دانشکده مرتع و آبخیزداری

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری

شبیه‌سازی فرسایش خاک و انتقال رسوب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی – توزیعی Wetspa در حوزه آبخیز طالقان، استان البرز

پژوهش و نگارش:
شهین مرادی‌پور

اساتید راهنما:
دکتر عبدالرضا بهره‌مند
دکتر حسین زینی‌وند

اساتید مشاور:
دکتر علی نجفی نژاد

زمستان 1390

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به موارد ذیل متعهد می‌شوند:

1) قبل از چاپ پایان نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.

2) در انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.

3) انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **شهین مرادی‌پور** دانشجوی رشته **آبخیزداری** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

چکیده

با دستیابی به مقدار کمی فرسایش و تولید رسوب در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، امکان برنامه‌ریزی، مدیریت و گزینش رویکرد بهینه حفاظت خاک فراهم خواهد شد. در این راستا مدل‌های شبیه‌سازی ابزاری برای تجزیه و تحلیل کمی و کیفی رفتار حوزه همچنین اجرا و ارزیابی برنامه‌های مدیریتی آبخیزها محسوب می‌شوند. در این تحقیق به ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژیکی- توزیعی WetSpa در شبیه‌سازی رواناب، فرسایش و انتقال رسوب در آبخیز طالقان پرداخته شده است. آبخیز طالقان با مساحت 809 کیلومترمربع، در دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز و در بالادست سدهای طالقان و سفیدرود واقع شده است. نقشه‌های رقومی مدل ارتفاع رقومی، پوشش اراضی و بافت خاک (با اندازه سلولی 85 متر) و سری‌های زمانی پیوسته بارش، تبخیر و دمای هوا در گام زمانی روزانه 9 سال آماری (1381-1373) ورودی‌های اصلی مدل می‌باشند. داده‌های دبی جریان و غلظت رسوب معلق به صورت انتخابی برای واسنجی مدل مورد استفاه قرار می‌گیرد. واسنجی 13 پارامتر مدل با دو روش دستی (عمدتا) و اتوماتیک برای 5 سال ابتدای دوره آماری و اعتبارسنجی مدل برای دوره 4 ساله با لحاظ کردن دوره سه ماهه Warm-up در آغاز هر دوره انجام شد. نتایج ارزیابی مدل، صحت شبیه‌سازی دبی جریان را بر اساس معیار نش- ساتکلیف 82/76 درصد در دوره واسنجی و 79 درصد در دوره اعتبارسنجی نشان می‌دهد. بر اساس معیار تجمعی، نکویی برازش مدل و سطح عملکرد مدل در شبیه‌سازی رواناب در طبقه خیلی‌خوب قرار گرفت. در ادامه به منظور شبیه‌سازی فرسایش و انتقال رسوب با استفاده از 111 نمونه رسوب معلق واسنجی پارامترهای ماژول فرسایش صورت گرفت. نتایج، معیار نش- ساتکلیف 60 و 64 درصد را به ترتیب برای غلظت و تولید رسوب معلق نشان داد. با اعتبارسنجی مدل با وجود 15 نمونه رسوب معلق، معیار نش- ساتکلیف 52/4 و 69 درصد به ترتیب برای غلظت و انتقال رسوب معلق برآورد شد. نتایج ارزیابی مدل WetSpa در آبخیز طالقان نشان می‌دهد مدل مؤلفه‌های هیدرولوژیکی از جمله رواناب، کنش خاک توسط قطرات باران و جریان سطحی، هدررفت خاک و ... را در مکان و زمان با دقت قابل قبول برآورد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مدل هیدرولوژیکی- توزیعی، WetSpa، فرسایش و انتقال رسوب، آبخیز طالقان، شبیه‌سازی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و بیان مسأله

1-1 فرسایش و تولید رسوب .....

2-1 اهمیت بررسی و اندازه‌گیری فرسایش و تولید رسوب .....

3-1 اهمیت استفاده از مدل‌های ارزیابی فرسایش خاک .....

4-1 سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های ارزیابی فرسایش خاک .....

5-1 بیان مسأله .....

6-1 فرسایش در آبخیز طالقان .....

7-1 سوالات اساسی تحقیق .....

8-1 فرضیه‌ها .....

9-1 اهداف تحقیق .....

10-1 معرفی عمومی فصل‌های پایان نامه .....

فصل دوم: کلیات مرور منابع

1-2 مقدمه .....

2-2 مدل .....

