نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی
جلد اول، شماره چهارم، ۱۳۹۱
http://ejang.gau.ac.ir

مقایسه روش‌های شبیه‌سازی هدر رفت خاک و تولید رسوب در مدل‌های SWAT و WetSpa

*حسین اکبری مجدر[۱] و عبدالرضا بهره‌مند[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

[۲]دانشیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۶

چکیده

در زمینه مطالعات فرسایش و رسوب دامنه وسیعی از مدل‌ها وجود دارد که بر اساس درجه پیچیدگی، فرآیندهای قابل شبیه‌سازی و ماهیت دارای تنوع هستند. مدل‌های SWAT و WetSpa دو مدل با ماهیت هیدرولوژیکی و با قابلیت شبیه‌سازی فرسایش و رسوب هستند که هماهنگی آنها با محیط GIS بر کارایی آنها افزوده است. مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیکی زمان پیوسته، نیمه فیزیکی و نیمه توزیعی است که کوچکترین واحد کاری در آن واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی می‌باشد و فرآیندهای متعدد هیدرولوژیکی برای هر یک از این واحدها شبیه‌سازی می‌شود. مدل WetSpa یک مدل هیدرولوژیکی زمان پیوسته فیزیکی و توزیعی است که می‌تواند فرآیندهای هیدرولوژیکی را برای پیکسل‌های با اندازه یک متر مربع شبیه‌سازی کند. در این مدل برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از روابط فیزیکی انجام می‌شود ولی در مدل SWAT از روابط مدل جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (MUSLE) استفاده می‌شود. نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM)، کاربری اراضی و خاک‌شناسی و داده‌های هواشناسی به عنوان ورودی‌های اصلی در هر دو مدل به شمار می‌روند. در این بررسی روش‌های شبیه‌سازی فرسایش و رسوب در هر دو مدل بیان شده و مقایسه اجمالی بین آنها صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: فرسایش و رسوب، مدل، SWAT، WetSpa

*مسئول مکاتبه:akbary87@gmail.com

مقدمه

تحلیل سیستم‌های مربوط به چرخه آب در مدیریت حوزه‌ی آبخیز برای دست‌یابی به اهداف مدیریتی جایگاه مهمی دارد و مدل‌سازی یک ابزار مهم و کارآمد برای تحلیل سیستم‌ها است که در فرآیند شبیه‌سازی بارش و رواناب نیز می‌توان از آن استفاده کرد. در این زمینه عموماً مدل‌ها به‌صورت ریاضی بیان می‌شوند. در مدل‌های ریاضی ویژگی‌های یک سیستم به وسیله یک سری معادلات ریاضی نشان داده می‌شود. این مدل‌ها می‌توانند تصادفی و یا قطعی باشند. در مدلهای تصادفی بر اساس تئوری‌های علم آمار و احتمالات، روابط بین پدیده‌های مختلف شبیه‌سازی می‌شود. ولی در گروه دوم، روابط بین متغیرها و متغیرهای موثر در وقوع یک رویداد با استفاده از یک سری روابط تجربی، نظری و یا فیزیکی بیان می‌شود. برخی این مدل‌ها را پارامتریک نیز می‌نامند. چرا که پاسخ مدل در هر زمان با توجه به ورودی مشخصی که به آن وارد شود، تعیین می‌گردد. مدل‌های قطعی ممکن است تجربی (تهیه شده در طی یک سری آزمونهای انجام شده در مناطقی مشخص و برقراری روابط بین شرایط این آزمونها و نتایج آنها) و یا فیزیکی (تهیه شده بر اساس روابط فیزیکی موجود در ماهیت یک سیستم) باشند. مدل‌های فیزیکی نیز خود می‌توانند بر اساس مقیاس مکانی آن گرده‌ای و یا توزیعی باشند (نجفی، ۲۰۰۲).

مدل SWAT[1] یک شبیه‌ساز هیدرولوژیکی یک مدل زمان پیوسته و نیمه توزیعی مکانی با پایه فیزیکی است که توسط جف آرنولد[2] در سال ۱۹۹۹ برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه شده و از آن زمان بطور پیوسته در حال توسعه بوده است. در این مدل تنوع مکانی منطقه ابتدا با تقسیم آبخیز به زیرحوزه‌ها، و سپس تقسیم زیرحوزه‌ها به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی[3]، بر اساس نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و نقشه طبقات شیب، بیان شده و شبیه‌سازی فرآیند بارش و رواناب برای هر یک از این واحدها به صورت جداگانه انجام می‌شود (شول و عباسپور[4]، ۲۰۰۷).

