بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان

دانشکده‌ی کشاورزی

گروه علوم خاک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد رشته‌ی

مهندسی کشاورزی علوم خاک - پیدایش رده‌بندی و ارزیابی خاک

تخمین میزان روان‌آب حوزه‌ی آبخیز تویسرکان با استفاده از مدل SWAT

استاد راهنما

دکتر عیسی اسفندیارپور

استادان مشاور

دکتر اردوان کمالی

دکتر محسن حمیدپور

دکتر سمیرا اخوان

نگارنده

مرضیه بصیری

اسفند ۱۳۹۱

تمامی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های حاصل از پژوهش موضوع این پایان‌نامه، متعلق به دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان است.

سپاسگزاری

من به سر چشمه نه خودم بردم راه ذره‌ای بودم و مهر تو مرا بالا برد

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ": "از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛ از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر عیسی اسفندیارپور که در کمال سعه ی صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛ از استادان بزرگوار آقایان دکتر اردوان کمالی، دکتر محسن حمیدپور و سرکار خانم سمیرا اخوان که از مشاورت ایشان بهره مند شدم کمال تشکر را دارم و از داوران گرانقدر آقایان دکتر شیرانی و دکتر بسالت پور که زحمت بازخوانی و داوری این پایان نامه را تقبل کردند بی نهایت سپاسگزارم.

باشد که این خرد ترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

به پاس تعبیر عظیم و انسانی اشان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه ی سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این پایان نامه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

چکیده:

مدل‌های فرسایش خاک، ابزارهای مفیدی برای پیش‌بینی روان‌آب، رسوب و فرسایش خاک به‌منظور اقدامات حفاظتی در حوزه‌های آبخیز به‌شمار می‌روند. مدل SWAT، یک مدل جامع برای ارزیابی دبی جریان و آثار بلندمدت عملیات مدیریتی بر آب، رسوب و مواد شیمیایی حاصل از عملیات کشاورزی در حوزه‌های آبخیز بزرگ محسوب می‌شود. در این پژوهش، توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی روند جریان روان‌آب ماهانه‌ی حوزه‌ی آبخیز تویسرکان (با مساحتی حدود ۳۸۰۰ هکتار) و نیز تأثیر مقیاس نقشه‌ی خاک بر نتایج این شبیه‌سازی بررسی شد. هم‌چنین، اثر سال‌های اولیه (۱۹۹۳ تا ۲۰۰۳) و انتهایی (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸) دوره‌ی اقلیمی مورد استفاده (سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸) بر نتایج واسنجی مدل SWAT مورد مطالعه قرار گرفت. به‌منظور بررسی اثر مقیاس نقشه‌ی خاک، سه مدل SWAT گوناگون ساخته شد که در آن‌ها، تمامی عوامل مشابه بودند و تنها مقیاس نقشه‌ی خاک (۱:۴۰۰۰۰، ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰۰) متفاوت بود. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل SWAT برای هر سه مقیاس با دوره‌ی آماری (سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸) و یکبار هم واسنجی برای ۱۱ سال اول دوره‌ی آماری مزبور (سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۳) در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ با استفاده از برنامه‌ی SUFI-2 انجام پذیرفت. نتایج واسنجی مدل برای دوره‌ی اقلیمی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ میلادی نشان دادند که مقدار ضریب تبیین (R^2)، ضریب ناش-ساتکلیف، فاکتور p و فاکتور r برای مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ به‌ترتیب ۰/۸۱، ۰/۸۰، ۰/۷۷ و ۰/۶۴، برای مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ به‌ترتیب ۰/۷۹، ۰/۷۹، ۰/۸۰ و ۰/۷۱ و برای مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ به‌ترتیب ۰/۸۰، ۰/۸۰، ۰/۷۳ و ۰/۵۹ بودند. نتایج اعتبارسنجی مدل برای دوره‌ی آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ میلادی نشان داد که مقدار ضریب تبیین (R^2)، ضریب ناش-ساتکلیف، فاکتور p و فاکتور r برای مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ به‌ترتیب ۰/۷۶، ۰/۷۲، ۰/۷۲ و ۰/۵۵، برای مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ به‌ترتیب ۰/۷۸، ۰/۷۳، ۰/۷۴ و ۰/۶۳ و برای مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ به‌ترتیب ۰/۷۵، ۰/۷۱، ۰/۶۲ و ۰/۴۸ بودند. در واقع، مقادیر نهایی شاخص‌های آماری برای هر سه مقیاس خاک، تقریباً مشابه بودند. به‌نظر می‌رسد که فاکتور کلیدی در تعیین اثرگذاری مقیاس نقشه‌ی خاک بر نتایج مدل SWAT، عدد کمی مقیاس و یا مساحت حوزه‌ی مطالعاتی نیست بلکه وجود یا عدم وجود تنوع در خاک‌های یک منطقه در این ارتباط بسیار مهم جلوه می‌نماید. هم‌چنین، مقادیر ضرایب مزبور (ضریب تبیین، ضریب ناش-ساتکلیف، فاکتور p و فاکتور r) برای دوره‌ی آماری (سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۳) و مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ در حالت واسنجی به‌ترتیب ۰/۷۷، ۰/۷۶، ۰/۶۵ و ۰/۸۹ و در حالت اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/۸۱، ۰/۷۹، ۰/۵۲ و ۰/۷۹ به‌دست آمدند. به‌طور کلی، برای محدوده‌ی زمانی سال‌های اولیه، مقادیر تمام معیارهای ارزیابی اعتبارسنجی بیش‌تر از واسنجی به‌دست آمدند اما در سایر موارد، واسنجی بهتر از اعتبارسنجی بود.