3-2 مراحل شبیه‌سازی .....

4-2 انواع مدل‌های فرسایش و رسوب .....

1-4-2 انواع مدل بر اساس تغییرات زمانی .....

2-4-2 انواع مدل بر اساس تغییرات مکانی .....

2- 5 شرح مختصر مدل WetSpa .....

1-5-2 قابلیت و اهداف مدل WetSpa .....

2-5-2 فرضیات مدل WetSpa .....

3-5-2 محدودیت‌های مدل WetSpa .....

6-2 سابقه تحقیق .....

1-6-2 سابقه تحقیق مدل‌های توزیعی فرسایش در ایران .....

2-6-2 سابقه تحقیق مدل‌های فرسایش در آبخیز طالقان .....

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

2-6-3 سابقه تحقیق مدل‌های توزیعی فرسایش در خارج از ایران .....
2-6-4 سابقه تحقیق مدل WetSpa در ایران .....
2-6-5 سابقه تحقیق مدل WetSpa در خارج از ایران .....
2-7 جمع‌بندی .....

فصل سوم: مواد و روش‌ها

3-1 مقدمه .....
3-2 موقعیت جغرافیایی و مشخصات آبخیز مورد مطالعه .....
3-2-1 موقعیت منطقه مورد مطالعه .....
3-2-2 خصوصیات فیزیوگرافی آبخیز طالقان .....
3-2-3 شبکه هیدروگرافی آبخیز .....
3-2-4 اقلیم .....
3-2-4-1 ایستگاه‌های هواشناسی .....
3-2-5 هیدرولوژی .....
3-2-5-1 ایستگاه هیدرومتری گلینک .....
3-2-5-2 تحلیل داده‌های هیدرومتری و هواشناسی .....
3-2-5-3 آزمون همگنی داده‌ها .....
3-2-6 ژئومرفولوژی و زمین‌شناسی .....
3-2-7 اجزای واحد اراضی و خاک شناسی .....
3-2-8 فرسایش و رسوب .....
3-2-9 پوشش (کاربری) اراضی .....
3-3 روش و مراحل انجام تحقیق .....
3-3-1 شبیه‌سازی جریان رودخانه .....
3-3-1-1 مدل WetSpa .....
3-3-1-2 ورودی مدل .....
3-3-1-2-1 نقشه‌های رقومی .....

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

3-3-1-2-2- داده‌های هیدرومتئورلوژیکی .....
3-3-1-3 ساختار مدل .....
3-3-1-4 فرمولاسیون مدل .....
3-3-1-4-1 بارش .....
3-3-1-4-2 برگاب .....
3-3-1-4-3 ذوب برف .....
3-3-1-4-4 بارش مازاد و نفوذ .....
3-3-1-4-6 جریان سطحی .....
3-3-1-4-7 بیلان آب در زون ریشه .....
3-3-1-4-8 تبخیر و تعرق از خاک .....
3-3-1-4-9 نفوذ عمیقی و جریان زیر سطحی .....
3-3-1-4-10 جریان زیر سطحی .....
3-3-1-4-11 ذخیره آب زیرزمینی و آب پایه .....
3-3-1-4-12 روندیابی جریان آبراهه و جریان سطحی .....
3-3-1-4-13 ادغام زیر حوزه‌ها .....
3-3-1-4-14 بیلان آب حوزه .....
3-3-1-5 پارامترهای عمومی .....
3-3-1-6 فایل پارامترهای عمومی مدل .....
3-3-1-7 نحوه و ورود داده‌ها به محیط WetSpa .....
3-3-1-8 ارزیابی مدل .....
3-3-1-9 واسنجی و اعتبارسنجی مدل .....
3-3-1-11 نتایج ارزیابی مدل در شبیه‌سازی دبی جریان .....
3-3-2 ماژول فرسایش .....
3-3-2-1 برگاب .....
3-3-2-2 کنده‌شدن ذرات خاک توسط قطرات باران .....
3-3-2-3 فرسایش خاک توسط جریان سطحی .....

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

3-3-2-4 معادله انتقال رسوب و ته‌نشست رسوب .....
3-3-2-5 راه حل تقریبی معادله انتقال .....
3-3-2-6 استخراج پارامترها .....
3-3-2-7 داده ورودی غلظت رسوب معلق .....
3-3-2-8 پارامترهای عمومی مدل .....
3-3-2-9 واسنجی و اعتبارسنجی مدل .....
3-3-2-10 خروجی مدل .....
3-3-2-11 ارزیابی مدل در شبیه‌سازی رسوب .....
3-4 جمع‌بندی .....