مدل هیدرولوژیکی WetSpa یک مدل زمان پیوسته و توزیعی مکانی با پایه فیزیکی است که قابلیت شبیه سازی فرسایش و انتقال رسوب نیز در آن توسعه داده شده است. این مدل اولین بار توسط وانگ و همکاران (۱۹۹۶)، ابداع و سپس توسط دی اسمیت و همکاران (۲۰۰۰) و لیو و

1- Soil and Water Assessment Tool
2- Jeff Arnold
3- Hydrologic Response Units (HRU)
4- Schuol and Abbaspour

همکاران (۲۰۰۳)، توسعه پیدا کرده است. در این مدل برای هر شبکه سلولی چهار لایه در جهت عمودی در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از لایه‌های تاج پوشش، زون ریشه، زون انتقال و زون اشباع. فرآیندهای هیدرولوژیکی مدل هم عبارتند از بارش، ذوب برف، ذخیره برگابی، ذخیره چالابی، رواناب سطحی، نفوذپذیری، تبخیر و تعرق، نفوذ عمقی، جریان زیرسطحی، جریان آب زیرزمینی و بیلان آب (بهره‌مند و همکاران، ۲۰۰۹). نسخه‌های ابتدایی این مدل فقط برای شبیه‌سازی رواناب طراحی شده بود که بر پایه همین مدل، در یک نسخه نرم‌افزاری جداگانه مدل شبیه‌سازی فرسایش و رسوب آن نیز طراحی شد (زینیوند، ۲۰۰۹).

در این بررسی سعی می‌شود روش‌های برآورد فرسایش و رسوب در مدل‌های SWAT و WetSpa توضیح داده شده و در مورد مزایا و کاستی‌های هر یک بحث شود.

مواد و روش‌ها

الف- هدر رفت خاک در مدل SWAT: در مدل SWAT شبیه سازی فرسایش در پایه زمانی روزانه قابل انجام است و تاثیر پوشش برف بر فرسایش، تاخیر انتقال رسوب در سطح و رسوب در جریان جانبی و آب زیرزمینی نیز محاسبه می‌شود. برآورد فرسایش در این مدل با استفاده از روش معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (MUSLE) انجام می‌شود که رابطه آن به قرار زیر است:

رابطه (۱) $$SED = 11.8(Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{HRU})^{0.56} \cdot K \cdot C \cdot P \cdot LS \cdot CFRG$$

پارامتر Q ارتفاع رواناب سطحی به میلی‌متر، q_{peak} دبی اوج رواناب به مترمکعب در ثانیه، area مساحت هر HRU به هکتار، K فرسایش پذیری خاک، C پوشش و مدیریت، LS توپوگرافی، P اقدامات حفاظتی و CFRG فاکتور قطعات درشت در خاک است (نیتش[1] و همکاران، ۲۰۰۵).

تاثیر پوشش برف: زمانی که در سطح زمین پوشش برف وجود داشته باشد انرژی فرسایش باران یا رواناب کاهش خواهد یافت. زمانی که در سطح زمین پوشش برف وجود داشته باشد SWAT مقدار فرسایش را با رابطه ۲ اصلاح می‌کند که در آن sed رسوب تولید شده در روز موردنظر، sed' رسوب محاسبه شده با MUSLE و SNO آب موجود در برف است.

رابطه (۲) $$Sed = \frac{sed'}{\exp\{\frac{3.SNO}{25.4}\}}$$

1- Neitsch

تاخیر انتقال رسوب در سطح: در حوزه‌های بزرگ با زمان تمرکز بیشتر از یک روز، فقط آن بخش از رواناب که در آن روز به خروجی می‌رسند در تولید رسوب آن روز نقش خواهند داشت. زمانی که بار رسوب محاسبه می شود، مقدار رسوب تخلیه شده به کانال با رابطه ۳ حساب می‌شود و در آن sed مقدار رسوب تخلیه شده به کانال اصلی در روز موردنظر، sed_{HRU} مقدار رسوب تولید شده در HRU در روز موردنظر، $sed_{stor,i-1}$ مقدار رسوب ذخیره شده یا تاخیری از روز قبل، surlag ضریب تاخیر رواناب سطحی و t_{conc} زمان تمرکز برای HRU می‌باشد.

$$Sed = \left(sed_{HRU} + sed_{stor,i-1}\right).\left(1 - \exp\left(\frac{-surlag}{t_{conc}}\right)\right)$$ رابطه (۳)

رسوب در جریان جانبی و آب زیر زمینی: در مدل SWAT جریان جانبی و جریان زیرزمینی نیز در انتقال رسوب به کانال اصلی مشارکت داده می‌شوند. مقدار آن با رابطه (٤) محاسبه می‌شود که در آن sed_{lat} مقدار رسوب در جریان جانبی و آب زیرزمینی، Q_{lat} مقدار آب در جریان جانبی، Q_{gw} مقدار آب زیرزمینی و $conc_{sed}$ غلظت رسوب در جریان جانبی و آب زیرزمینی است.