واژگان کلیدی: آنالیز حساسیت، فرسایش خاک، مدل SWAT

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

مقدمه ۱

فصل دوم: پیشینه‌ی پژوهش

۲-۱- مدل‌سازی فرسایش ۵

۲-۱-۱- تقسیم‌بندی مدل‌های فرسایشی ۵

۲-۲- مروری بر برخی مطالعات انجام‌شده با مدل SWAT ۷

۲-۲-۱- محاسن مدل SWAT ۷

۲-۲-۲- معایب مدل SWAT ۹

۲-۲-۳- مقایسه‌ی مدل SWAT با سایر مدل‌های فرسایش ۱۰

۲-۲-۴- تأثیر ورودی‌های متفاوت بر خروجی مدل SWAT ۱۱

۲-۲-۵- استفاده از مدل SWAT در سایر زمینه‌ها ۱۳

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه ۱۵

۳-۲- روندنمای کلی پژوهش ۱۸

۳-۲-۱- نقشه‌های مورد نیاز ۱۹

۳-۲-۱-۱- نقشه‌ی خاک ۱۹

۳-۲-۱-۲- نقشه‌ی ارتفاع رقومی ۲۰

۳-۲-۱-۳- نقشه‌ی کاربری اراضی ۲۱

۳-۲-۲- اطلاعات اقلیمی مورد نیاز ۲۲

۳-۳- چگونگی اجرای مدل SWAT و کنترل اعتبار نتایج آن ۲۲

۳-۴- آنالیز حساسیت ۲۳

۳-۵- واسنجی ۲۴

۳-۶- آنالیز عدم قطعیت ۲۴

۳-۷- اساس مفهومی آنالیز عدم قطعیت SUFI-2 ..... ۲۵

۳-۸- اعتبارسنجی ۲۷

۳-۹- شاخص‌های آماری ارزیابی مدل ۲۷

۳-۹-۱- ضریب تبیین ۲۷

۳-۹-۲- ضریب ناش- ساتکلیف ۲۸

۳-۹-۳- فاکتور p و فاکتور r ۲۸

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- نقشه‌های ورودی به مدل SWAT ۳۰
۴-۱-۱- نقشه‌ی خاک ۳۰
۴-۱-۱-۱- نقشه‌ی ژئوفرم ۳۰
۴-۱-۱-۲- نقشه‌ی خاک ۳۲
۴-۱-۲- نقشه‌ی کاربری اراضی ۳۶
۴-۱-۳- نقشه‌ی مدل ارتفاع رقومی ۳۷
۴-۲- نتایج اجرای مدل، آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی آن ۳۸
۴-۲-۱- اجرای مدل ۳۸
۴-۲-۲- آنالیز حساسیت ۳۸
۴-۲-۳- واسنجی و اعتبارسنجی ۶۸
۴-۳- اثر مقیاس نقشه‌ی خاک بر نتایج مدل SWAT ۷۵