فصل چهارم: نتایج

4-1 مقدمه .....
4-2 بررسی صحت داده‌ها .....
4-3 انتخاب دوره مشترک آماری .....
4-4 نقشه‌های پارامترهای توزیعی – مکانی آبخیز طالقان .....
4-4-1 نقشه‌های پارامترهای توزیعی – مکانی مستخرج از نقشه مدل ارتفاع رقومی .....
4-4-2 نقشه‌های پارامترهای توزیعی – مکانی مستخرج از نقشه پوشش اراضی .....
4-4-3 نقشه‌های پارامترهای توزیعی – مکانی مستخرج از نقشه بافت خاک .....
4-4-4 نقشه‌های توزیعی – مکانی ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت ذخیره چالابی .....
4-4-5 نقشه‌های توزیعی – مکانی پارامترهای روندیابی جریان .....
4-4-6 نقشه‌های تیسن پلیگون بارندگی، دما و تبخیر .....
4-5 اجرای مدل .....
4-6 نتایج شبیه‌سازی دبی جریان قبل از واسنجی .....
4-7 خروجی‌های مدل .....
4-7-1 خروجی‌های میانی مدل .....
4-7-2 خروجی نهایی .....

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

4-8 واسنجی مدل .....

4-8-1 مقایسه گرافیکی دبی جریان، غلظت و انتقال رسوب معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی .....

4-9 اعتبار سنجی مدل .....

4-9-1 مقایسه گرافیکی دبی جریان، غلظت و انتقال رسوب معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره اعتبارسنجی .....

4-10 ارزیابی کارایی مدل در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی .....

4-11 نقشه‌های توزیعی مکانی – زمانی بارش، رواناب سطحی و ذوب برف حوزه .....

4-12 فرسایش و روسوب حوزه .....

4-13 نقشه‌های توزیعی مکانی فرسایش و رسوب در حوزه .....

فصل پنجم : بحث ونتیجه‌گیری

5-1 مقدمه .....

5-2 کاربرد مدل WetSpa در آبخیز طالقان .....

5-3 اجرای مدل .....

5-4 واسنجی و اعتبار سنجی مدل .....

5-5 ارزیابی مدل .....

5-6 فرسایش و رسوب در آبخیز طالقان .....

5-7 نتیجه‌گیری .....

5-8 نتیجه‌گیری کلی .....

5-9 پیشنهادها .....

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل 2-1 مراحل شبیه‌سازی .....
شکل 3-1 موقعیت آبخیز طالقان در ایران و استان البرز .....
شکل 3-2 نقشه شیب آبخیز طالقان .....
شکل 3-3 جهت‌های جغرافیایی آبخیز طالقان .....
شکل 3-4 نقشه شبکه آبراهه‌های آبخیز طالقان با رتبه‌بندی استرالر .....
شکل 3-5 روند انجام تحقیق .....
شکل 3-6 نقشه ارتفاع رقومی آبخیز طالقان .....
شکل 3-7 نقشه پوشش اراضی آبخیز طالقان .....
شکل 3-8 نقشه بافت خاک آبخیز طالقان .....
شکل 3-9 ساختار مدل WetSpa در مقیاس سلولی .....
شکل 3-10 فرآیندهای مورد نظر ماژول فیزیکی توزیعی مکانی فرسایش و انتقال رسوب .....
شکل 4-1 مقایسه هیدروگراف جریان طالقان رود و هایتوگراف آبخیز طالقان در دوره آماری 1381-1373 .....
شکل 4-2 نقشه‌های توزیعی -0 مکانی جهت جریان آبخیز طالقان .....
شکل4-3 نقشه‌های توزیعی – مکانی شعاع هیدرولیکی و شبکه آبراهه‌ها آبخیز طالقان .....
شکل 4-4 نقشه‌های توزیعی – مکانی تنش برشی واقعی و عمق ریشه .....
شکل 4-5 نقشه‌های توزیعی – مکانی درصد پوشش گیاهی و ظرفیت حداکثر ذخیره برگاب .....
شکل 4-6 نقشه توزیعی – مکانی ضریب منینگ .....
شکل 4-7 نقشه‌های توزیعی – مکانی هدایت هیدرولیکی خاک و تخلخل .....
شکل 4-8 نقشه‌های توزیعی – مکانی تنش برشی بحرانی و محتوای رطوبت اولیه خاک .....
شکل 4-9 نقشه‌های توزیعی – مکانی ظریف ذخیره چالابی و ضریب رواناب پتانسیل .....
شکل 4-10 نقشه‌های توزیعی – مکانی زمان تمرکز جریان و انحراف معیار آن تا خروجی حوزه .....
شکل 4-11 نقشه‌های تیسن پلیگون بارش و دما و تبخیر آبخیز طالقان .....
شکل 4-12 مقایسه گرافیکی دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهداتی (1377-1373) قبل از واسنجی .....
شکل 4-13 مقایسه گرافیکی دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهداتی (1381-1378) قبل از واسنجی .....
شکل 4-14 مقایسه گرافیکی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1374-1373 در دوره واسنجی .....
شکل 4-15 مقایسه گرافیکی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1375-1374 در دوره واسنجی .....