$$Sed = \frac{(Q_{lat}+Q_{gw}).area_{HRU}.conc_{sed}'}{1000}$$ رابطه (٤)

روندیابی در کانال: مقدار فرسایش برآورد شده در هر HRU پس از برآورد، از طریق آبراهه اصلی هر زیرحوزه به خروجی آن و زیرحوزه بعدی و در نهایت به خارج از آبخیز منتقل می‌شود. انتقال رسوب در شبکه کانال تابعی از دو فرآیند ته نشست و تخریب رسوب می‌باشد که بصورت همزمان بررسی می‌شود. مدل SWAT کنش از کف و عریض شدن کانال را شبیه‌سازی کرده و ابعاد کانال را برای تمامی شبیه‌سازی به روز می‌کند. حداکثر مقدار رسوب که می‌تواند از یک بازه کانال منتقل شود تابعی از سرعت بیشینه در کانال است. مقدار رسوب خارج شده از کانال بر اساس تغییرات حجم رواناب و مقدار رسوب معلق در هر بازه از طریق رابطه ۵ محاسبه می‌شود. در این رابطه sed_{out} مقدار رسوب خارج شده از کانال (تن متریک)، sed_{ch} مقدار رسوب معلق (تن متریک)، V_{out} حجم آب خارج شده در طی پایه زمانی (m^3) و V_{ch} حجم آب در بازه مورد نظر (m^3) می‌باشد (نیتش و همکاران، ۲۰۰۵)

$$sed_{out} = sed_{ch}.(V_{out}/V_{ch})$$ رابطه (۵)

فرسایش در داخل کانال نیز شبیه‌سازی می‌شود و فاکتور فرسایش پذیری کانال بطور مفهومی مشابه فاکتور فرسایش پذیری خاک در معادله USLE است. فرسایش پذیری خاک کانال تابعی از خصوصیات مواد بستر و کناره‌های کانال است. پوشش گیاهی از طریق کاهش سرعت جریان و متعاقب آن کاهش فرسایش در نزدیکی سطح بستر، فرسایش را تحت تاثیر قرار می‌دهد. فاکتور پوشش کانال بصورت نسبت فرسایش از کانال با پوشش گیاهی مشخص به فرسایش از یک کانال بدون پوشش گیاهی تعریف می‌شود. زمانی که محاسبه انتقال رسوب در ابعاد استفاده شده برای همه شبیه‌سازی‌ها صورت گرفت، SWAT کف کنی و تعریض کانال را شبیه‌سازی خواهد کرد. وقتی این موارد شبیه سازی شد، در طی دوره شبیه‌سازی اجازه تغییر به ابعاد کانال داده می‌شود. در این مرحله سه بعد کانال شامل عمق کانال، عرض کانال، و شیب کانال قابل تغییر است. متغیرهای فرآیند فرسایش و رسوب در کانال در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند (نیتش و همکاران، ۲۰۰۵).

مقدار کف کنی در کانال با استفاده از رابطه ٦ بصورت زیر محاسبه می‌شود که در آن $depth_{dcut}$ مقدار کنش کف بستر، k_{ch} ضریب فرسایش پذیری کانال و slp_{ch} شیب کف کانال می‌باشد (نیتش و همکاران، ۲۰۰۵).

$$depth_{dcut} = 358.6 \cdot depth \cdot slp_{ch} \cdot k_{ch}$$ رابطه (٦)

عمق جدید کانال با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود که در آن $depth_{bnkfull}$ عمق جدید کانال، $depth_{bakfull.i}$ عمق قبلی کانال و $depth_{dcut}$ مقدار کنش کف بستر می‌باشد (نیتش و همکاران، ۲۰۰۵).

$$depth_{bnkfull} = depth_{bnkfull.i} + depth_{dcut}$$ رابطه (۷)

رابطه ۸ برای محاسبه عرض جدید کانال استفاده می‌شود که در آن $W_{bnkfull}$ عرض جدید کانال و $ratio_{WD}$ نسبت عرض به عمق کانال می‌باشد (نیتش و همکاران، ۲۰۰۵).

$$W_{bnkfull} = ratio_{WD} \cdot depth_{bnkfull}$$ رابطه (۸)

با استفاده از رابطه ۹ شیب جدید کانال محاسبه می‌شود که در آن slp_{ch} شیب جدید کانال، $slp_{ch.i}$ شیب کانال قبلی، L_{ch} طول کانال (km) و $depth_{dcut}$ مقدار کنش کف می‌باشد (نیتش و همکاران، ۲۰۰۵).