فصل پنجم: نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری کلی ۸۰
۵-۲- پیشنهادها ۸۱

پیوست اول: ساختار مدل SWAT

پیوست اول ۸۳

پیوست دوم: الگوریتم برنامه‌ی SUFI-2

پیوست دوم ۹۲

پیوست سوم: جدول‌های نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ‌های شاهد

پیوست سوم ۹۶
منابع ۱۰۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱- موقعیت حوزه‌ی آبخیز مطالعاتی ۱۶
شکل ۳-۲ - نقشه‌ی مواد مادری منطقه‌ی مطالعاتی ۱۷
شکل ۳-۳- روندنمای مراحل کاری پژوهش حاضر ۱۸
شکل ۳-۴- مفهوم عدم قطعیت در برنامه‌ی SUFI-2 ۲۵
شکل ۴-۱- نقشه‌ی ژئوفرم منطقه‌ی مطالعاتی ۳۱
شکل ۴-۲- نقشه‌ی خاک ۱:۴۰۰۰۰ منطقه‌ی مطالعاتی ۳۳
شکل ۴-۳- مقایسه‌ی خلوص طبقه‌بندی سطوح مختلف رده‌بندی خاک در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ ۳۴
شکل ۴-۴- نقشه‌ی خاک ۱:۲۵۰۰۰۰ (الف) و ۱:۱۰۰۰۰۰۰ (ب) منطقه‌ی مطالعاتی ۳۵
شکل ۴-۵- نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی مطالعاتی ۳۶
شکل ۴-۶- نقشه‌ی مدل ارتفاع رقومی منطقه‌ی مطالعاتی ۳۷
شکل ۴-۷- اثر پارامتر ثابت کاهش جریان پایه بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰) ۴۰
شکل ۴-۸- اثر پارامتر هدایت هیدرولیکی مؤثر در کانال اصلی بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰) ۴۱
شکل ۴-۹- اثر پارامتر ضریب زبری مانینگ برای جریان موجود در کانال اصلی بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰) ۴۲
شکل ۴-۱۰- اثر پارامتر شماره‌ی منحنی بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰) ۴۳
شکل ۴-۱۱- اثر پارامتر فاکتور جبران جذب گیاهی بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰) ۴۴
شکل ۴-۱۲- اثر پارامتر فاکتور جبران تبخیر از خاک بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰) ۴۵
شکل ۴-۱۳- اثر پارامتر زمان تأخیر برای تغذیه‌ی آب‌خوان بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰) ۴۶
شکل ۴-۱۴- اثر پارامتر عمق آستانه‌ی آب در آب‌خوان کم‌عمق برای نفوذ به آب‌خوان عمیق بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰) ۴۷
شکل ۴-۱۵- اثر پارامتر عمق آستانه‌ی آب در آب‌خوان کم‌عمق برای جریان برگشتی بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰) ۴۸
شکل ۴-۱۶- اثر پارامتر ضریب واسنجی برای کنترل تأثیر ثابت زمان ذخیره برای جریان نرمال بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰) ۴۹

شکل ۴-۱۷- اثر پارامتر ضریب واسنجی برای کنترل تأثیر ثابت زمان ذخیره برای جریان کم بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۵۰
شکل ۴-۱۸- اثر پارامتر ضریب زبری مانینگ برای جریان روی سطح زمین بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۵۱
شکل ۴-۱۹- اثر پارامتر ضریب نفوذ آب‌خوان بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۵۲
شکل ۴-۲۰- اثر پارامتر عمق آستانه‌ی آب در آب‌خوان کم‌عمق برای نفوذ به آب‌خوان عمیق بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۵۳
شکل ۴-۲۱- اثر پارامتر دمای بارش برف بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۵۴
شکل ۴-۲۲- اثر پارامتر عمق اولیه‌ی آب در آب‌خوان آزاد بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۵۵
شکل ۴-۲۳- اثر پارامتر متوسط طول شیب بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۵۶
شکل ۴-۲۴- اثر پارامتر فاکتور ذوب برف اول دی ماه بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۵۷
شکل ۴-۲۵- اثر پارامتر فاکتور ذوب برف اول تیر ماه بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۵۸
شکل ۴-۲۶- اثر پارامتر دمای پایه‌ی ذوب برف بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۵۹
شکل ۴-۲۷- اثر پارامتر ضریب بازتاب (آلبیدو) خاک مرطوب بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۶۰
شکل ۴-۲۸- اثر پارامتر متوسط آب قابل استفاده بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۶۱
شکل ۴-۲۹- اثر پارامتر چگالی ظاهری خاک بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۶۲
شکل ۴-۳۰- اثر پارامتر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۶۳
شکل ۴-۳۱- اثر پارامتر ضریب تأخیر روان‌آب سطحی بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۶۴
شکل ۴-۳۲- اثر پارامتر فاکتور تأخیر دمای توده‌ی برف بر روان‌آب (الف- مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، ب- مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ج- مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)..... ۶۵

شکل ۴-۳۳- پراکنش کلاس‌های بافتی موجود در منطقه‌ی مطالعاتی ۶۸
شکل ۴-۳۴- نتایج واسنجی (الف) و اعتبارسنجی (ب) روان‌آب در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ ۷۱
شکل ۴-۳۵- نتایج واسنجی (الف) و اعتبارسنجی (ب) روان‌آب در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ ۷۲
شکل ۴-۳۶- نتایج واسنجی (الف) و اعتبارسنجی (ب) روان‌آب در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ ۷۳
شکل ۴-۳۷- نتایج واسنجی (الف) و اعتبارسنجی (ب) روان‌آب در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ برای دوره‌ی آماری (۲۰۰۳-۱۹۹۳) ۷۴
شکل ۴-۳۸- نقشه‌ی شیب حوزه‌ی آبخیز مطالعاتی ۷۷
شکل ۴-۳۹- مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی بهینه‌ی مدل SWAT در سه مقیاس مطالعاتی (الف- واسنجی، ب- اعتبارسنجی) ۷۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- پارامترهای مؤثر بر تولید روان‌آب در مدل SWAT ۲۶
جدول ۴-۱- راهنمای نقشه‌ی ژئوفرم منطقه‌ی مطالعاتی ۳۱
جدول ۴-۲- رده‌بندی خاک‌های غالب منطقه‌ی مطالعاتی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ ..... ۳۳
جدول ۴-۳- رده‌بندی خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی در مقیاس‌های مختلف ۳۵
جدول ۴-۴- اطلاعات مربوط به کاربری‌های مختلف موجود در منطقه‌ی مطالعاتی ۳۶
جدول ۴-۵- مقادیر نهایی پارامترها در مقیاس سه‌گانه‌ی مطالعاتی ۶۶
جدول ۴-۶- مقادیر نهایی شاخص‌های واسنجی و اعتبارسنجی ۷۵
جدول ۴-۷- اطلاعات مربوط به نقشه‌ی خاک تهیه‌شده توسط چاپلوت (۲۰۰۵) در مقیاس‌های مختلف ۷۹

فهرست پیوست

عنوان **صفحه**

پیوست اول: ساختار مدل SWAT

چرخه‌ی هیدرولوژی ۸۳

روان‌آب سطحی ۸۴

الف) روش شماره‌ی منحنی ۸۴

ب) رابطه‌ی گرین-آمپت ۸۵

حداکثر سرعت روان‌آب ۸۶

زمان تمرکز ۸۶

ضریب روان‌آب ۸۶

شدت بارش ۸۷

آب خاک ۸۷

رسوب ۸۹

اثرات پوشش برف ۸۹

روندیابی رسوب ۹۰

پیوست دوم: الگوریتم برنامه‌ی SUFI-2

توصیف الگوریتم برنامه‌ی SUFI-2 ۹۲

برنامه‌ی I- SWAT ۹۶

پیوست سوم: جدول‌های نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ‌های شاهد