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل 4-16 مقایسه گرافیکی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1376-1375 در دوره واسنجی .....
شکل 4-17 مقایسه گرافیکی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1377-1376 در دوره واسنجی .....
شکل 4-18 مقایسه گرافیکی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1378-1377 در دوره واسنجی .....
شکل 4-19 نمایش پراکنش دبی ماهداتی شبیه‌سازی شده مربوط به دوره واسنجی 1377-1373 در سطح اطمینان 95 درصد .....
شکل 4-20 مقایسه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بر اساس درصد فراوانی در دوره واسنجی .....
شکل 4-21 مقایسه گرافیکی غلظت رسوب معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1374-1373 در دوره واسنجی .....
شکل 4-22 مقایسه گرافیکی غلظت رسوب معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1375-1374 در دوره واسنجی .....
شکل 4-23 مقایسه گرافیکی غلظت رسوب معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1376-1375 در دوره واسنجی .....
شکل 4-24 نمایش پراکنش غلظت رسوب معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مربوط به دوره واسنجی 1376/12/29 – 1373/7/1 در سطح اطمینان 95 درصد .....
شکل 4-25 مقایسه گرافیکی 111 نمونه انتقال معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره اعتبار سنجی ....
شکل 4-26 نمایش پراکنش انتقال رسوب معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مربوط به دوره واسنجی 1376/12/29 -1373/7/1 در سطح اطمینان 95 درصد .....
شکل 4-27 مقایسه گرافیکی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1379/ 1378 در دروه اعتبار سنجی .....
شکل 4-28 مقایسه گرافیکی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1380- 1379 در دروه اعتبار سنجی .....
شکل 4-29- مقایسه گرافیکی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1381-1380 در دروه اعتبار سنجی.....
شکل 4-30 مقایسه گرافیکی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده 1382-1381 در دروه اعتبار سنجی .....
شکل 4-31 نمایش پراکنش دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره اعتبار سنجی 1381-1378 -1378 در سطح اطمینان 95 درصد .....
شکل 4-32 مقایسه مقایسه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بر اساس درصد فراوانی مربوط به دوره اعتبار سنجی.....
شکل 4-33 مقایسه گرافیکی غلظت رسوب معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره اعتبار سنجی 1380-1378.....
شکل 4-34 مقایسه گرافیکی 15 نمونه غلظت رسوب معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مربوط به دوره اعتبار سنجی 1380-1378 .....
شکل 4-36 مقایسه گرافیکی انتقال رسوب معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره اعتبارسنجی 1380-1378.....
شکل 4-37 نقشه توزیعی مکانی بارندگی 1373/9/2 در حوزه آبخیز طالقان .....

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل 4-38 نقشه توزیعی مکانی رواناب سطحی 1373/9/2 در حوزه آبخیز طالقان .....
شکل 4-39 نقشه توزیعی مکانی ذوب برف 1375/1/13 در حوزه آبخیز طالقان .....
شکل 4-40 نقشه توزیعی مکانی هدر رفت خالص خاک در تاریخ 1373/9/3.....
شکل 4-41 نقشه توزیعی مکانی کنش خاک با قطرات باران در تارخ 1373/9/3 .....
شکل 4-42 نقشه توزیعی مکانی کنش خاک جریان سطحی در تاریخ 1373/9/3 .....