$$slp_{ch} = slp_{ch.i} - (depth_{dcut} / 1000.L_{ch})$$ رابطه (۹)

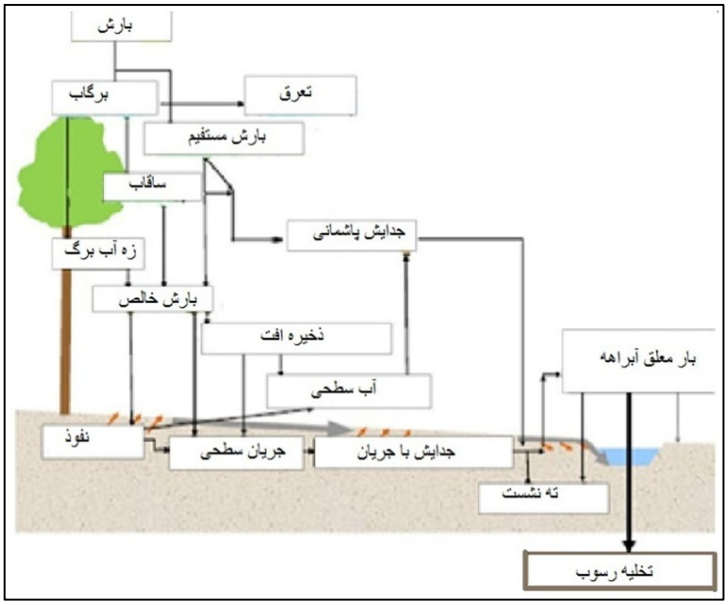
جدول ۱- متغیرهای مربوط به روندیابی رسوب در مدل SWAT

فایل ورودی	تعریف	نام متغیر
.bsn	فاکتور تطبیق سرعت بیشینه	PRF
.bsn	ضریبی در معادله انتقال رسوب	SPCON
.bsn	توان در معادله انتقال رسوب	SPEXP
.rte	فاکتور پوشش کانال	CH_COV
.rte	فاکتور فرسایش‌پذیری کانال (cm/h/Pa)	CH_EROD

جدول ۲- متغیرهای مربوط به کف کنی و تعریض کانال در مدل SWAT

فایل ورودی	تعریف	نام متغیر
.bsn	کد تخریب کانال	IDEG
.rte	نسبت عرض به عمق کانال	CH_WDR

ب- هدر رفت خاک در مدل WetSpa: جدایی خاک در اثر ضربات قطرات باران بر اساس رابطه بین جدایی خاک و انرژی جنبشی قطره باران محاسبه می‌شود. محاسبه جدا شدن اجزای خاک توسط جریان رواناب، بر اساس تنش برشی واقعی و بحرانی صورت می‌گیرد. روندیابی آب و رسوب در سطح زمین در طول مسیر تعیین شده، بر اساس توپوگرافی، زمان انتقال و سرعت جریان مشخص شده با روابط فیزیکی انجام می‌شود (رابطه ۱۳). این مدل به غیر از مشاهدات رسوب برای واسنجی مدل، هیچ رابطه‌ای را علاوه‌بر رابطه‌های مدل رواناب WetSpa استفاده نمی‌کند. این مدل علاوه بر محاسبه غلظت رسوبات معلق، می‌تواند تغییرات بار رسوب در زمان را هم ارائه دهد. فرآیندهای در نظر گرفته شده برای فرسایش و انتقال رسوب در شکل ۱ نشان داده شده است (زینیوند، ۲۰۰۹).



شکل ۱- فرآیند در نظر گرفته شده برای هدررفت خاک در مدل WetSpa (زینیوند، ۲۰۰۹)

برگاب: بارانی که به روی تاج پوشش افتاده و به صورت برگاب نگه داشته نمی‌شود، به عنوان بارش بین شاخه‌ای از برگاب متمایز می‌شود. و به دو بخش ساقاب و زه‌آب برگ (LD) تقسیم می‌گردد. مقدار ساقاب به صورت تابعی از میانگین زاویه ساقه با سطح زمین بوده و از معادله‌های ۱۰ و ۱۱، که حاصل مطالعات آزمایشگاهی ون الهویجک[1] (a,b ۱۹۸۹) است، محاسبه می‌شود. مقدار بارش خالص در سطح زمین از جمع بارش میان شاخه‌ای، ساقاب، و زه‌آب برگ بدست می‌آید. در این رابطه TIF میان‌بارشی است که موقتاً به صورت برگاب در آمده و SF ساقاب می‌باشد (زینیوند، ۲۰۰۹).