جدول ۱- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Mo111 ۹۸

جدول ۲- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Mo112 ۹۹

جدول ۳- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Mo113 ۱۰۰

جدول ۴- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Mo121 ۱۰۱

جدول ۵- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Mo211 ۱۰۲

جدول ۶- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Mo212 ۱۰۳

جدول ۷- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Mo213 ۱۰۴

جدول ۸- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Mo214 ۱۰۵

جدول ۹- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Mo215 ۱۰۶

جدول ۱۰- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Mo221 ۱۰۷

جدول ۱۱- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Va111 ۱۰۸

جدول ۱۲- برخی از نتایج فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک‌رخ شاهد واحد ژئوفرم Va211 ۱۰۹

فصل اول

مقدمه

خاک ترکیب پیچیده‌ای از مواد بیوژئوشیمیایی است که امکان تشکیل و ادامه‌ی حیات بر سطح زمین را فراهم می‌سازد. به دیگر سخن، خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی است که رشد گیاهان را پشتیبانی می‌کند و بیش از ۹۷ درصد نیازهای غذایی جهان را برآورده می‌سازد. لایه‌ی سطحی خاک، بستر اصلی فعالیت‌های زراعی است که در چند دهه‌ی گذشته در اثر فعالیت‌های انسانی (مانند جنگل‌زدایی، چرای بیش از حد و مدیریت نامناسب اراضی) و عوامل طبیعی (نظیر فرسایش آبی و بادی) با تخریب بیش از پیش روبه‌رو شده است و کیفیت آن کاهش یافته است (Gerarrd, 2000).

فرسایش، از ریشه‌ی لاتین "اِروده[1]" به معنی "کنده شدن و ساییدن" گرفته شده است. فرسایش، فرایندی است که طی آن ذرات از بستر اصلی خود جدا می‌شوند و به‌کمک عوامل انتقال‌دهنده (مانند آب، باد و یخچال) به مکان دیگر حمل می‌گردند. فرسایش آبی، مهم‌ترین عامل از بین رفتن خاک در سراسر جهان می‌باشد (Lal, 1998; Eswaran *et al.*, 2001). فرسایش در محل وقوع با تغییر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی، موجب تخریب خاک و کاهش کیفیت آن می‌شود. اثرات منفی فرسایش خاک در خارج از محل وقوع از طریق آلودگی فیزیکی و شیمیایی منابع آب، رسوب مواد فرسایش‌یافته در اراضی کشاورزی، آسیب به بسیاری از سازه‌ها و تأسیسات ذخیره و انتقال آب، کاهش ظرفیت مخازن و سدها و کاهش ظرفیت عبور آب آبراهه‌ها، کانال‌ها و زهکش‌ها

[1] Erode

مشهود است. در هر حال، اگر استفاده از خاک بر اساس استعداد و قدرت تولیدی آن و مبتنی بر رعایت اصول صحیح و علمی باشد، میزان هدررفت خاک به حداقل می‌رسد (رفاهی، ۱۳۸۵).

امروزه در بیش‌تر اراضی، سرعت فرسایش خاک بیش از سرعت تشکیل آن است. این موضوع باعث تهی شدن منابع خاک و کاهش توان حاصلخیزی آن می‌شود. ناهمخوانی بین سرعت تشکیل و هدررفت خاک به‌طور عمده، نتیجه‌ی فعالیت‌های انسانی می‌باشد (Toy *et al.*, 2002). افزایش جمعیت جهان از یک سو و افزایش تقاضا برای غذا، مسکن و داشتن زندگی ایده‌آل از سوی دیگر سبب شده است که هدررفت خاک با سرعت بیش‌تری صورت گیرد.

نوع و شدت فرسایش خاک در یک منطقه، تابع عوامل گوناگونی از جمله شرایط آب و هوایی، پستی و بلندی، نوع خاک و کاربری اراضی می‌باشد. در این میان، اهمیت کاربری اراضی به‌دلیل نقش مؤثر انسان در آن نسبت به دیگر عوامل زیادتر است (Kassas, 1983). در کشور ایران به‌دلیل عدم توجه به مسئله‌ی قابلیت و تناسب کاربری زمین، بیش‌تر اراضی به‌صورت نامناسب و نامعقول استفاده می‌شوند که این استفاده‌ی نادرست، شدت فرسایش و رسوب حوزه‌های آبخیز را افزایش می‌دهد.

