ترتیب ۰/۲۱۳، ۰/۱۷۸ و ۰/۷۸۵، با مدل EPM، ۰/۰۳۳ و برای رسوب مشاهده‌ای، ۰/۲۴۱ تن در هکتار در سال محاسبه شد. بنابراین مقدار رسوب برآوردشده با مدل WEPP به مقدار رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر بوده و این مدل از کارایی بالاتری نسبت به مدل EPM در برآورد فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیز سولاچلی برخوردار است.</p>	
کلید واژه‌ها: تولید رسوب، حوضه‌ی آبخیز سولاچلی، فرسایش خاک، ArcGIS، EPM، WEPP.	

## فهرست مطالب

شماره و عنوان مطلب	صفحه
--------------------	------

### فصل اول: مبانی کلی پژوهش

۱-۱- مقدمه و بیان مسئله	۲
۲-۱- سوالات پژوهش	۴
۳-۱- فرضیات پژوهش	۴
۴-۱- اهداف پژوهش	۵
۵-۱- اهمیت و ضرورت پژوهش	۵
۶-۱- پیشینه‌ی پژوهش	۶

### فصل دوم: مبانی نظری، مواد و روش‌ها

۱-۲- مقدمه	۱۷
۲-۲- عوامل مؤثر در فرسایش خاک	۱۷
۱-۲-۲- عناصر اقلیمی	۱۷
۲-۲-۲- خصوصیات خاک	۱۸
۳-۲-۲- ویژگی‌های شیب	۱۸
۴-۲-۲- پوشش گیاهی	۱۹
۵-۲-۲- روش‌های نادرست بهره‌برداری از زمین	۱۹
۳-۲- مراحل مختلف فرسایش خاک	۲۰
۱-۳-۲- مرحله‌ی جدا شدن ذرات خاک	۲۰
۲-۳-۲- مرحله‌ی حمل رسوبات	۲۰
۳-۳-۲- مرحله‌ی جمع شدن رسوبات	۲۰
۴-۲- اشکال مختلف فرسایش آبی	۲۰
۱-۴-۲- فرسایش سطحی یا ورقه‌ای	۲۱
۲-۴-۲- فرسایش شیاری	۲۱
۳-۴-۲- فرسایش کنار رودخانه‌ای	۲۲



۲۴	۵-۲- مدل و مدل سازی
۲۴	۶-۲- مدل های برآورد فرسایش و رسوب
۲۵	۷-۲- مواد و روش پژوهش
۲۶	۸-۲- معرفی مدل های استفاده شده در پژوهش و روش کار آن ها
۲۶	۱-۸-۲- معرفی مدل WEPP
۳۰	۲-۸-۲- شیوهی کار در مدل WEPP
۳۰	۱-۲-۸-۲- عامل توپوگرافی
۳۰	۲-۲-۸-۲- عامل خاک
۳۴	۳-۲-۸-۲- عامل اقلیم
۳۶	۴-۲-۸-۲- عامل مدیریت
۳۷	۵-۲-۸-۲- عامل آبراهه
۳۷	۳-۸-۲- معرفی مدل EPM
۴۱	۴-۸-۲- شیوهی کار در مدل EPM
۴۳	۹-۲- نرم افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

### فصل سوم: ویژگی های طبیعی منطقه

۴۶	۱-۳- مقدمه
۴۶	۲-۳- موقعیت جغرافیایی حوضه ی آبخیز سولاچای
۴۸	۳-۳- بررسی و تحلیل وضعیت توپوگرافی حوضه
۴۸	۱-۳-۳- تفسیر واحدهای توپوگرافی حوضه
۴۹	۱-۱-۳-۳- واحد کوهستان
۵۱	۲-۱-۳-۳- واحد دشت
۵۲	۲-۳-۳- مدل رقومی ارتفاعی حوضه
۵۳	۳-۳-۳- شیب حوضه
۵۴	۴-۳-۳- جهت شیب حوضه
۵۵	۴-۳- بررسی و تحلیل وضعیت زمین شناسی حوضه
۵۶	۱-۴-۳- تشکیلات دوران دوم