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول 3-1 مشخصات فیزیوگرافی آبخیز طالقان .....
جدول 3-2 مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی داخل و اطراف آبخیز طالقان .....
جدول 3-3 مشخصات ایستگاه‌های دما و تبخیر سنجی داخل و اطراف آبخیز طالقان.....
جدول 3-4 مشخصات ایستگاه هیدرومتری خروجی آبخیز طالقان .....
جدول 3-5 مشخصات تیپ‌های اراضی تفکیک شده در آبخیر طالقان .....
جدول 3-6 پارامترهای پیش فرض توصیفی طبقات پوشش اراضی .....
جدول 3-7 پارامترهای پیش‌فرض توصیفی کلاس‌های بافت خاک .....
جدول 3-8 ضریب رواناب پتانسیل برای انواع کاربری اراضی در شیب و خاک متفاوت .....
جدول 3-9 ضریب ظرفیت ذخیره چالابی با کلاس‌های شیب، نوع کاربری و نوع خاک .....
جدول 3-10 پارامترهای عمومی مدل WetSpa و ماژول فرسایش و انتقال رسوب.....
جدول 3-11 قالب پارامترهای عمومی در فایل INPUT.TXT.....
جدول 3-12 نمونه فایل سری بارندگی در قالب مورد نظر مدل .....
جدول 3-13 دسته‌بندی ارزیابی کارایی مدل برای تعیین نکویی برازش .....
جدول 3-14 فایل‌های هیدروگرافهای واحد لحظه‌ای در حوزه و زیر حوزه‌ها .....
جدول 4-1 خروجی MEAN.TXT ، پارامترهای میانگین برای چند زیر حوزه از حوزه آبخیز طالقان.....
جدول 4-2 قسمتی از فایل UH-CELL-H-TXT، روندیابی جریان از سلول به خروجی حوزه.....
جدول 4-3 قسمتی از فایل UH-CELL-H-E-TXT ، روندیابی رسوب از سلول به خروجی حوزه طالقان .....
جدول 4-4 نمونه فایل خروجی Q-TOT-R-TXT در حوزه طالقان .....
جدول 4-5 دبی خروجی در زیر حوزه‌های آبخیز طالقان .....
جدول4-6 بیلان آب در حوزه آبخیز طالقان .....
جدول4-7 فایل خروجی تجمع و ذوب برف SNOW.TXT در حوزه‌های 25 تا 30 حوزه آبخیز طالقان .....
جدول 4-8 بخشی از فایل EROSION.TXT در آبخیز طالقان .....
جدول 4-9 بخشی از فایل NETLOSS مربوط به زیر حوزه‌های 25 تا 30 حوزه آبخیز طالقان .....
جدول 4-10 مقادیر بهینه پارامترهای واسنجی شده مدل در آبخیز طالقان .....
جدول 4-11 مقایسه فراوانی دبی مشاهداتی و دبی شبیه‌سازی شده بر اساس دبی متوسط جریان در مرحله واسنجی .....

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول 4-12 نتایج ارزیابی مدل در شبیه سازی دبی در آبخیز طالقان .....
جدول 4-13 نتایج ارزیابی مدل در شبیه‌سازی فرسایش و انتقال رسوب در آبخیز طالقان .....
جدول 4-14 نتایج شبیه‌سازی فرسایش و انتقال رسوب در دوره واسنجی (1376-1373) .....
جدول 4-15 دبی جریان، غلظت رسوب متعلق و انتقال رسوب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش 1373/9/3.....

فصل اول

مقدمه و بیان مسأله

1 مقدمه و بیان مسأله

1-1 مقدمه

در این فصل با تعریف فرسایش و رسوب، اهمیت بررسی و اندازه‌گیری فرسایش و تولید رسوب و استفاده از مدل‌های فرسایش، به‌طور مختصر به اهمیت مسأله فرسایش در آبخیز مورد مطالعه پرداخته شده است. در ادامه مطالب سؤالات، فرضیه‌ها و اهداف تحقیق آورده شده است.