با توجه به آمار و اطلاعات موجود، قاره‌ی آسیا بیش‌تر از هر قاره‌ی دیگری از این مشکل رنج می‌برد و در میان کشورهای آسیا، ایران دارای فرسایش خاک بالایی است (Dregne, 1992). بر اساس آمار انتشاریافته توسط سازمان خوار و بار کشاورزی[۲] (۱۹۹۴) میزان فرسایش در ایران بین ۱۵ تا ۲۰ تن در هکتار در سال برآورد شده است، در حالی‌که میزان متوسط فرسایش خاک در آمریکا و اروپا کم‌تر از یک تن در هکتار در سال می‌باشد. با توجه به مسایل ذکرشده، ارزیابی خطر فرسایش خاک، موضوع مهم و ضروری برای توسعه‌ی روش‌های جلوگیری از فرسایش به‌منظور مدیریت پایدار اراضی و منابع آب است (Vrieling *et al.*, 2002).

خطر فرسایش، نشان‌دهنده‌ی احتمال وقوع فرسایش در منطقه‌ای معین است و بررسی آن بر اساس روش‌های گوناگونی صورت می‌گیرد (Vrieling *et al.*, 2008). در هر حال، پیش‌بینی و اندازه‌گیری فرسایش خاک، چالشی برای پژوهشگران از دهه‌ی ۱۹۳۰ محسوب می‌گردیده است و به‌همین دلیل، مدل‌های متفاوتی در این ارتباط توسط پژوهشگران مختلف ارایه شده‌اند (Wischmeier and Smith, 1965; Morgan *et al.*, 1992; Li *et al.*, 2006). نمونه‌ای از این مدل‌ها، مدل SWAT[۳] می‌باشد که یک مدل جامع و کامل برای ارزیابی دبی جریان و آثار بلندمدت عملیات مدیریتی بر آب، رسوب و مواد شیمیایی حاصل از عملیات کشاورزی در حوزه‌های بزرگ محسوب می‌شود

[2] Food and Agriculture Organization, FAO
[3] Soil and Water Assessment Tool, SWAT

(Neitsch *et al*., 2001). از طرفی در سالیان اخیر با توسعه‌ی علم سنجش از دور[۴] و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی[۵]، روش‌های مختلفی برای ارزیابی خطر فرسایش و اندازه‌گیری‌های اکولوژیکی و محیطی و پیامدهای آن ارایه شده‌اند. مدل SWAT قابلیت اتصال به نرم‌افزارهای سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی را دارا می‌باشد و محدودیتی از نظر ورود حجم وسیعی از اطلاعات در مورد حوزه‌های وسیع ندارد.

با توجه به نرخ بالای فرسایش در بسیاری از مناطق جغرافیایی کشور، باید تلاش‌های زیادی برای کم کردن خطرهای ناشی از آن صورت گیرد. لازمه‌ی این کار، وجود داده‌های کمّی است تا بتوان مناطق بحرانی را که نیازمند حفاظت فوری می‌باشند، تشخیص داد و مدیریت نمود. نظر به این‌که استفاده از روش‌های سنتی برای انجام چنین مطالعاتی، زمان‌بر و پُرهزینه هستند و دقت کمی دارند؛ هم‌چنین در بیش‌تر حوزه‌های آبخیز ایران یا ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش یا روان‌آب وجود نداشته یا در صورت وجود، داده‌های آن ناقص می‌باشند؛ به‌همین دلیل برای انجام یک پژوهش اصولی و فراگیر، استفاده از فناوری‌های جدید سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در این راستا ضروری می‌نماید (روستایی و همکاران، ۱۳۸۹). در نتیجه، هدف اصلی پژوهش حاضر، برآورد میزان روان‌آب تولیدی از طریق مدل SWAT در واحد هیدرولوژیکی حوزه‌ی آبخیز تویسرکان واقع در استان همدان به‌کمک سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور می‌باشد. این منطقه به‌دلیل کوهستانی بودن و شیب زیاد از مناطق حساس به فرسایش به‌شمار می‌آید که فرسایش شدید خاک در این ناحیه باعث کاهش اراضی حاصلخیز، کاهش پوشش گیاهی، افزایش روان‌آب، تولید رسوب و افزایش گل‌آلودگی در رودخانه‌ی گزندر شده است (فرزام، ۱۳۹۰). به‌طور کلی، هدف‌های این پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

۱- کارایی مدل SWAT در تخمین میزان روان‌آب ماهانه‌ی خاک حوزه‌ی آبخیز گزندر تویسرکان.