- ۵۷..... ۲-۴-۳- تشکیلات دوران سوم
- ۵۸..... ۳-۴-۳- تشکیلات کواترنر
- ۵۸..... ۵-۳- بررسی و تحلیل وضعیت ژئومورفولوژی حوضه
- ۵۸..... ۱-۵-۳- چین ها
- ۵۹..... ۲-۵-۳- گسل ها
- ۵۹..... ۶-۳- بررسی و تحلیل وضعیت فعالیت های تکتونیکی حوضه
- ۵۹..... ۱-۶-۳- شاخص شکل حوضه
- ۶۰..... ۲-۶-۳- شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی
- ۶۱..... ۳-۶-۳- شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق آن
- ۶۲..... ۷-۳- بررسی و تحلیل ویژگی های فیزیوگرافی و مورفومتری حوضه
- ۶۳..... ۱-۷-۳- شکل حوضه
- ۶۳..... ۱-۱-۷-۳- ضریب فشردگی (گراولیوس)
- ۶۳..... ۲-۱-۷-۳- ضریب کشیدگی (شیوم)
- ۶۴..... ۳-۱-۷-۳- ضریب گردی (میلر)
- ۶۴..... ۴-۱-۷-۳- مستطیل معادل
- ۶۵..... ۲-۷-۳- تراکم زهکشی یا تراکم آبراهه ای
- ۶۶..... ۳-۷-۳- طول، نیمرخ طولی و شیب آبراهه اصلی
- ۶۸..... ۴-۷-۳- زمان تمرکز
- ۶۸..... ۱-۴-۷-۳- روش کریپچ
- ۶۸..... ۲-۴-۷-۳- روش چاو
- ۶۹..... ۳-۴-۷-۳- روش کالیفرنیا (CCP)
- ۶۹..... ۸-۳- بررسی و تحلیل وضعیت اقلیمی حوضه
- ۷۰..... ۱-۸-۳- تعیین نوع اقلیم حوضه
- ۷۰..... ۱-۱-۸-۳- روش دمارتن
- ۷۱..... ۲-۱-۸-۳- اقلیم نمای آمبرژه
- ۷۲..... ۳-۱-۸-۳- روش پیشنهادی دکتر کریمی
- ۷۲..... ۲-۸-۳- میانگین بارندگی سالانه حوضه

۷۵.....	۳-۸-۳- میانگین دمای سالانه حوضه
۷۶.....	۳-۸-۴- میانگین تعداد روزهای یخبندان در حوضه
۷۷.....	۳-۹- بررسی و تحلیل وضعیت خاک‌شناسی حوضه

### فصل چهارم: نتایج و یافته‌های پژوهش

۷۹.....	۴-۱- مقدمه
۷۹.....	۴-۲- برآورد فرسایش و رسوب با مدل WEPP
۸۲.....	۴-۳- برآورد فرسایش و رسوب با مدل EPM
۸۸.....	۴-۴- بررسی صحت پیش‌بینی‌های انجام‌شده به وسیله‌ی مدل‌ها

### فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری، آزمون فرضیات و پیشنهادات

۹۶.....	۵-۱- نتیجه‌گیری
۹۹.....	۵-۲- محاسن و معایب مدل‌های استفاده‌شده
۹۹.....	۵-۲-۱- محاسن مدل WEPP
۱۰۱.....	۵-۲-۲- معایب مدل WEPP
۱۰۱.....	۵-۲-۳- محاسن مدل EPM
۱۰۱.....	۵-۲-۴- معایب مدل EPM
۱۰۲.....	۵-۳- آزمون فرضیات و پاسخ به سؤالات پژوهش
۱۰۳.....	۵-۴- پیشنهادات
۱۰۴.....	فهرست منابع و مآخذ

## فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول	صفحه
جدول ۱-۲: مقادیر ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) .....	۳۸
جدول ۲-۲: مقادیر ضریب استفاده از زمین ( $X_a$ ) .....	۳۸
جدول ۳-۲: مقادیر ضریب فرسایش (۱۲) .....	۳۹
جدول ۴-۲: طبقه‌بندی کیفی فرسایش .....	۳۹
جدول ۱-۳: محدوده ضریب خشکی دمارتن (I) .....	۷۰
جدول ۲-۳: شاخص رطوبتی دکتر کریمی .....	۷۲
جدول ۳-۳: ایستگاه‌های باران‌سنجی، میانگین بارش سالانه، طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها .....	۷۳
جدول ۴-۳: ایستگاه‌های تیخیرسنجی، میانگین دمای سالانه، طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها .....	۷۵
جدول ۵-۳: تغییرات ماهانه تعداد روزهای یخبندان حوضه‌ی آبخیز سولاچای در طی دوره آماری .....	۷۷
جدول ۱-۴: آزمایشات انجام‌شده برای فایل خاک .....	۸۰
جدول ۲-۴: عوامل محاسبه‌شده برای فایل خاک .....	۸۰
جدول ۳-۴: عوامل محاسبه‌شده برای فایل اقلیم (دما و بارش) .....	۸۱
جدول ۴-۴: نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب با مدل WEPP .....	۸۲
جدول ۵-۴: متوسط ضرایب مدل EPM .....	۸۶
جدول ۶-۴: پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه رسوب حمل‌شده در مدل EPM .....	۸۶
جدول ۷-۴: نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب با مدل EPM .....	۸۸
جدول ۱-۶: مقایسه‌ی آمار مشاهده‌ای رسوب با مقدار برآوردشده به وسیله مدل‌های WEPP و EPM .....	۹۶

## فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل	صفحه
شکل ۱-۲: نمایی از فرسایش شیاری در حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۲۲
شکل ۲-۲: نمایی از فرسایش کنار رودخانه‌ای در حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۲۳
شکل ۳-۲: نمایی از فرسایش کنار رودخانه‌ای در حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۲۳
شکل ۱-۳: نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۴۷
شکل ۲-۳: بخشی از رودخانه‌ی اصلی (رودخانه خنی‌چای) حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۴۷
شکل ۳-۳: نقشه‌ی واحدهای توپوگرافی حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۴۹
شکل ۴-۳: نیمرخ عرضی از واحد توپوگرافی کوهستان (امتداد C-D)	۵۰
شکل ۵-۳: نیمرخ عرضی از واحد توپوگرافی کوهستان (امتداد G-H)	۵۱
شکل ۶-۳: نیمرخ عرضی واحد توپوگرافی دشت (امتداد A-B)	۵۲
شکل ۷-۳: نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۵۳
شکل ۸-۳: نقشه‌ی شیب حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۵۴
شکل ۹-۳: نقشه‌ی جهت شیب حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۵۵
شکل ۱۰-۳: نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۵۶
شکل ۱۱-۳: نحوه‌ی اندازه‌گیری پارامترهای شاخص شکل حوضه	۶۰
شکل ۱۲-۳: نقشه‌ی ارزیابی شاخص تقارن حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۶۱
شکل ۱۳-۳: نیمرخ دره و نحوه‌ی محاسبه پارامترهای شاخص Vf در حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۶۲
شکل ۱۴-۳: نقشه شبکه زهکشی حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۶۶
شکل ۱۵-۳: نیمرخ طولی رودخانه‌ی خنی‌چای و نمایش خطوط شیب خالص و ناخالص آن	۶۷
شکل ۱۶-۳: اقلیم‌نمای آمبرژه	۷۱
شکل ۱۷-۳: نمودار رابطه‌ی ارتفاع و بارش در حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۷۴
شکل ۱۸-۳: نقشه‌ی هم‌باران حوضه‌ی آبخیز سولاچای (واحد: میلی‌متر)	۷۴
شکل ۱۹-۳: نمودار رابطه‌ی ارتفاع و دما در حوضه‌ی آبخیز سولاچای	۷۵
شکل ۲۰-۳: نقشه‌ی هم‌دما حوضه‌ی آبخیز سولاچای (واحد: درجه سانتی‌گراد)	۷۶
شکل ۱-۴: نقشه‌ی انواع فرسایش موجود در حوضه و ضرایب آن‌ها به روش EPM	۸۳