1-2 فرسایش و تولید رسوب

با توجه به اهمیت تفکیک فرسایش و رسوب از نظر آبخیزداری، نظریه‌های مختلفی در این زمینه ارائه شده که بر مبنای آنها، بعضی از محققین، فرسایش را مکانیسم و رسوب را محصول آن در نظر می‌گیرند (لال، 1996). فرسایش آبی، فرآیند جدا شدن ذرات خاک و رسوبات توسط عوامل فرساینده باران و جریان رواناب می‌باشد (فاستر و همکاران، 1989) و رسوب، شامل موادی است که در نتیجه فرسایش ایجاد و انتقال یافته و ممکن است مقداری از آن در تله‌های رسوب‌گیر موجود در سطح حوزه آبخیز نهشته شده و بالاخره به یک ایستگاه اندازه‌گیری رسوب برسد (فیض‌نیا، 1387). در اغلب رودخانه‌های طبیعی، بخش اعظم رسوبات به صورت بار معلق انتقال می‌یابد (بایزیدی و همکاران، 1384). رسوب معلق به رسوبی اطلاق می‌شود که درون آب و بالاتر از لایه بستر در حرکت و به‌دلیل وزن کم، توسط جریان آب به راحتی حمل شده و به واسطه مؤلفه‌های رو به بالای جریان‌های متلاطم برای مدت زمان قابل ملاحظه‌ای به حالت معلق باقی می‌ماند (میرزایی و همکاران، 1384؛ احمدی و همکاران، 1387).

1-3 اهمیت بررسی و اندازه‌گیری فرسایش و تولید رسوب

لازمه هرگونه برنامه‌ریزی در سامانه حوزه آبخیز در راستای توسعه پایدار، شناخت رفتار سیستم و تجزیه و تحلیل کمی و کیفی فرآیندها و روابط متقابل اجزای سیستم می‌باشد. ارزیابی رفتار هیدرولوژی و بررسی فرسایش خاک به عنوان یک بحران زیست‌محیطی در جهت حفظ امنیت اکولوژیکی حوزه آبخیز در سطح مطلوب ضرورت دارد.

فرسایش و تولید رسوب، تابع عوامل پیچیده‌ای است که با هدررفت بخش حاصل‌خیز خاک، کاهش کیفیت آب‌های سطحی و انتقال موادمغذی و رسوب در دریاچه‌ها، مصب و سواحل رودخانه منجر به کاهش باروری خاک و در نهایت مشکلات اقتصادی می‌شود (رزنموند[1] و همکاران، 2005).

اثرات محلی فرسایش به صورت کوتاه‌مدت شامل کاهش کمی و کیفی زیست‌توده و اثرات غیرمحلی فرسایش، شامل کاهش کیفیت آب و هوا به علت حمل مواد رسوبی به صورت معلق و محلول، انتشار ذرات ریز و گازهای سمی (انیدرید کربنیک، متان، نیتروژن دی‌اکسید و نیتروژن اکسید حاصل از احتراق) از خاک و رسوب به جو و تشدید اثرات گلخانه‌ای می‌باشد. نتیجه اثرات محلی فرسایش، اثرات غیرمحلی تولید رسوب می‌باشد. این اثرات را می‌توان به دو دسته اثرات درون رودخانه‌ای و خارج رودخانه‌ای تقسیم کرد (والینگ و کولینز[2]، 2000). از اثرات درون رودخانه‌ای می‌توان به رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها و مخازن سدها و در نتیجه کاهش ظرفیت حمل رودخانه‌ها و عمر مفید سدها، آلودگی‌های ناشی از رسوبات که باعث کاهش کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب می‌شود و تخریب کیفیت زیستگاه‌ها اشاره نمود. از جمله اثرات خارج رودخانه‌ای می‌توان به افزایش هزینه‌های تصفیه آب، مشکلات استفاده‌های صنعتی از آب به دلیل سایش توربین‌های آبی و کاهش کارایی خنک‌کنندگی آب و رسوب‌گذاری در زمین‌های آبیاری شده اشاره کرد (فیض‌نیا، 1387).

تعیین مقادیر مختلف فرسایش خاک برای مناطق مختلف و ارائه حدود غیرقابل اعتماد، نشان‌گر استفاده از شیوه‌های نامناسب اندازه‌گیری فرسایش بوده که ضرورت آگاهی از آن‌ها و به تبع آن شیوه‌های مناسب و کارا در این زمینه، به‌خصوص در داخل کشور را ایجاب می‌نماید. از طرفی کمی کردن فرسایش خاک، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های اساسی در مدیریت و حفاظت خاک و طبعا مطالعات منابع طبیعی و طرح‌های محیط‌زیست می‌باشد (صادقی، 1389). این ارزیابی‌ها برای گسترش سیاست‌ها و برنامه‌های کلی و مقایسه آثار سیاست‌های کلی اعمال شده در طول زمان به‌کار می‌رود (صادقی و همکاران، 1383). بر اساس برآوردهای فائو (1980) بیش از 56 میلیون هکتار از اراضی ایران در نتیجه فعالیت‌های انسانی در معرض فرسایش آبی بالاتر از 10 تن در هکتار در سال می‌باشند (فیض‌نیا، 1387).