$SF = ½\ TIF\ \cos\alpha(\sin\alpha)^2$ برای گراس‌ها رابطه (۱۰)

$SF = ½\ TIF\ \cos\alpha$ برای سایر گیاهان رابطه (۱۱)

$LD = TIF - SF$ رابطه (۱۲)

جدایی خاک در اثر ضربه‌های قطرات باران: مدل‌سازی این بخش بر اساس ارتباط بین جدایی خاک و انرژی جنبشی باران حساب می‌شود رابطه ۱۳. انرژی جنبشی بارانی که به سطح زمین می‌رسد به‌صورت ذیل محاسبه می‌گردد. در این رابطه DR نرخ جدایی ذرات از خاک در اثر باران ($gm^{-2}s^{-1}$)،

1- Van Elewijck

K شاخص جدایش پذیری خاک (gJ^{-1})، Zs پارامتری بر اساس بافت خاک بین ۰/۹ و ۳/۱ و h میانگین عمق لایه آب سطحی می‌باشد (زینیوند، ۲۰۰۹).

$$DR = K(Ker + Kel)\exp(-Zs\,h)$$ رابطه (۱۳)

جدایی خاک با جریان سطحی: جریان سطحی اجزای خاک را با اعمال تنش برشی که باعث شکستن باندهای درون اجزای خاک می‌شود انجام می‌دهد که با رابطه ١٤ محاسبه می‌شود. در این رابطه DF نرخ جدایی اجزای خاک ($gm^{-2}s^{-1}$)، Kf فرسایندگی جریان سطحی، T تنش برشی ($\rho gh\,S$)، Tc تنش بحرانی (محاسبه با دیاگرام اصلاح شده shield)، ρ چگالی (kgm^{-3}) و g شتاب گرانشی می‌باشد (زینیوند، ۲۰۰۹).

$$DF = KF\,MAX\left(0, \frac{T}{T_c} - 1\right)$$ رابطه (١٤)

معادله پایه برای انتقال رسوب و بارگذاری: انتقال رسوب در آبراهه با استفاده از رابطه موج سینماتیک و انرژی جنبشی یک بعدی برای نشست (رابطه ۱۵)، قابل برآورد است. انتقال محلول در طول آبراهه و در یک بعد با استفاده از معادله دیفرانسیل جرئی به صورت ذیل محاسبه می‌شود که در آن، c غلظت رسوب (gm^{-3})، V(x) سرعت انتقال (ms^{-1})، x فاصله در طول مسیر جریان (m)، D(x) ضریب پراکندگی وابسته به عرض جغرافیایی(ms^{-1}) و λ(x) ضریب نشست (s^{-1}) می‌باشد (زینیوند، ۲۰۰۹).

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = D(X)\frac{\Delta^2 C}{\Delta X^2}\,V(X)\frac{\Delta C}{\Delta X} - \lambda(x)C$$ رابطه (۱۵)

این رابطه فرآیندهای پهن‌رفت[1]، پراکندگی، و نشست را با هم تلفیق کرده تا سرانجام انتقال مواد معلق در آبراهه را شرح دهد. پراکندگی در آب در اثر چندین فرآیند رخ می‌دهد. برای راحتی محاسبات متغیر مستقل c می‌تواند با ضرب شدن در دبی آب، تبدیل به نرخ انتقال رسوب گردد (رابطه ١٦). در این رابطه q_c نرخ انتقال رسوب (gs^{-1}) می‌باشد (زینیوند، ۲۰۰۹).

$$\frac{\Delta q_c}{\Delta t} = D(X)\frac{\Delta^2 q_c}{\Delta X^2}\,V(X)\frac{\Delta q_c}{\Delta X} - \lambda(x)q_c$$ رابطه (١٦)

دبی کل انتقال در خروجی آبخیز با جمع کردن خروجی همه سلول‌ها محاسبه می‌شود. بارگذاری را می‌توان به صورت رابطه ۱۷ محاسبه کرد. در این رابطه $Q_{sh}(t)$ مقدار رسوب خارج شده از آبخیز

1- Advection

(gs^{-1})، (X,t) مقدار بارگذاری رسوب در هر نقطه مشخص از آبخیز $(gm^{-2}s^{-1})$ و A مساحت منطقه (m^2) می‌باشد (زینیوند، ۲۰۰۹).

$$Q_{sh}(t) = \int_A \int_0^t L(X,T')U(x,t-t')dt'dA$$ رابطه (۱۷)

پارامترهای جهانی: در مدل WetSpa برای شبیه‌سازی دبی جریان از ۸ متغیر (در استفاده از روش درجه روز برای ذوب برف) و یا ۱۱ متغیر (در استفاده از روش بیلان انرژی برای ذوب برف) استفاده می‌شود. برای شبیه‌سازی فرسایش و انتقال رسوب دو متغیر دیگر شامل فرسایش پذیری خاک (K) و فرسایندگی جریان سطحی (K_f) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک نمای کلی از تمام متغیرها در جدول ۳ آورده شده است (زینیوند، ۲۰۰۹).

جدول ۳- متغیرهای مورد استفاده در مدل WetSpa

شماره	نماد	متغیر	روش درجه روز	رویکرد بیلان انرژی
۱	K_i	فاکتور جریان جانبی (-)	*	*
۲	K_g	ضریب کاهش آب زیرزمینی (d^{-1})	*	*
۳	K_{ss}	رطوبت اولیه خاک (mm)	*	*
٤	K_{ep}	فاکتور تصحیح برای پتانسیل تبخیر و تعرق (-)	*	*
٥	G_0	ذخیره آب زیرزمینی فعال اولیه (mm)	*	*
٦	G_{max}	بیشینه ذخیره آب زیرزمینی فعال (mm)	*	*
۷	K_{run}	نمای رطوبت یا رواناب سطحی (-)	*	*
۸	P_{max}	بیشینه شدت بارش (mm)	*	*
۹	T_0	دمای آستانه ذوب(^0C)	*	-
۱۰	K_{snow}	فاکتور نرخ ذوب $(m^0C^{-1}D^{-1})$	*	-
۱۱	K_{rain}	فاکتور نرخ ذوب برای باران $(C^{-1}D^{-1})$	*	-
۱۲	K	قابلیت جدایش خاک (J^{g-1})	*	*
۱۳	K_f	فرسایندگی جریان سطحی $(gm^{-2}s^{-1})$	*	*

به‌منظور ارزیابی نتایج شبیه‌سازی باید فایل داده‌های مشاهداتی غلظت رسوب (sed.txt) مانند فایل داده‌های مشاهداتی دبی جریان در قالب فایل متنی در پوشه ورودی مدل قرار گیرد (زینیوند، ۲۰۰۹).

بر اساس مطالب بیان شده، برخی از ویژگی‌های مهم مدل‌های SWAT و WetSpa به‌صورت مقایسه‌ای در جدول ٤ نشان داده شده است.

جدول ٤- مقایسه کلی برخی از ویژگی‌های مدل‌های SWAT و WetSpa

ویژگی‌ها	SWAT	WetSpa
روش شبیه‌سازی رواناب	روش شماره منحنی و روش گرین - امپت[1]	روش ضریب رواناب اصلاح شده
روش شبیه‌سازی هدر رفت خاک	مدل MUSLE	روابط فیزیکی
مقیاس زمانی شبیه‌سازی	پیوسته (سالانه، ماهانه، روزانه)	پیوسته (سالانه، ماهانه، روزانه، ساعتی)
مقیاس مکانی شبیه‌سازی	نیمه توزیعی (در واحدهای HRU)	توزیعی (پیکسل‌های یک متر در یک متر)
روش روندیابی کانال	روش ذخیره متغیر[2] و روش ماسکینگام	روش تخمین موج پخشی خطی[3]
نقشه‌های پایه مورد نیاز	DEM، کاربری اراضی و خاک‌شناسی	DEM، کاربری اراضی و خاک‌شناسی
تعداد متغیرهای مورد نیاز	بیش از ۱۰۰ متغیر	۱۳ متغیر
فرآیندهای مورد شبیه‌سازی	رواناب، فرسایش و رسوب، کیفیت آب، تولید زیست توده و اثرات اقدامات مدیریتی	رواناب و فرسایش و رسوب
متوسط زمان واسنجی مدل	چندین روز	کمتر از یک روز

1- Green - Ampt
2- Variable storage method
3- Linear diffusive wave approximation method

بحث و نتیجه‌گیری

در مدل SWAT شبیه سازی فرسایش در هر یک از واحدهای مکانی با استفاده از مدل MUSLE صورت می‌گیرد که یک مدل تجربی است ولی در مدل WetSpa اساس محاسبات، مفهومی و بر پایه روابط فیزیکی استوار است. ولی مدل ج از نظر دخالت دادن جریان جانبی و آب زیرزمینی در فرسایش و رسوب از مدل WetSpa متمایز شده است.

لازم به توضیح است که مدل SWAT فرآیندهای برآورد دبی و رسوب را بطور همزمان انجام داده و نتایج را در کنار هم ارائه می‌دهد، ولی در مدل WetSpa شبیه‌سازی فرسایش و رسوب و دبی جریان در دو محیط نرم‌افزاری جداگانه انجام می‌شود که این مطلب قابلیت بالاتر SWAT را از این نظر نشان می‌دهد.

شبیه‌سازی در مدل SWAT از نظر مکانی به صورت نیمه توزیعی بوده و در واقع کوچکترین واحد کاری آن HRU است، در حالی که مقیاس مکانی در WetSpa کاملاً توزیعی بوده و شبیه‌سازی برای هر پیکسل با اندازه دلخواه تا یک متر در یک متر قابل انجام است. گام‌های زمانی شبیه‌سازی در SWAT به صورت‌های روزانه، ماهانه و یا سالانه امکان پذیر بوده ولی در WetSpa علاوه بر آنها، امکان شبیه‌سازی ساعتی نیز وجود دارد. با وجود اینکه نتایج جزئی‌تر و توزیعی‌تر، شناخت ما از سیستم حوزه آبخیز را بیشتر می‌کند، ولی به داده‌های ورودی دقیق‌تری نیز نیاز خواهد بود و در این بین روش بهینه را هدف تحقیق تعیین خواهد کرد.

مدل SWAT در کنار شبیه‌سازی رواناب و فرسایش و رسوب، به طور همزمان امکان شبیه‌سازی کیفیت آب، تولید زیست توده اراضی و اثرات اقدامات مدیریتی متغیر را نیز دارد، در حالی در مدل WetSpa فقط رواناب و فرسایش و رسوب شبیه‌سازی می‌شود. از نظر موارد استفاده نیز باید گفت که استفاده از مدل SWAT در سطح جهان به مراتب بیشتر از مدل WetSpa می‌باشد که می‌تواند ناشی از قدمت بیشتر و تعدد فرآیندهای مورد شبیه‌سازی در این مدل باشد. ولی با شناخته‌تر شدن مدل WetSpa، استفاده از این مدل نیز به دلیل سهولت بیشتر کار با آن می‌تواند گسترش یابد.

یکی از جنبه‌های مهم در بحث مدل‌ها، تعداد متغیرهای ورودی آنها است که هر چه کمتر باشد کار با مدل آسان‌تر و سریعتر خواهد بود. از این لحاظ مدل SWAT در بخش‌های مختلف خود به بیش از صد متغیر نیاز دارد که به مراتب بیشتر از مدل WetSpa است که حداکثر ۱۳ متغیر نیاز خواهد داشت و البته اینها علاوه بر نقشه‌های اصلی ورودی در هر دو مدل هستند. زیاد بودن تعداد متغیرهای ورودی

می‌تواند شناخت مدل از طبیعت منطقه را افزایش داده و دقت شبیه‌سازی را نیز بالاتر ببرد، ولی تجمع خطاهای مربوط به تعدد پارمترها و فرآیندهای مورد شبیه‌سازی باعث پیچیده‌تر شدن کار خواهد شد و در نتیجه زمان بیشتری برای انجام شبیه‌سازی و واسنجی مدل نیاز خواهد بود که نوسنت و باونتس[1] (۲۰۰۷)، نیز به این مطلب اشاره داشته و بیان کرده‌اند که به دلیل محدود و ساده‌تر بودن محیط کار WetSpa و در مقابل تعدد الگوریتم‌ها و زیاد بودن تعداد متغیرهای مدل SWAT، کار با مدل WetSpa ساده‌تر بوده و انجام شبیه‌سازی که با این مدل چهار ساعت زمان می‌برد، در مدل SWAT چهار روز طول خواهد کشید.

باید به این نکته نیز اشاره کرد که برای ارزیابی نتایج مدل SWAT باید داده‌ها را به محیط نرم‌افزاری دیگری مانند EXCEL انتقال داده و ارزیابی را در آنجا انجام داد، ولی در استفاده از مدل WetSpa ارزیابی نتایج در محیط خود مدل انجام می‌شود.

در مجموع در هر تحقیق نوع مدل را باید با توجه به هدف تحقیق انتخاب کرد و پیشنهاد می‌شود در برنامه‌ریزی‌های کلان و طرح‌های جامع آبخیزداری از مدل SWAT استفاده شود که نسبت به مدل WetSpa دید جامع‌تری نسبت به سیستم آبخیز دارد، ولی در شرایط کمبود داده و زمان، استفاده از مدل WetSpa می‌تواند مفیدتر باشد.

رهیافت‌های ترویجی

شناخت اثرات و پیامدهای انواع تغییرات محیطی و روش‌های مدیریتی نقش اساسی در بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی و حفظ پایداری آن دارد و استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی، روشی مناسب برای رسیدن به این هدف بوده و دامنه شناخت محققین و مدیران را نسبت به مؤلفه‌های مختلف موجود در یک حوزه آبخیز، در ابعاد زمانی و مکانی آن افزایش می‌دهد.

مطالب ارائه شده در این مقاله می‌تواند راهنمای اولیه خوبی برای افراد مرتبط با مطالعات آب و خاک در آشنایی با دو مدل هیدرولوژیکی SWAT و WetSpa باشد. البته در استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی و از آن جمله در شبیه‌سازی هیدرولوژیک لازم است به برخی نکات ضروری توجه شود که به مواردی از آنها ذیلاً اشاره می‌شود:

1- Nossent and Bauwents

- قبل از انجام هر گونه اقدام فیزیکی و یا مدیریتی در یک حوزه آبخیز لازم است اثرات طولانی مدت تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف آن بررسی شده، نسبت به کارایی اقدامات پیشنهادی اطمینان حاصل شود.
- باید حوزه آبخیز به صورت یک سیستم یکپارچه در نظر گرفته شده و اثرات هر یک از اقدامات بر اجزای مختلف آن از قبیل وضعیت آبهای سطحی و زیرزمینی، هدر رفت خاک و کیفیت آب بطور همزمان بررسی شود.
- با توجه به اینکه مدل‌های WetSpa و SWAT برای محیط کشورهای اروپایی و آمریکا تهیه شده‌اند، لازم است این مدل‌ها برای محیط مورد استفاده در ایران واسنجی شده و اصلاحات مناسب در ضرایب پارامترهای آن‌ها اعمال شود.
- دقت یک شبیه‌سازی در کنار روش‌های محاسباتی استفاده شده در مدل، به دقت داده‌های ورودی آن بستگی دارد. بنابراین در استفاده از نتایج شبیه‌سازی‌ها باید بر اساس دقت داده‌های ورودی به نتایج اعتماد کرد و متناسب با آن یک حدود اطمینان کافی در محاسبات اقدامات مدیریتی پیشنهادی در نظر گرفت.

منابع

1.Bahremand, A., Yaghubi, F. and Kabir, A. 2009. Review of WetSpa model, Abstract book of 6th national conference of watershed science and engineering, Tarbiat Modarres University, 256p.

2.De Smedt, F., Liu, Y.B. and Gebremeskel, S., 2000, Hydrological modeling on a catchment scale using GIS and remote sensed land use information, in C.A. Brebbia (ed), Risk Analysis, WTI press II, Boston, pp. 295-304.

3.Najafi, M.R. 2002. Hydrologic systems rainfall-runoff modeling. Tehran Univ. 1059p.

4.Ndomba, P.M. 2007. Modeling of erosion processes and reservoir sedimentation in the pangani river basin, upstream of NYM reservoir. Ph.D thesis, the University of Dares Salaam, Tanzania, 218p.

5.Neitsch, S.L, Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R. 2005. Soil and water assessment tool documentation, (User's manual). 494p.

6.Nossent, J. and Bauwents, W. 2007. Comparing SWAT and WetSpa on the river Grote Leak, Belgium. Abstract book of 4th international SWAT conference, Delft U, Netherland. 9pp.

7.Schuol J., and Abbaspour K.C. 2007. Using monthly weather statistics to generate daily data in a SWAT model application to West Africa, ecological modeling, 9, 28: 301–311.
8.Van Elewijck, L., 1989a. Influence of leaf and branch slope of stemflow amount, Catena, 16:525-533.
9.Wang, Z., Batelaan, O. And De Smedt, F., 1996, A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa), Physics and Chemistry of the Earth, 21, 189-193.
10.Zeinivand H. 2009. Development of spatially distributed hydrological WetSpa modules for snowmelt, Soil erosion, and sediment transport, Ph.D thesis, Faculty of engineering, Vrije Universiteit Brussel, 238p.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Conservation and Utilization of Natural Resources, Vol. 1 (4), 2013
http://ejang.gau.ac.ir

Comparison of erosion and sediment simulation methods in SWAT and WetSpa models

***H. Akbari Mejdar[1] and A. Bahremand[2]**

[1]M.Sc. graduated Watershed management, Gorgan university of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Associate Prof. Dept. of Watershed management, Gorgan university of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2013/01/16 ; Accepted: 2013/03/16

Abstract

There are a wide range of models that are being used in the field of soil loss and sediment yield and they have variety based on the complexity, the processes they can simulate and concept of the models. SWAT and WetSpa are tow hydrologic models and sediment and erosion simulator that their compatibility with GIS has raised their capability. SWAT is a continuous, semi physically based and semi distributed hydrologic model which HRU is its smallest work unit and all several hydrological processes are simulated for each one of it. WetSpa is a continuous, distributed, physically based hydrologic model that simulates hydrologic processes in pixel size of 1m2. This model uses some relations with physical concepts to simulate erosion and sediment, but in SWAT, this process is estimated with the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) model. DEM, land use and soil maps along with weather data are main input parameters of both models. In this study it is attempted to describe the methods for simulation of erosion and sediment in both models and compare their capabilities briefly.

Keywords: Erosion and sediment; Model; SWAT; WetSpa

[*]Corresponding Author; Email: akbary87@gmail.com