- شکل ۴-۲: نقشه‌ی انواع کاربری اراضی حوضه و ضرایب آن‌ها به روش EPM ..... ۸۴
- شکل ۴-۳: نقشه‌ی ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش به روش EPM ..... ۸۵
- شکل ۴-۴: نقشه‌ی ضریب شدت فرسایش و طبقه‌بندی کیفی آن به روش EPM ..... ۸۵
- شکل ۴-۵: نقشه‌ی طبقه‌بندی شده فرسایش ویژه سالانه ( $W_{sp}$ ) به روش EPM ..... ۸۷
- شکل ۴-۶: نقشه‌ی طبقه‌بندی شده رسوب ویژه ( $G_{sp}$ ) به روش EPM ..... ۸۷
- شکل ۴-۷: نمودار سنجه رسوب ایستگاه هیدرومتری سولا ..... ۸۸

فصل اول:

## مبانی کلی پژوهش

## ۱-۱. مقدمه و بیان مسئله

آب و خاک پایه و اساس حیات و زیربنای توسعه پایدار می‌باشند. جهت تشکیل یک سانتی‌متر خاک مستعد و مرغوب در شرایط اقلیمی مناسب و مورفودینامیک آرام، حدود یک قرن زمان لازم است و به طور متوسط سرعت تشکیل خاک را ۰/۱ میلی‌متر در سال در نظر می‌گیرند (عابدینی، ۱۳۹۱: ۲). آب و خاک از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور می‌باشند و کلیه عوامل طبیعی و انسانی که منابع آب و خاک را تهدید می‌کنند، تحت عنوان فرسایش خاک<sup>۱</sup> بحث می‌شود.

فرسایش که به آلمانی Abtrag و به فرانسه و انگلیسی Erosion گفته می‌شود، از کلمه‌ی لاتین Eroderere گرفته شده و به فرآیندی اطلاق می‌شود که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک عوامل مختلفی چون آب، باد، نیروی ثقل، یخچال و انسان به مکانی دیگر حمل می‌شوند (اسمعیلی و عبداللهی، ۱۳۹۰: ۶۵؛ ضیائی، ۱۳۸۰: ۱۷۴). در صورتی که عامل جداکننده ذرات از بستر و انتقال آن‌ها آب باشد به آن فرسایش آبی گفته می‌شود، اگر عامل جداکننده ذرات و انتقال آن‌ها باد باشد فرسایش بادی و اگر عامل جداکننده یخچال باشد فرسایش یخچالی نامیده می‌شود. به طور کلی فرسایش یک پدیده اجتناب‌ناپذیر بوده و نمی‌توان آن را کاملاً از بین برد ولی فعالیت‌های انسان می‌تواند آن را تشدید نموده و یا کاهش دهد (رفاهی، ۱۳۸۸: ۱۵).

ژئومورفولوژی زمین با گذشت زمان در حال تغییر است و فرسایش یکی از مهم‌ترین پدیده‌های تأثیرگذار در تغییرات مورفولوژی سطح زمین می‌باشد (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۸). در مناطقی که فرسایش کنترل نمی‌شود، خاک‌ها به تدریج فرسایش یافته و حاصل‌خیزی خود را از دست می‌دهند. فرسایش نه تنها سبب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌گردد و از این راه خسارات زیاد و جبران‌ناپذیری به جا می‌گذارد بلکه با رسوب مواد در آبراهه‌ها، مخازن، سدها، بنادر و کاهش ظرفیت آبیگری آن‌ها نیز زیان‌های فراوانی را سبب می‌گردد. بنابراین نباید مسأله حفاظت و حراست خاک را کوچک و کم‌اهمیت شمرد. امروزه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقدامات هر کشور می‌باشد (رفاهی، ۱۳۸۸: ۱۱).

حفاظت خاک و آب عبارت است از استفاده معقول و مطلوب از اراضی و خاک، به طوری که متضمن حفظ بازدهی و تولید مداوم باشد و فرسایش و تخریب و هدررفت خاک به حداقل ممکن کاهش یابد (بافکار و

<sup>۱</sup> Soil Erosion



مجردی، ۱۳۸۵: ۱۲). بر حسب قرائن موجود انجام عملیات حفاظت آب و خاک از قرن‌های پیش در جوامع بشری، به صورت ابتدایی متداول بوده و گسترش آن در قرن حاضر به ویژه در ۴۰-۵۰ سال اخیر رشد بسیاری یافته و در جهان دانش و فن امری معمول است. به کار گرفتن روش‌های حفاظت خاک باید به صورت مشترک و هماهنگ با همکاری و همیاری مردم به اجرا در آید تا از آب و خاک به نحو مطلوب و بر اساس موازین اصولی بهره‌برداری شود. اجرای طرح‌های حفاظت آب و خاک باید متکی به نتایج پژوهش‌ها و بررسی‌های علمی باشد.

آثار و علائم فرسایش در اکثر نقاط ایران به سهولت به چشم می‌خورد و اکثر زمین‌های حاصل‌خیز کشور در معرض خطر فرسایش قرار دارند و به تدریج حاصل‌خیزی خود را از دست می‌دهند. آمارها نشان می‌دهد که سالانه چندین میلیون تن از خاک‌های سطحی به وسیله رودخانه‌ها حمل می‌گردد. به عنوان مثال، حوضه‌ی آبخیز کرج به مساحت ۷۶۴ کیلومتر مربع سالانه بین ۵۹۰-۶۰۰ تن در کیلومتر مربع خاک حمل می‌نماید و قسمت اعظم این خاک‌ها را در پشت سد کرج ته‌نشین می‌سازد. خاک‌های فرسایش یافته یا به دریاها می‌ریزد و یا در پشت سدها جمع می‌شود و باعث کوتاه شدن عمر مفید آن‌ها می‌گردد (فیروزنخجوانی، ۱۳۵۱: ۲ و ۳). به گفته‌ی مدیر کل دفتر حفاظت خاک و کنترل فرسایش، فرسایش خاک در کشور ایران ۱۵ تن در هکتار و در اروپا یک‌چهارم ایران می‌باشد که حدود ۱۲۵ میلیون هکتار از حوضه‌های آبخیز کشور تحت تأثیر فرسایش آبی و ۳۳ میلیون هکتار تحت تأثیر فرسایش بادی است. میزان کل فرسایش خاک در جهان ۲۶ میلیارد تن تخمین زده می‌شود و سهم ایران از آن در حدود ۲ میلیارد تن می‌باشد (قاسمی، ۱۳۸۹: ۳). به طور کلی، در ایران در سال ۱۳۳۰ حدود ۵۰۰ میلیون تن، در سال ۱۳۴۰ حدود ۷۵۰ میلیون تن، در سال ۱۳۵۰ حدود یک میلیارد تن و در سال ۱۳۷۲ بین ۲ الی ۲/۲ میلیارد تن خاک فرسایش یافته است. این روند، رشدی معادل ۴۴ درصدی را نشان می‌دهد (حسینی، ۱۳۸۴، به نقل از جنایی نمین، ۱۳۹۰: ۲).

اولین گزارش نسبتاً کامل در مورد فرسایش خاک و لزوم حفاظت آب و خاک در ایران در سال ۱۳۳۷ توسط دوان و ریبن<sup>۱</sup> کارشناسان فائو به زبان انگلیسی تهیه و منتشر شد. این کارشناسان پس از مطالعه‌ی خاک‌های مختلف ایران و تهیه گزارش، لزوم ایجاد مؤسسه‌ای به منظور حفاظت خاک را پیشنهاد کردند و در پی آن، در همان سال کمیته‌ی حفاظت خاک در سازمان جنگل‌ها به وجود آمد. در سال ۱۳۳۹ در قسمتی از حوضه‌ی آبخیز سد کرج در منطقه سیراچال توسط متخصصین ایرانی با همکاری کارشناسان فائو مطالعات حفاظت خاک انجام شد. در سال ۱۳۴۶ بخش حفاظت خاک و آب در مؤسسه خاک‌شناسی دایر شد و به تدریج ۵ ایستگاه

<sup>۱</sup> Dewan and Rieben

حفاظت خاک و آب در استان‌های آذربایجان شرقی (تکمه‌داش)، آذربایجان غربی (حیدرلو)، گیلان (کوئین)، کردستان (خرکه) و چهارمحال بختیاری (دوتو) تأسیس گردید که مهم‌ترین مطالعه‌ی آن‌ها برای ذخیره رطوبت در دیم‌زارها بوده است. بعدها در سال ۱۳۵۱ دفتر حفاظت خاک و آبخیزداری به وجود آمد و فعالیت‌های اجرایی حفاظت خاک ادامه یافت به نحوی که تا سال ۱۳۶۴ جمعاً برای بیش از ۱۱ میلیون هکتار از حوضه‌های آبخیز ایران طرح جامعی تهیه شد (رفاهی، ۱۳۸۸: ۲۵).