۲- تأثیر مقیاس نقشه‌برداری خاک بر شبیه‌سازی روان‌آب سطحی توسط مدل SWAT.

۳- اثر سال‌های اولیه (۱۹۹۳ تا ۲۰۰۳) و انتهایی (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸) دوره‌ی آماری مورد استفاده (سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸) بر نتایج واسنجی مدل SWAT.

۴- شناسایی پارامترهای حساس در مدل SWAT برای شبیه‌سازی روان‌آب با استفاده از نقشه‌های خاک با مقیاس‌های گوناگون.

[4] Remote Sensing, RS
[5] Geographical Information System, GIS

فصل دوم

پیشینه‌ی پژوهش

فرسایش خاک بر اساس عامل جداکننده‌ی ذرات از بستر و انتقال آن‌ها به سه دسته‌ی آبی، بادی و یخچالی تقسیم‌بندی می‌شود. فرسایش آبی، مهم‌ترین معضل در تخریب اراضی جهان محسوب می‌شود و به منزله‌ی تهدیدی جدی برای بقای بشر شناخته شده است (Lal, 1998). بنابراین، بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز برای دستیابی به مدیریت صحیح اراضی و حفظ کمّیت و کیفیت آب و خاک از نکته‌های اساسی در این راستا محسوب می‌شود. از طرفی، اندازه‌گیری میزان فرسایش و رسوب در شرایط طبیعی، بسیار پرهزینه و زمان‌بر است. به‌دلیل مشکلات و محدودیت‌های موجود در روش‌های مستقیم اندازه‌گیری فرسایش خاک و همین‌طور پیشرفت‌های زیادی که در درک مفاهیم و عملکرد فرایند فرسایش حاصل شده‌اند، ابداع الگوهای مختلف در زمینه‌ی برآورد میزان فرسایش و رسوب، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در حال حاضر، شناخت نسبتاً جامعی از بسیاری عوامل مؤثر بر فرایند فرسایش به‌دست آمده است و روابط بین آن‌ها به‌صورت معادله‌های ریاضی و در قالب "مدل‌های فرسایش" تعریف شده‌اند (Morgan, 1986).

٢

۲-۱- مدل‌سازی فرسایش خاک

مدل، وسیله‌ای است که بخشی از واقعیت را شبیه‌سازی می‌کند. به‌طور کلی، هدف از ایجاد مدل، مشخص کردن عملکرد و رفتار یک پدیده‌ی حقیقی تحت شرایط معین می‌باشد. در واقع، مدل، یک پدیده را در ساده‌ترین حالت ممکن بررسی می‌کند و در صورت موفق بودن می‌توان آن را به حالت‌های پیچیده تعمیم داد. در این حالت می‌توان پدیده‌های بسیار پیچیده را تفسیر نمود و پیشگویی‌های صحیحی به‌عمل آورد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۱).

اساس مدل‌سازی فرسایش خاک بر پایه‌ی فهم انسان از قوانین فیزیکی و فرایندهای صورت‌گرفته در جهان واقعی استوار است. مدل‌سازی، فرایندهای فرسایش خاک (جداسازی ذرات خاک، انتقال و ته‌نشست مواد) را به روابط ریاضی تبدیل می‌کند (Doe and Jones, 1999). در واقع، فناوری پیش‌بینی میزان فرسایش خاک، شامل تعدادی از روابط ریاضی است که میزان هدررفت خاک، مقدار رسوب تولیدی و بار رسوب را با استفاده از پارامترهای ورودی خاک، پستی و بلندی، اقلیم و کاربری اراضی محاسبه می‌کند (Toy *et al.*, 2002).