[1] Rosenmund

[2] Walling and Collins

4-1 اهمیت استفاده از مدل‌های ارزیابی فرسایش خاک

هدف از شبیه‌سازی و ارزیابی فرسایش خاک، کاهش و کنترل بهتر فرسایش و فرآیندهای بیابان‌زایی، استفاده مناسب از اراضی، استفاده بهینه از منابع سرزمین و بهبود شرایط زندگی و امنیت غذایی می‌باشد (انگلیش[1] و همکاران، 2000). به منظور ارزیابی و پیش‌بینی فرآیندهای هیدرولوژیک و فرسایش خاک با ماهیت پیچیده، اثرات تغییر فرآیندها بر روی رفتار غیرخطی سیستم آبخیز در گذشته و آینده و تبیین تدابیر حفاظت خاک، در کنار استفاده از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری، استفاده از روش‌های غیرمستقیم از جمله شبیه‌سازی فرآیندهای سیستم آبخیز ضرورت دارد.

دامنه گسترده‌ای از مدل‌ها با هدف شبیه‌سازی در فرسایش، انتقال رسوب و آلاینده‌های همراه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل‌ها بر حسب پیچیده بودن، فرآیندها و داده‌های مورد نیاز برای واسنجی و کاربرد مدل با یکدیگر تفاوت دارند. مدل‌های فرسایش در برنامه‌ریزی حفاظت و فرسایش خاک و طراحی پروژه، ابزار پیش‌بینی قلمداد شده و فرآیندهای فرسایش، زمان و میزان فرسایش محتمل در نواحی مستعد را نشان می‌دهند (چملوف و ساراپاکا[2]، 2002؛ زینی‌وند، 2009).

انتخاب بهترین مدل، به هدف برنامه‌ریزی شده و خصوصیات حوزه بستگی دارد. سایر فاکتورهای مؤثر در انتخاب مدل شامل داده‌های مورد نیاز مدل (تغییرات مکانی و زمانی ورودی‌ها و خروجی‌های مدل)، صحت و اعتبار مدل (فرضیه‌های اصلی)، مؤلفه‌های مدل (نشان دهنده قابلیت مدل)، اهداف کاربران مدل (سهولت استفاده از مدل)، مقیاس و ماهیت خروجی‌های مورد نیاز مدل و ترکیب آنها (نظیر غلظت در مقایسه با رسوب‌گذاری) و نیاز سخت‌افزاری مدل می‌باشد (زینی‌وند، 2009). توسعه تکنولوژی پیش‌بینی فرسایش خاک، به عنوان ابزاری مناسب در اختیار طرفداران حفاظت از منابع طبیعی، کشاورزان و سایر کاربران اراضی، جهت بررسی تأثیر استراتژی‌های مختلف مدیریتی در زمینه فرسایش خاک، تولید رسوب و تدبیر بهره‌برداری بهینه از اراضی، ضروری به نظر می‌رسد (فلاناگان[3] و همکاران، 1995).

[1] Englisch
[2] Chmelova and Sarapatka
[3] Flanagan

5-1 سامانه اطلاعات جغرافیایی[1] و مدل‌های ارزیابی فرسایش خاک

در سال‌های اخیر، سامانه اطلاعات جغرافیایی در مدل‌سازی هیدرولوژیک- توزیعی مکانی کاربرد و جایگاه خاصی پیدا نموده است. با استفاده از این سامانه، با وجود لایه‌های اطلاعاتی و ایجاد ارتباط بین اجزای سیستم امکان پردازش تحلیلی مجموعه اطلاعات و انتقال دقیق و سریع آنها فراهم می‌شود. این ابزار با اعمال ورودی‌های مدل و ذخیره خروجی آنها به منظور تجزیه و تحلیل و ارائه، مکمل مدل‌های هیدرولوژیک و هیدرولیکی محسوب می‌شود (ویوکس[2]، 1991). با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های توزیعی تولید رسوب، مناطق آسیب‌پذیر جهت اولویت‌بندی در سیستم‌های برنامه‌ریزی و تدابیر حفاظت خاک شناسایی می‌شوند (شرما[3]، 2005).