برای کنترل فرسایش آبی باید ابتدا با شناخت عوامل مؤثر در آن، راه حل مناسبی ارائه نمود. باید در نظر داشت که اساساً نمی‌توان عامل مشخص و معینی را به عنوان عامل اصلی فرسایش آبی در یک منطقه معرفی نمود، بلکه شرایط فرسایش موجود در منطقه را باید معلول تأثیرات متقابل مجموعه عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش دانست. باید اذعان نمود که هر عامل، عامل دیگری را تقویت و یا از فعالیت آن باز می‌دارد (رفاهی، ۱۳۸۸: ۲۷). در حوضه‌ی آبخیز سولاچای، عواملی مانند: توسعه‌ی بی‌رویه اراضی دیم، شخم‌زنی غیراصولی (شخم در جهت شیب)، چرای بیش از حد دام، بهره‌برداری بیش از حد از خاک جهت کشاورزی و ایجاد شبکه‌ی ارتباطی باعث افزایش و تشدید فرسایش خاک شده، لذا انجام مطالعات فرسایش خاک و رسوب در منطقه ضرورت دارد.

## ۱-۲. سؤالات پژوهش

۱. آیا در حوضه‌ی آبخیز سولاچای بین دامنه‌های با شیب تند و میزان فرسایش‌پذیری خاک ارتباطی وجود دارد؟
۲. آیا در برآورد فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیز سولاچای مدل WEPP کارایی بهتری دارد یا مدل EPM؟

## ۱-۳. فرضیات پژوهش

- در راستای سؤالات پژوهش فرضیاتی مطرح می‌شود که به شرح ذیل می‌باشند:
۱. دامنه‌های با شیب تند حوضه‌ی آبخیز سولاچای دارای فرسایش‌پذیری بیشتری نسبت به سطوح کم‌شیب آن می‌باشند.
  ۲. به نظر می‌رسد که در برآورد فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیز سولاچای مدل WEPP کارایی بهتری نسبت به مدل EPM داشته باشد.

## ۱-۴. اهداف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش برآورد و ارزیابی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب سالانه حوضه‌ی آبخیز سولاچای با استفاده از مدل‌های WEPP و EPM و مقایسه‌ی نتایج این دو مدل با رسوب اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه هیدرومتری سولا می‌باشد. در کنار هدف اصلی و عمده‌ی پژوهش، اهداف فرعی آن نیز به صورت زیر مدنظر می‌باشد:

۱. مطالعه و شناسایی عوامل مؤثر در فرسایش خاک حوضه.
۲. طبقه‌بندی حوضه از نظر پتانسیل تولید رسوب و تهیه نقشه‌ی آن به روش EPM.
۳. تهیه نقشه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاعی، هم‌باران، هم‌دما و دیگر نقشه‌های مورد نیاز حوضه.
۴. مطالعه و بررسی پارامترهای مدل WEPP و مدل EPM.

## ۱-۵. اهمیت و ضرورت پژوهش

از میان هدایای بی‌شمار طبیعت به انسان، خاک حاصل‌خیز و آب اساسی‌ترین نقش را در زندگی انسان ایفا می‌کنند. در واقع حیات بشر به این منابع با ارزش وابسته است. انسان تقریباً تمام مواد غذایی مورد نیاز خود را از خاک تأمین می‌کند. تمدن‌های بزرگ همواره بر روی خاک‌های خوب پیشرفت کرده‌اند. چنین تمدن‌هایی تا زمانی عظمت خود را حفظ کرده‌اند که استفاده و بهره‌برداری مناسبی از خاک‌های خود به عمل آورده‌اند. امروزه ۶۶٪ از جمعیت کره‌ی زمین کشاورز هستند و معاش خود را مستقیماً از خاک به دست می‌آورند. خاک پایه و اساس فیزیکی هرگونه فعالیت کشاورزی است و زراعت نوعی تجارت است و خاک خوب بخشی از کالای تجاری کشاورزی در کشورهای مختلف می‌باشد. استاندارد زندگی به میزان قابل توجهی وابسته به کشاورزی است و کشاورزی متکی به خاک می‌باشد (دهقانیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۲).

در حوضه‌ی آبخیز سولاچای، مسائلی چون: توسعه بی‌رویه اراضی دیم، شخم‌زنی غیراصولی (شخم در جهت شیب)، چرای بیش از حد دام، بهره‌برداری بیش از حد از خاک جهت کشاورزی و ایجاد شبکه ارتباطی باعث افزایش و تشدید فرسایش خاک شده، لذا بررسی و برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه به منظور حفظ و پایداری خاک‌های منطقه و کاهش اثرات مخرب و زیان‌آور فرسایش بر روی آن‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد، تا با شناسایی نقاط فرسایش‌خیز حوضه، زمینه‌های اجرای برنامه‌های حفاظتی خاک و راه‌های مبارزه با فرسایش خاک به کمک مسئولین سازمان‌ها و ادارات ذیربط و ساکنین منطقه با هدف رشد و شکوفایی اقتصاد در

بخش‌های کشاورزی، باغداری، دامداری و نیز جلوگیری از مهاجرت روستاییان منطقه به شهرهای دور و نزدیک فراهم گردد.

## ۱-۶. پیشینه‌ی پژوهش

انسان برای ادامه‌ی حیات خود به مواد غذایی نیاز دارد که در اثر وجود آب و خاک به دست می‌آید. عملی که آب و خاک را به خطر می‌اندازد فرسایش است که همواره برای از بین بردن آن‌ها عمل می‌کند. به همین جهت است که مبارزه با فرسایش در سطح جهان مورد توجه قرار گرفته است (رفاهی، ۱۳۸۸: ۱۳). یکی از مواردی که از طریق آن می‌توان به مبارزه با فرسایش پرداخت، انجام مطالعات فرسایش خاک و برآورد رسوب در حوضه‌های مختلف و انجام اقدامات پیشگیرانه جهت مبارزه با این پدیده می‌باشد؛ لذا در سال‌های اخیر، مراکز مختلف تحقیقاتی و دانشگاهی داخلی و خارجی مطالعات گسترده‌ای در مورد برآورد فرسایش و رسوب با مدل‌های مختلف به انجام رسانده‌اند که در این پژوهش، مطالعات انجام‌شده با دو مدل WEPP و EPM را بیان خواهیم نمود.

محققان و نویسندگان خارجی مطالعاتی را در ارتباط با برآورد رسوب با مدل‌های WEPP و EPM به انجام رسانده‌اند، از جمله: رینارد و استان<sup>۱</sup> (۱۹۸۲) مدل‌های EPM، RENARD، FLAXMAN، MPSIAC و USLE اصلاح‌شده را مقایسه نموده و نتیجه گرفتند که پسیاک اصلاح‌شده دارای بیشترین هماهنگی با اندازه‌گیری‌های کمی می‌باشد. مورگان<sup>۲</sup> (۱۹۹۶) در بخشی از کتاب خود به نام «فرسایش و حفاظت خاک»، مدل‌های مختلف برآورد فرسایش و رسوب را تشریح نموده‌اند.

امانولودیس و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۳) برای ارزیابی افزایش فرسایش خاک در یک حوضه‌ی بزرگ در مصر به وسعت ۷۰۰۰ کیلومتر مربع، روش EPM را به کار بردند. نتایج نشان داد که، فرسایش سالانه پیش‌بینی‌شده با زهکشی حوضه‌ی آبخیز وابستگی زیادی دارد. گلوبونیک و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۳) قابلیت اجرای روش EPM در محاسبه فرسایش خاک را با استفاده از تکنیک GIS مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که، این تکنیک می‌تواند با موفقیت با روش EPM ترکیب شود.

امور و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۴) به بررسی کاربرد مدل‌های WEPP و USLE در مطالعه‌ی فرسایش خاک سه حوضه‌ی رودخانه سیسیل اقدام نمودند. در این پژوهش از GIS به عنوان ابزاری برای مدیریت داده‌ها در مقایسه‌ی مدل‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که، در منطقه‌ی مورد مطالعه، در درجه‌ی اول مدل WEPP و سپس

1. Renard & Ston 2. Morgan 3. Emmanouloudis et al. 4. Globevnik et al. 5. A more et al.