باید توجه داشت که به‌دلیل گستردگی عوامل دخیل در ایجاد فرسایش و رسوب یک حوزه‌ی آبخیز (مانند آب و هوا، جنس سنگ، عوامل توپوگرافی، پوشش گیاهی، مدیریت، نوع استفاده از زمین و غیره)، مدل‌سازی آن‌ها کار مشکلی است و هیچ‌وقت امکان رسیدن به یک مدل صد در صد طبیعی وجود نخواهد داشت (Esmali *et al.*, 2008). بنابراین، هر مدل باید به‌نحوی باشد که خواسته‌های کاربر را تأمین کند (اسمعلی و عبداللهی، ۱۳۸۹). در حال حاضر، تعداد زیادی مدل فرسایش وجود دارند که هر کدام دارای ساختار، ورودی‌ها و خروجی‌های متفاوت، سهولت استفاده، کارآیی و محدودیت‌های ویژه‌ی خود است.

۲-۱-۱- تقسیم‌بندی مدل‌های فرسایشی

روش‌های مختلفی برای تقسیم‌بندی مدل‌های فرسایشی وجود دارند. این روش‌ها بر اساس چگونگی عملکرد مدل، پایه‌ی نظری معرفی مدل، چهارچوب محاسباتی مدل و پردازش داده‌ها با یکدیگر متفاوت می‌باشند (صالحی و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدنظر قرار گرفته در تقسیم‌بندی مدل‌های فرسایشی، نوع فرایند محاسباتی موجود در آن‌ها می‌باشد که بر این اساس، مدل‌ها را به سه گروه زیر تقسیم‌بندی نموده‌اند:

الف) مدل‌های جعبه سیاه[1]

[1] Black Box

مدل‌هایی هستند که در آن‌ها تغییر نهاده‌ها به خروجی از روش‌هایی تأثیر می‌پذیرند که اساس فیزیکی درست و شناخته‌شده‌ای ندارند (Mutreja, 1986). در واقع در این مدل‌ها، تنها داده‌های ورودی و خروجی بررسی می‌شوند و کاربر نمی‌داند چه اتفاقی در فرایند محاسباتی مدل رخ می‌دهد (Morgan *et al.*, 1992). از جمله‌ی این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های فرسایشی PSIAC[1] (Pacific Southwest Inter-Agency Committee, 1968) و EPM[2] (Gavrilovic, 1998) اشاره نمود.

ب) مدل‌های جعبه خاکستری[3]

مدل‌هایی هستند که از پایگاه اطلاعاتی داده‌ها حاصل می‌شوند و در آن‌ها تجزیه و تحلیل‌های آماری نقش مهمی دارند. در این مدل‌ها، تا اندازه‌ای فرایندهای داخل سامانه (مدل) توسط کاربر بررسی می‌شوند (Morgan *et al.*, 1992). مدل‌های USLE[4] (Wischmeier and Smith, 1965)، MUSLE[5] (Williams, 1975) و RUSLE[6] (Renard *et al.*, 1991) نمونه‌هایی از مدل‌های جعبه خاکستری می‌باشند.

پ) مدل‌های جعبه سفید[7]

مدل‌هایی هستند که همه‌ی فرایندهای مدل شناخته‌شده هستند. به‌عبارت دیگر، مدل‌های جعبه سفید را مدل‌هایی می‌دانند که روش و چگونگی فرایند محاسباتی برای کاربر، آشکار و مشخص است. این مدل‌ها، روش‌هایی مبتنی بر اصول فیزیکی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به مدل‌های ریاضی-فیزیکی اشاره کرد (Morgan *et al.*, 1992). EUROSEM[8] (Morgan *et al.*, 1991)،WEPP[9] (Flanegan and Nearing, 1995) و SWAT (Arnold, 1998)، نمونه‌هایی از این نوع می‌باشند.

ملاحظه می‌شود که مدل SWAT، یک نمونه از مدل‌های جعبه سفید می‌باشد. این مدل برای اولین‌بار توسط سرویس تحقیقات کشاورزی[10] آمریکا برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان آب، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوزه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارایه شده است (Neitsch *et al.*, 2000) . از جمله ویژگی‌های این مدل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

---

[1] Pacific Southwest Inter-Agency Committee, PSIAC
[2] Erosion Potential Method, EPM
[3] Gray Box
[4] Universal Soil Loss Equation, USLE
[5] Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE
[6] Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE
[7] White Box
[8] European Soil Erosion Model, EUROSEM
[9] Water Erosion Prediction Project, WEPP
[10] Agricultural Research Service, ARS