6-1 بیان مسأله

آبخیز طالقان با توجه به اینکه 2/3 درصد از مساحت سد سفیدرود را شامل می‌گردد ولی از نظر فرسایش خاک و تولید رسوب در رتبه بالاتری نسبت به سایر حوزه‌های این سد قرار دارد. از طرفی سد طالقان نیز از این خطر جدی تهدید می‌گردد که نیاز به شناخت عوامل فرسایش و تولید رسوب و مقابله با آن باید در اولویت قرار گیرد (دانشگاه تهران، 1372). این حوزه از زیرحوزه‌های مهم و از نظر دینامیکی بسیار فعال آبخیز سفیدرود به شمار می‌رود که در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز در بخش شمال شرقی استان البرز واقع شده است که از شمال به حوزه آبخیز الموت، از جنوب به زیاران و صمغ آباد و از شرق به بخشی از حوزه آبخیز کرج و از غرب به حوزه آبخیز شاهرود محدود می‌گردد (وهابی، 1384). حوزه مزبور بین ''48 '20 °36 و ''23 '5 °36 عرض شمالی و ''35 '39 °50 و ''7 '11 °51 طول شرقی واقع گردیده و از حوزه‌های کوهستانی می‌باشد. متوسط بارندگی حوزه 591 میلی‌متر در سال می‌باشد. از مشخصات این حوزه با مساحت 809 کیلومترمربع (تا ایستگاه هیدرومتری گلینک)، ارتفاع زیاد و شیب تند می‌باشد، به طوری که ارتفاع متوسط آن معادل 2750 متر و حداکثر ارتفاع آن 4362 متر است. حساسیت خاص اکوسیستم‌های کوهستانی در به هم خوردن تعادل طبیعی،

[1] Geographic Information System
[2] Vieux
[3] Sharma

پتانسیل لازم را در ایجاد پدیده‌هایی همچون فرسایش و رسوب و تخریب پوشش گیاهی فراهم می‌کند (سردشتی، 1383).

7-1 فرسایش در آبخیز طالقان

فرسایش در آبخیز طالقان از نوع ورقه‌ای، شیاری، آبراهه‌ای و در نهایت به فرسایش خندقی ختم می‌گردد. فرسایش توده‌ای نیز به وفور در سازندهای میوسن (نئوژن) و عموما در طالقان میانی قابل مشاهده است. با توجه به سیمای ژئومورفولوژی و فرسایشی حوزه، عوامل انسانی تخریب و روابط نامناسب انسان با محیط نیز باعث تشدید فرسایش‌های مختلف در حوزه می‌گردد (گرشاسبی، 1381).

احداث سد طالقان در محل سنگبان که 95000 هکتار از حوزه طالقان را در بر می‌گیرد، اهمیت مطالعات آبخیزداری و فرسایش خاک را در این حوزه دو چندان نموده است. مطالعات مذکور از سال 1368 تا سال 1372 به‌نام طرح جامع مطالعات آبخیزداری سد طالقان توسط گروه مهندسی آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران به انجام رسیده است. در پایین‌دست سد طالقان سالانه 298503 تن معادل 199002 مترمکعب رسوب به سد سفیدرود منتقل می‌گردد که نیاز به اجرای طرح‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب در اولویت می‌باشد (دانشگاه تهران، 1372).

با توجه به موارد اشاره شده و لزوم بررسی فرآیند فرسایش و رسوب و استفاده از رویکردهای دقیق‌تر با پاسخ نزدیک‌تر به واقعیت آبخیز، در این تحقیق سعی بر این است که با استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیعی- مکانی WetSpa[1]، رسوب‌گراف آبخیز طالقان (بخش سراب و میانی) را شبیه‌سازی نموده تا از این طریق به میزان کارایی مدل جهت پیش‌بینی فرسایش و رسوب و ارائه روشی برای برآورد مقدار کمی فرسایش و رسوب تولید شده پی ببریم. مدل WetSpa قادر است با استفاده از مجموعه ای از روابط فیزیکی و تجربی کلیه فرآیندهای هیدرولوژیک و پیش‌بینی سیل را در حوزه های آبخیز شبیه‌سازی نماید و در بسیاری از کشورها به‌کار برده شده است (در بخش سابقه تحقیق به برخی از آنها اشاره خواهد شد). علاوه بر این، با استفاده از ماژول شبیه‌سازی فرسایش و انتقال رسوب مدل WetSpa، فرسایش خاک ناشی از برخورد قطرات باران و برگاب، فرسایش ناشی از نیروی برشی رواناب سطحی ایجاد شده در هر نقطه و در آبراهه‌ها، همچنین رسوب انتقالی توسط

[1] Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere