بررسي اثرات تغيير كاربري اراضي در رواناب سطحي مدل شبيه‌سازي[۱]

حسين سعادتي[۲] شعبانعلي غلامي[۳] فرود شريفي[٤] سيدعلي ايوب‌زاده[٥]

چكيده

مشكلاتي كه در عصر حاضر در چرخه آب پديد آمده، هزينه‌اي است كه انسان به‌دليل عدم شناخت صحيح اين چرخه پيچيده و نيز نداشتن برنامه‌ريزي در طرح‌ها به لحاظ ارتباط بين مديريت آب و تحولات جوامع، متحمل شده است. اين تحقيق ارتباط نوع كاربري اراضي را با بيلان آبي حوزه‌هاي آبخيز، بررسي مي‌كند. ابزار اين بررسي، مدل رياضي**SWAT** است. اين مدل داراي توان شبيه‌سازي براي شش پديده هيدرولوژيكي و بيولوژيكي شامل دبي روزانه رودخانه، رسوب روزانه، بيلان آبي، كيفيت آب، توليد محصولات زراعي، برآورد توليد پوشش گياهي مرتعي با اعمال مديريت سيستم‌هاي چرايي دام براي حوزه‌هاي فاقد آمار است. دراين تحقيق، شبيه‌سازي دبي روزانه و بيلان آبي در كاربري‌هاي اراضي حوزه آبخيز معرف كسيليان موردنظر مي‌باشد. كاربري‌هاي مورد بررسي شامل مرتع، جنگل، اراضي زراعي و زراعي- مسكوني است. شبيه‌سازي در هر يك از اين كاربري‌ها و در دو دوره زماني صورت گرفته است. اين دوره‌ها شامل واسنجي و اعتبارسنجي مدل است. دوره واسنجي، چهار سال (۱۹۸۱-۱۹۷۸) و دوره اعتبارسنجي، شش سال (۱۹۸٦-۱۹۸۱) بوده است. بعد از عمليات واسنجي، مدل**SWAT**، رواناب را با ٦۹/. =R^2 نسبت به رواناب اندازه‌گيري‌شده شبيه‌سازي كرد. در تحليل كاربري‌هاي اراضي با توجه به قابليت‌هاي مدل **SWAT**، شش گزينه كاربري اراضي براي حوزه معرف كسيليان، با توجه به روند تغييرات كاربري اراضي در دوره‌هاي گذشته، حال و آينده تبيين شد. گزينه‌هاي فرض‌شده در جهت دو گرايش مثبت و منفي قرار دارند. در گرايش مثبت مديريت اراضي در جهت استعداد اصلي منطقه (كاربري جنگل), بررسي شد و گرايش منفي در جهت كاربري‌هاي زراعي، مرتعي و مسكوني فرض شد. مدل **SWAT** در كاربري زراعي با توجه به تغييرات گونه‌ها، دوره‌هاي تناوب زراعي و كود، شاخص‌هاي چرخه هيدرولوژيكي وتوليدات گياهي را شبيه‌سازي كرد.

واژه‌هاي كليدي: *آبخيزداري، ايران، كسيليان، شبيه‌سازي رواناب، مدل **SWAT**.*

۱- تاريخ دريافت: ۸۲/۱۰/۳۰، تاريخ پذيرش: ۸۴/۱/۲۶

۲- مربی آموزشی دانشگاه آزاد اسلامي‌اردبيل **E-mail: saadati55@yahoo.com**

۳- عضو هئيت علمي‌پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري

۴- دانشيار پژوهشي پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري

۵- استاديار دانشگاه تربيت مدرس

مقدمه

از دخالت‌هاي مهم بشر در عرصه‌هاي طبيعي، تغيير كاربري‌هاي اراضي است. براي مديريت صحيح در كاربري‌هاي اراضي به منظور متعادل ساختن چرخه آب، به پايگاه اطلاعاتي قوي نياز است (٦). مدل رياضي SWAT يكي از مدل‌هاي شبيه‌سازي چندمنظوره براي مديريت حوزه‌هاي آبخيز است. يكي از توانايي‌هاي مهم اين مدل، شبيه‌سازي متغيرهاي مختلف با توجه به تغيير كاربري‌هاي اراضي است. حوزه مورد مطالعه داراي كاربري چهارگانه است كه در واقع دو كاربري زراعي و مسكوني، جزء بافت طبيعي نيست، ولي مرتع و جنگل، كاربري طبيعي منطقه است. پس رواناب حاصله تحت تاثير تغييرات ايجاد شده در كاربري, متفاوت خواهد بود و اين اختلاف بعد از اجرا و كاليبره شدن، در مدل بررسي مي‌شود. به‌طور خلاصه هدف اين تحقيق عبارت است از برآورد آمار دبي روزانه, ماهانه و سالانه براي حوزه‌هاي شمال (نظير كسيليان) بر اساس تغييرات در كاربري اراضي[1] و تغييرات نوع گونه‌هاي زراعي (٧).

مدل SWAT[2] در حوضه آبخيز مي‌سي‌سي‌پي (Good Win Creek) به‌كار گرفته شد. رواناب متوسط سالانه براي ١٠ سال در كل زير حوضه‌ها با ٧٦ درصد همبستگي و براي بيشتر زير حوضه‌ها با ٩٠ درصد همبستگي شبيه‌سازي شد (٨). بررسي تأثير تغيير كاربري اراضي بر ميزان رواناب‌هاي سطحي در حوزه‌هاي آبخيز آفريقاي جنوبي با استفاده از مدل SWAT طرح ديگري در اين زمينه است (١٣). توسعه اراضي جنگلي تجاري در جنوب آفريقا براي پاسخگويي در رفع نيازمندي‌هاي توليدات جنگلي، جزء ملزومات است. مقايسه بين سري‌هاي زماني داده‌هاي رواناب با روش شبيه‌سازي توسط مدل SWAT و رواناب مشاهده شده ضريب تعيين R^2 =٠/٦٩ را نشان داده است. مدل شبيه‌سازي رسوب روزانه در حوضه معرف امامه توسط مدل SWAT كار ديگري است كه توسط غلامي در سال ١٣٧٩ انجام شده است كه ضريب تبيين مقادير رسوب روزانة شبيه‌سازي‌شده با مقادير مشاهده شده در سطح ٩٥ درصد، معادل R^2 =٠/٧٤ به‌دست آمد (٣).

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

حوزه معرف كسيليان در ارتفاعات ناحيه مركزي سلسله جبال البرز، در استان مازندران از سر شاخه‌هاي رودخانه تالار است. شبكه‌ايستگاه‌هاي هواشناسي در حوزه كسيليان شامل سه‌ايستگاه كليماتولوژي و نه‌ايستگاه باران‌سنجي است. ميانگين بارش سالانه در حوضه كسيليان با روش‌هاي رابطه ارتفاع-بارش و تيسن به ترتيب ٨٧٣/٥ و ٨٢٥/٨ ميلي‌متر براي دوره پايه ده ساله (١٩٨٧-١٩٧٨) به‌دست آمد (٢). حوزه آبخيزكسيليان به دليل واقع شدن در دامنه شمالي البرز داراي پوشش غالب جنگلي است كه به مرور زمان در اثر افزايش جمعيت روستاها بر ميزان وسعت كاربري‌هاي ديگر اراضي افزوده شده و از وسعت جنگل‌ها كاسته شده است. بيش از ٢/٣ مساحت حوزه را جنگل تشكيل مي‌دهد. مراتع در اين حوضه به‌طور عمده در محدوده روستاها قرار دارد. پتانسيل اين حوزه جنگل است. اراضي زراعي حدود ١٩ درصد از وسعت كل حوزه آبخيز را شامل مي‌شود اين كاربري تحت عنوان زيرحوزه زراعي به شماره چهار در تحقيق بررسي شده است (١).

١- Land-use

٢- Soil and Water Assesment Tools

جدول ۱- انواع كاربري اراضي زير حوضه‌هاي مختلف حوضه اصلي كسيليان و درصد مساحت هر زير حوضه

زيرحوزه	كاربري اراضي	وسعت (هكتار)	درصد
۱	مرتع _ صخره	۸٤۰	۱۲/۱۵
۲	جنگلي	۱۷٤۲	۲۶/۵
۳	جنگلي - زراعي - مسكوني	۳٤۳۱	۵۱/۵
٤	زراعي	٦٦۵	۹/۸۵
-	كل	٦٦۷۸	۱۰۰

مدل هيدرولوژيكي SWAT روي معادله بيلان آبي زير پايه‌ريزي شده است:

(۱)

$$SW_t = SW + \sum_{t=1}^{t}\left(R_t - Q_t - ET_t - P_t - QR_t\right)$$

كه در آن:

SW: حجم آب موجود در خاك منهاي حجم آب با فشار ۱۵ بار يا ظرفيت آب خاك اوليه منهاي ظرفيت آب نقطه پژمردگي دائمي‌كه براي گياهان، بر حسب ميلي‌متر موجود است،

SWt: ظرفيت آب خاكها (mm)،

t: زمان برحسب روز و

R: بارش روزانه (mm) است.

مدل رواناب مذكور, داراي چرخه پيوسته آب در حوزه‌هاي مركب است كه به زيرحوزه‌هاي با دوره بازگشت‌هاي مختلف تقسيم مي‌شوند. سپس رواناب جداگانه‌اي براي هر زيرحوزه پيش بيني و رونديابي مي‌شود و مجموع رواناب براي حوزه به‌دست مي‌آيد. اين موضوع دقت توزيع فيزيكي چرخه آب را افزايش مي‌دهد(۱۰). مدل SWAT, رواناب سطحي, حجم رواناب سطحي، ارتفاع رواناب حداكثر و مقادير رواناب روزانه را به‌وسيله روش شماره منحني SCS اصلاح شده، شبيه‌سازي مي‌كند. مدل, رواناب را با نوع خاك كاربري اراضي و عمليات مديريت مربوط مي‌سازد.

مراحل و روش كار

براي تهيه آمار و اطلاعات، ابتدا از نقشه‌هاي توپوگرافي با مقياس ۱:۵۰۰۰۰ (سازمان جغرافيايي كشور) براي مشخص كردن آمار و اطلاعات فيزيوگرافي منطقه استفاده شد. به‌طوري‌كه با استفاده از نرم‌افزار Arc-GIS و ILWIS اقدام به وارد كردن آنها به رايانه گرديده، كليه نقشه‌هاي حاوي اطلاعات زميني شامل نقشه‌هاي خاكشناسي، زمين‌شناسي، پوشش گياهي، شبكه هيدروگرافي، شيب، جهت دامنه‌ها، فرسايش تهيه شده و سپس ضمن انجام عمليات ميداني و تست آمار به‌دست آمده, اطلاعات پايه مورد نياز مدل به‌صورت رقومي استخراج شد. داده‌هاي متغير زماني مثل دما، بارش، رطوبت نسبي و غيره نيز به‌صورت روزانه براي دوره آماري ده ساله(۱۹۸۷-۱۹۷۸)گردآوري و تحليل شد. پس از ايجاد پايگاه اطلاعاتي جامع مورد نياز، مدل SWAT اجرا شد، از آمار موجود چهار سال براي واسنجي استفاده شد و شاخص‌هاي مدل براي حوزه مورد نظر بهينه شدند. سپس اعتبار اين شاخص‌ها در يك دوره شش ساله مورد سنجش قرار گرفت. خروجي مدل تحت تأثير شاخص‌هاي مدل قرار دارد. مدل SWAT با داشتن مدل‌هاي تست حساسيت نظير[1] NS, [2]PBIAS و[3]TSSR (مجموع

۱- Nash Sutclife

۲- Parameter Bias

۳- Total Square Sumation Residual

حاصل جمع مربعات باقيمانده) يا TSAR (مجموع حاصل جمع مربعات خالص)، اين امكان را ايجاد مي‌كند كه هنگام اجراي مدل، مقدار حساسيت مدل را نسبت به شاخص‌هايي كه تغيير داده مي‌شود، ديد و بتوان با ديد بهتري در جهت اصلاح شبيه‌سازي (واسنجي) گام برداشت(۱۲).

مدل SWAT داراي توانايي منحصر به فردي است، به‌طوري‌كه مي‌تواند تأثير پوشش‌هاي مختلف گياهي را در مقدار رواناب بررسي كند. پايگاه اطلاعاتي مدلSWAT برمبناي كاربري‌هاي مختلف اراضي متمايز مي‌شود (۱۴ و ۱۵). اين وضعيت در فايلي به نام File.CIO[4] كلاس‌بندي مي‌گردد، به‌طوري‌كه در حوزه‌آبخيز موردنظر به تعداد كاربري اراضي، زيرحوزه تعريف مي‌شود و براي هر زيرحوزه اطلاعات جداگانه‌اي از اقليم، فيزيوگرافي، زمين‌شناسي و غيره سازماندهي مي‌شود. مدل SWAT توسط دو فايل، File.cio و Kas.mgt[5] مي‌تواند مديران و محققان را در مديريت كاربري اراضي كمك كند. فايل mgt، منبع اصلي براي اعمال مديريت براي پوشش‌گياهي حوزه است(۵). مدل SWAT، توسط فايل mgt، روي كاربري‌هاي مرتع و زراعت اعمال مديريت مي‌كند و تغييرات كاربري جنگل را توسط فايل cio اعمال مي‌كند. اين فايل‌ها داده‌هاي مورد نياز را براي هر زيرحوزه در اختيار مدل قرار مي‌دهد پس مي‌توان نوع كاربري را با شرايط مورد نظر, براي زيرحوزه‌ها, تعريف كرد.

نتايج

كاربري‌هاي حاضر در منطقه، شامل جنگل، مرتع، زراعت ديم و اراضي مسكوني است. ضمن طراحي گزينه‌هاي مختلف مديريت اراضي توسط مدل، مقدار رواناب حاصله به‌صورت دبي متوسط و دبي پيك براي هر گزينه مديريتي به‌دست آمده است. گزينه‌هاي فرض‌شده در جهت دو گرايش مثبت و منفي قرار دارند. در گرايش مثبت مديريت اراضي در جهت استعداد اصلي منطقه(كاربري جنگل), بررسي شد و گرايش منفي در جهت كاربري‌هاي زراعي، مرتعي و مسكوني فرض شد. بعد از عمليات واسنجي، مدلSWAT، رواناب را با R^2=۰/٦۹ و PBIAS=-۲/۵ و NS= ۰/۷۲ نسبت به رواناب اندازه‌گيري‌شده شبيه‌سازي كرد. اعتبارسنجي مدل نيز با R^2=۰/۵۷ وNS =۰/۵٤ وPBIAS=٤/۳ انجام گرفت.

نتايج شبيه‌سازي رواناب در سناريوهاي زراعي

در اين حوزه، سناريوهاي مختلف كاربري و تغييرات مديريتي، با توجه به وضعيت چرخه هيدرولوژيكي، به تفصيل بررسي شدند، كه در جداول ۲، ۳ و ٤ ارائه شده است. مدل SWAT در دو فايل خروجي، رواناب روزانه را براي هر زيرحوزه توليد كرد و رواناب روزانه، ماهانه و سالانه را براي تمام حوزه نمايش داد. برنامه مديريتي پايگاه اطلاعاتي mgt به ترتيب سازماني فايل، به شكل زير تحليل شد (٦):

اطلاعات كشاورزي: با توجه به‌اينكه شروع شبيه‌سازي از ماه دي بوده است، اين كد براي زيرحوزه‌هاي جنگلي و مرتعي صفر منظور شد، يعني هيچ محصول در حال رويش وجود نداشت، ولي براي زيرحوزه‌هاي زراعي و زراعي- مسكوني، كد يك داده شد.

تعداد سال‌ها يا دوره‌هاي گردش زراعي يا چرا براي مرتع: براي زيرحوزه‌هاي جنگل و زراعي و مرتع، يك دوره، ولي براي زيرحوزه زراعي- مسكوني، دو دوره درنظر گرفته شد.

شبيه‌سازي آفت‌كش‌ها: اين عمليات از كارايي‌هاي ديگر مدل SWAT است. با توجه به‌اين‌كه در ارتباط با اهداف اين تحقيق نبود، براي هيچ‌كدام از زيرحوزه‌ها انجام نشد.

ماه و روز عمليات‌هاي مديريتي براي زراعت: شروع كشت محصول، اواسط ارديبهشت و برداشت آنها اواسط شهريور و مرداد لحاظ شد. براي كاربري مرتع، شروع عمليات، اواسط فروردين درنظر گرفته شد، كه گياهان مرتعي شروع به رشد مي‌كنند. دو دوره چرا براي اين مراتع

۴- Control Index

۵- Management

درنظر گرفته شد. اولين دوره چرا از اواسط خرداد شروع شده و حدود يك ماه طول مي‌كشد كه براي هر روز $^{kg}/_{ha}$ ۵ برداشت مي‌گردد. دوره بعد، از اواخر مرداد شروع شده و به ترتيب قبلي مديريت مي‌شود. در كاربري جنگل، شروع عمليات به اوايل فروردين يا زمان رويش برگ‌ها برمي‌گردد.

جدول واحد گرمايي (**Husc**[1]): اين شاخص، براي مشخص كردن دماي حرارتي براي زيست‌گياهان كشت‌شده استفاده مي‌شود. زماني‌كه هيچ‌گياهي در كاربري وجود ندارد, مقدار آن صفر خواهد بود. اين دما، كسر مناسبي از حرارت، براي رشد گياه مزبور را با فرمول زير معين مي‌سازد:

$$Husc = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_{crop} \qquad (۵)$$

اين فرمول به‌صورت روزانه است، به عبارتي متوسط دماي ماكزيمم روزانه ($T_{\max}$) و دماي مينيمم روزانه($T_{\min}$) حساب و درجه حرارت پايه گياه زراعي از آن كم مي‌شود. اين شاخص براي گياهان زراعي حوزه كسيليان كه گندم و جو است، ۰/۱۵ به‌دست آمد. براي مرتع ۰/۲ و براي جنگل نيز ۰/۲ معين شد. اين اعداد بسته به گونه‌هاي مختلف در كاربري‌ها محاسبه شد. عمليات شخم‌زني و آفت‌كشي نيز در فايل mgt قابل تعريف‌اند، ولي به دليل عدم ارتباط آنها با مطالعه حاضر، انجام نشدند. فايل mgt، داراي كدهايي براي گياهان زراعي است كه در ضميمه آمده است و براي كاربري‌هاي جنگل و مرتع، كدهاي محدودي دارد كه جنگل‌هاي سوزني‌برگ و پهن‌برگ را متمايز مي‌كند و نيز مراتع چراگاهي، مراتع طبيعي، چراگاه‌هاي زمستانه و علوفه‌دارها را مشخص مي‌كند. مناطق مردابي و درياچه‌اي نيز كدهاي مشخص دارندكه به ترتيب نوع كاربري‌ها در برنامه مديريتي اين مطالعه، استفاده شدند. برنامه مديريتي براي زيرحوزه‌هاي زراعي، در جدول ۳ تبيين شده است.

كاربردهاي آبياري: در اين فايل به دو صورت خودكار و برنامه جدولي مي‌باشد، به‌طوري‌كه اگر بارش منطقه بيش از ۴۰۰ ميلي‌متر باشد، آبياري به‌طور خودكار توسط مدل انجام مي‌شود، ولي در كمتر از اين مقدار، بايد در فايل mgt مشخص شود. اين آستانه به‌طور قراردادي در برنامه مدل لحاظ شده است. كد عملياتي آبياري ۲ است و مقدار نياز آبياري به‌صورت ميلي‌متر بيان مي‌گردد. در مطالعه حاضر نياز به تعريف اطلاعات آبياري نبود.

كاربرد كوددهي مدل: مدل SWAT براي اين مسئله، مثل كاربرد آبياري، دو حالت دارد. كد عملياتي براي كوددهي ۳ است. در اين مطالعه براي مرتع و زراعت اين اطلاعات تعريف شد، كه در جدول ۳ نشان داده شده است. مدل، دو نوع كود، فسفاته و نيتراته براي مديريت كاربري‌ها درنظر گرفته است. بازدهي محصول‌ها و نيز كل توده خشك حاصل از پايان هر عمليات و محصول برداشتي در فايل ورودي mgt قرار مي‌گيرد. مقدار توليد تودة خشك و بازدهي محصول براي زيرحوزه‌هايي با كد IGRO=۱، شبيه‌سازي مي‌شود. اطلاعات حاصل از اين شبيه‌سازي در جدول ۳ ارائه شده است.

نتايج شبيه‌سازي رواناب با گزينه‌هاي مختلف كاربري اراضي

در بخش قبلي مديريت كاربري اراضي با توجه به پايگاه اطلاعاتي mgt بررسي شد و در جدول مربوط، ارتباط بين تغييرات محصولات زراعي، كود شيميايي، طول مدت چرا با اجزاي چرخه آب بررسي شد. در اين بخش با فرض‌هاي مختلف, كاربري‌هاي اراضي تغيير داده مي‌شود تا بتوان وضعيت هيدرولوژيكي حوضه را براي آينده پيشگويي كرد. اين عمليات با توجه به توانايي فايل كنترل داده‌ها موسوم به file.cio انجام مي‌گيرد. همچنين عمليات مذكور با تغييرات بر روي فايل‌هاي mgt زير حوضه‌ها, مثل نوع

۱- Heat unit Schedule

گياه، نوع عمليات و اجزاي ديگر اعمال مي‌شود. در اين عمليات، شش گزينه مديريتي را با تغيير كاربري‌هاي اراضي تعريف مي‌كنيم و در هر حالت تغييرات رواناب و مقايسه هيدروگراف‌هاي آنها بررسي مي‌شود. جدول۲، گزينه‌هاي مذكور را معرفي مي‌كند و مقادير رواناب شبيه‌سازي‌شده و همبستگي آنها با داده‌هاي مشاهده شده و شاخص‌هاي متأثر را نيز معين كرده است. رواناب حداكثر، حداقل و متوسط شبيه‌سازي‌شده براي هر يك از گزينه‌هاي كاربري در جدول ٤ آمده است. شكل ١ اين تحليل را به وضوح مشخص مي‌كند.

جدول ۲- گزينه‌هاي مديريتي كاربري اراضي براي حوزه معرف كسيليان به همراه شاخص‌هاي موثر

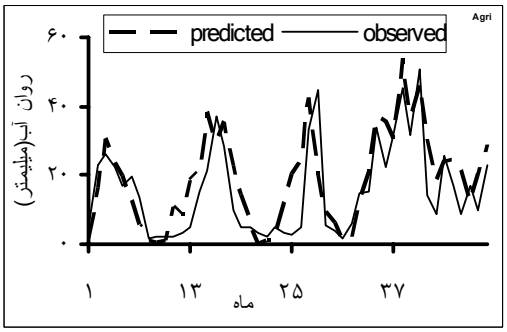
گزينه	تعريف گزينه	متوسط رواناب ماهانه (mm)	متوسط رواناب سالانه (mm)	% R^2	NS ماهانه	TSSR ماهانه	آب زيرزميني (mm)	تبخير-تعرق واقعي (mm)
case0	كاربري فعلي حوزه	١٦/٠٥	١٩٢/٠٧	٦٩	٠/٦٨	٢٦٢٦	٢٦٦	٥١١
case1	تبديل كاربري جنگل و مرتع به زراعت	١٨/٨٩	٢٢٦/٧	٦٥	٠/٥٣	٣٨٥٤	٣١١	٤٦١
case2	تبديل كاربري مرتع به زراعت	١٨/٤٥	٢٢١/٤	٦٧	٠/٥٧	٣٥٢٩	٢٩٤/٢	٤٧٩
case3	تبديل كاربري زراعت به جنگل	١٧/١٢	٢٠٥/٥	٥٩	٠/٤٦	٤٣٦٦	٢٧٢/٣	٤٩٣
case4	تبديل كاربري مرتع به جنگل	١٠/١٣	١٢١/٦	٥٦	٠/٣٤	٥٣٤٥	١٦٩/٣	٥٩٦
case5	تبديل كاربري زراعت و جنگل به مرتع	١٨/١٥	٢١٧/٨	٦٠	٠/٥٢	٣٩٢١	٣١٠/٢	٤٦٨
case6	تبديل كاربري جنگل به مرتع	١٤/٨	١٧٧/٢	٦٧	٠/٦٦	٢٧٨٧	٢٥٨/٢	٥٢٠

جدول ۳- سناريوهاي كاربري اراضي براي زيرحوزه‌هاي ۳ و ٤ (زراعي)

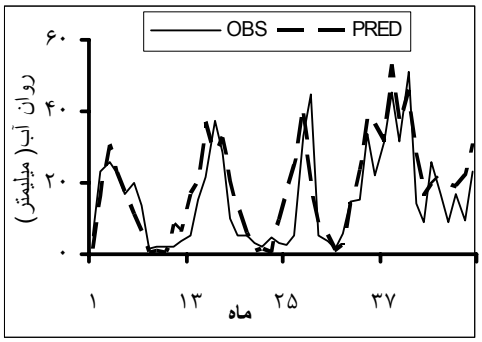
گونه زراعي / شاخص	Soybeans	Corn Sunflower	Grain Sorghum Sorghum hay	Winter Sumer Wheat Wheat	Barley oats	Stripper Cotton Picker Cotton	Rice	Pottato Winter Pea	Sumer Wheat Barley
كود (kg/ha)	۱۰۰-۱۰۰	۸۰- ۸۰	۱۰۰- ۸۰	۱۰۰– ۸۰	۱۰۰-۱۵۰	۱۰۰-۱۵۰	۲۰۰-۱۵۰	۲۰۰-۱۵۰	۱۰۰-۱۰۰
توليد محصول (kg/ha	۱۰۳۶۰/۸	۲۰۶۲/۹	٤۱۰۶۸/۲	۱۱۶۳۵/٤	۱۱۰۶۳/۸	۵۷۵۹/۱	۱۱۲۱۱/۷	۵٤۹۹/۶	۱۱۷۱۸/٤
توده خشك (kg/ha	۳۸۸۳۲/۹	۵۷۳۸٤/۹	۶۲۳۱۸/۹	۳۸۰۰۱/۶	۳۸۱۷۸/٤	۲۷۵٤۵/۵	٤۹۰۰۱/۵	۲۵۸۳۵/۷	۳۸۱۸۱/۹
ET mm	٤۹۷/۵	٤۷۶	٤۸۰	۵۰۱/۹	۵۰۰/۸	۵۰٤	٤۸۶/۸	۵۰۷/۶	۵۰۱/٤
Qsur mm	۱۷/۱۷	۱۸/۵٤	۱۹/۰٤	۱۶/۸	۱۷/۰	۱۶/۸	۱۸/٤	۱۶/۶	۱۷/۰
Qlat mm	۱۰/۶۳	۱۰/۸۲	۱۰/۸	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۰/۷	۱۲/٤۵	۱۰/۵
GRWshallow mm	۲۷۷	۲۹۶/٤	۲۹۲/٤	۲۷٤	۲۷۵/۵	۲۷۱/۲	۲۸۷/۲	۲۶۹/۳	۲۷٤/۹
Water Yield mm	۱۹۹/۳۹	۲۱٤/۸	۲۱۵/۸	۱۹۷/۸	۱۹۸/۵	۱۹۳/۱	۲۰۸/۳	۱۹۳/۱	۱۹۸/۱
R^2	۶۷/۷	۶٤/۶	۶۷/۵	۶۷/۶	۶۷/۵	۷۰/۰	۶۸/۷	۶۷/۸	۶۸/۶
Mean.Observed ماهانه mm	۱۵/۶۱								
Mean.Predicted ماهانه mm	۱۶/۶۵	۱۷/۸۹	۱۷/۸۱	۱۶/۵	۱۶/۵	۱۶/۱	۱۷/۳	۱۶/۱	۱۶/۰۶

جدول ٤- مقادير رواناب متوسط سالانه، ماكزيمم، مينيمم و متوسط ماهانه مشاهده و شبيه‌سازي‌شده در دوره واسنجي

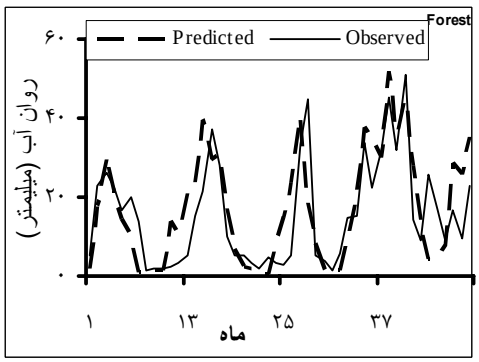
شاخص	رواناب اندازه‌گيري و شبيه‌سازي‌شده (mm)	گزينه مديريتي						
		Case0	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	case6
حداكثر ماهانه	مشاهده شده	٥٠/٨٤						
	شبيه‌سازي‌شده	٤٦/٧٧	٥٣/٧٨	٥٣/١٧	٥٢/٠٣	٣٦/٩٧	٤٤/٩٥	٤٣/٧٠
حداقل ماهانه	مشاهده شده	١/٥٥						
	شبيه‌سازي‌شده	٠/٢٨	٠/٨٢	٠/٣٧	٠/٦٣	٠/١٨	٠/٤٣	٠/٦٥
متوسط ماهانه	مشاهده شده	١٥/٦٢						
	شبيه‌سازي‌شده	١٦/٠١	١٨/٨٩	١٨/٤٦	١٧/١٢	١٠/٣٠	١٨/١٥	١٤/٧٦
متوسط سالانه	مشاهده شده	١٨٥/٦٥						
	شبيه‌سازي‌شده	١٩٢/٠٧	٢٢٦/٧	٢٢١/٤	٢٠٥/٥	١٢١/٦	٢١٧/٨	١٧٧/٢



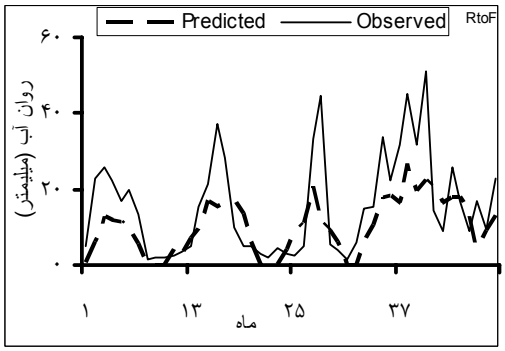
شکل **a**): مقایسه رواناب در گزینه مدیریتي۱



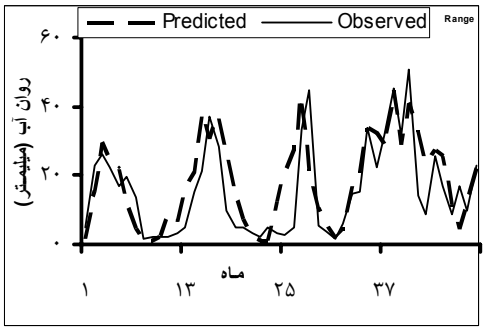
شکل **b**): مقایسه رواناب در گزینه مدیریتي۲



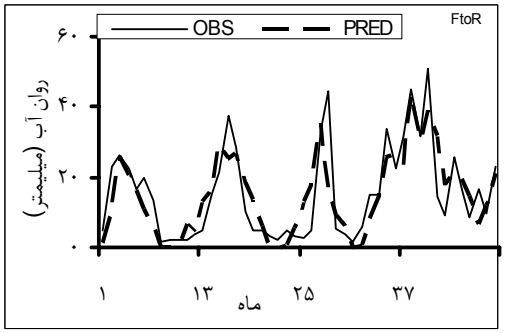
شکل**c**): مقایسه رواناب در گزینه مدیریتي۳



شکل **d**): مقایسه رواناب در گزینه مدیریتي۴



شکل**e**): مقایسه رواناب در گزینه مدیریتي۵



شکل **f**): مقایسه رواناب در گزینه مدیریتي۶

شکل۱) مقایسه رواناب ماهانه شبیه‌سازي و مشاهده شده با استفاده از مدل **SWAT** در حوضه کسیلیان

بحث و نتيجه گيري

نتايج حاصل از اجراي مدل رياضي SWAT نشان مي‌دهد كه دبي روزانه شبيه‌سازي‌شده با ضريب تبيين ٦٩ درصد به‌وسيله مدل برآورد شده است. در عمليات تحليل كاربري اراضي، كه به‌صورت گزينه‌هاي مختلف مديريتي و نيز گونه‌هاي زراعي بررسي شد، شاخص‌هاي مهم چرخه هيدرولوژيكي براي هر گزينه و گونه زراعي معين شد. بنابر بررسي‌هايي كه تا به حال انجام شده، هر كاربري توانايي خاصي در توليد رواناب و ساير شاخص‌هاي هيدرولوژيكي دارد. به‌طور نسبي مي‌توان اين توانايي‌ها را در مقايسه كاربري‌ها پيشگويي كرد. در تعريف گزينه‌هاي مديريتي، به‌طور كلي, سه وضعيت در نظر گرفته شد. ابتدا گزينه‌هايي كه در دوره‌هاي قبلي در حوزه حاكم بوده، مثل گزينه مديريتي سوم كه ٩٠ درصد سطح حوزه را به جنگل اختصاص داده است، يا گزينه مديريتي چهارم كه مراتع با جنگل مقايسه شده است (البته منظور مراتع پايين‌دست مي‌باشند). در گزينه سوم، با توجه به‌اينكه تغيير عمده‌اي در كاربري رخ داده، ولي تفاوت چنداني در چرخه هيدروليكي شبيه‌سازي‌شده حوزه پديد نيامده است و همبستگي و معيارهاي حساسيت مدل ضعيف‌ترين حالت را نشان مي‌دهند. رواناب سطحي افزايش چشمگيري نشان مي‌دهد، درصورتي‌كه در عمل نبايد چنين باشد. در گزينه چهارم مدل در شبيه‌سازي شاخص‌هاي هيدرولوژيكي حساسيت افراطي نشان مي‌دهد. با اين مقايسه مي‌توان به‌اين نتيجه رسيد مدل زماني كه كاربري جنگل برايش تعريف مي‌شود، نمي‌تواند شبيه‌سازي مناسبي داشته باشد.

در گزينه‌هاي اول و دوم كه بيشتر سطح حوزه (١٠٠ تا ٧٠ درصد) به زراعت اختصاص دارد، شبيه‌سازي مناسب و واقعي تري را شاهديم. متوسط رواناب ماهانه و سالانه و رواناب سطحي حوزه زياد شده و آب زيرزميني كمتر مي‌شود و حساسيت مدل نسبت به‌اين كاربري در قالب معيارها و همبستگي نيز قابل قبول است. در گزينه‌هاي پنجم و ششم بيشتر سطح حوزه به كاربري مرتع تعلق دارد. در گزينه پنجم، همه سطح حوزه به مرتع تبديل شده است. اين گزينه به لحاظ چرخه هيدرولوژيكي پاسخ مناسبي داشته است. همان‌طوركه مي‌دانيم مراتع توانايي توليد رواناب بيشتري نسبت به جنگل دارند، ولي در گزينه ششم كه جنگل به مرتع تبديل مي‌گردد، پاسخ واقعي به نظر نمي‌رسد، زيرا رواناب‌هاي كل و سطحي كمتر شدند. در گزينه چهارم نيز كه عكس اين وضعيت را داشتيم، شاهد پاسخ مناسبي نبوديم. مي‌توان استنتاج كرد كه مدل SWAT درشبيه‌سازي چرخه هيدرولوژيكي جنگل توانايي كمتري دارد. گزينه Case0، شرايط فعلي حوزه را نشان مي‌دهد. گزينه‌هاي ١، ٢، ٥ و ٦ كاربري‌هاي فرضي براي آينده حوزه در نظر گرفته شدند كه همه در جهت خروج حوزه از وضعيت طبيعي بوده و مشكل آفرين خواهند بود.

توانايي ديگر مدل SWAT، براي كاربري‌هاي زراعي است. به‌طوري‌كه نوع گونه كشت‌شده، دوره‌هاي تناوب زراعي و شاخص‌هاي ديگر (جدول٤) توضيح داده شده است، در اين نوع كاربري‌ها قابل برنامه‌ريزي و مديريت است. همچنين براي مراتع دوره‌هاي چرايي و ظرفيت چرايي نيز قابل برنامه‌ريزي است كه به دليل عدم تطابق با مطالعه حاضر، از آن صرف نظر شد. از مجموع عمليات مذكور مي‌توان به‌اين نتيجه رسيد كه شاخص‌هاي چرخه هيدرولوژيكي در مديريت كاربري زراعي به شكل بهتري در مدل SWAT شبيه‌سازي مي‌شوند. در تحليلي ديگر، سري داده‌هاي حد از جمله رواناب حداكثر و حداقل سالانه براي هر كدام از گزينه‌هاي مديريتي بررسي شدند كه مقادير رواناب حداكثر براي كاربري‌ها، داراي توجيه منطقي است، در مقايسه با مقاديراندازه‌گيري‌شده در ايستگاه، بن و اصول هيدرولوژيكي در كاربري‌هاي مفروض، قابل قبول بودند. اما در مورد رواناب‌هاي مينيمم ماهانه براي گزينه‌هاي مفروض, همه داده‌هاي شبيه‌سازي چند برابر كمتر از داده‌هاي اندازه‌گيري برآورد شده‌اند. پس مدل SWAT در شبيه‌سازي رواناب‌هاي حداقل داراي دقت مناسبي نيست. به‌طور كلي بر اساس داده‌هاي جدول٤, داده‌هاي شبيه‌سازي مدل, بيشتر از مقادير اندازه‌گيري برآورد شده است.

كاري كه در تحقيق حاضر انجام شده، در بين طرح‌هاي داخل كشور منحصر به‌فرد بوده و فقط دو مورد تحقيق به

ارزيابي مدل SWAT براي شبيه‌سازي شاخص‌هاي هيدرولوژيكي پرداخته است. مريد[1]، در قالب پايان‌نامه دكتري در دانشگاه IIT هند (۱۳۸۰)، فرايند شبيه‌سازي برف را در مدل مذكور در حوزه آبخيز امامه، بررسي و توسعه داد. غلامي، فرايند شبيه‌سازي رسوب و رواناب مدل را در حوزه آبخيز امامه بررسي كرد كه رسوب ماهانه با R^2= ٧٤% و رواناب ماهانه نيز با R^2= ٧٦% شبيه‌سازي شد(Gholami., 1998). دو مورد تحقيق مذكور در حوزه آبخيز معرف امامه انجام گرفته و با توجه به‌اينكه‌اين حوزه كوهستاني با كاربري غالب مرتع است، مدل پاسخ بهتري نسبت به تحقيق حاضر (حوزه معرف كسيليان با كاربري غالب جنگل)، داده است.

پيشنهادها

۱- پيشنهاد مي‌شود به روش‌هاي مختلف سعي در تسهيل كاربري و واسنجي مدل شود و حساسيت مدل به شاخص‌ها تعريف شده باشد تا كاربران تسلط بيشتري به واسنجي مدل داشته باشند.

۲- برنامه مدل به شكلي اصلاح شود كه هر كدام از شش فرايند شبيه‌سازي توسط مدل, جداگانه انجام گيرد تا آمار و اطلاعات ورودي و پيچيدگي مدل در واسنجي در هر مقطع كم شود و نيز دقت مدل افزايش يابد.

۳- در پروژه‌هايي كه از مدل SWAT استفاده مي‌شود، بايد پايگاه اطلاعاتي جامع و كامل از تمامي شاخص‌هاي فيزيوگرافي, هيدرولوژيكي, خاكشناسي و ... حوزه تشكيل شود.

٤- مدل SWAT براي حوزه‌هاي با اقليم مرطوب و جنگلي كارايي زيادي نشان نداد. پيشنهاد مي‌شود، فرمول‌هاي محاسبات تبخير، نفوذ و آب‌هاي زيرزميني، براي اين حوزه‌ها در برنامه مدل اصلاح شود.

۵- با توجه به‌اينكه مدل SWAT، رسوب، بيلان آبي، توليد زراعي- مرتعي و كيفيت آب را نيز شبيه‌سازي مي‌كند، پيشنهاد مي‌شود، مدل براي كاربردهاي ديگر نيز بررسي و اصلاح شود.

۱- عضو هيئت علمي‌دانشگاه تربيت مدرس

منابع

۱- بي‌نام. سالنامه‌هاي آماري براي حوزهُ معرف، كسيليان، تماب، (۱۹۸۷-۱۹۷۸).

۲- بي‌نام. سالنامه‌هاي آماري براي حوزهُ معرف، كسيليان، سازمان هواشناسي كشور، (۱۹۸۷-۱۹۷۸).

۳- غلامي، ش، ۱۳۷۹،"مدل شبيه‌سازي رسوب روزانه با استفاده از مدل توزيعي SWAT مطالعه موردي در حوزهُ آبخيز كوهستاني(حوزهُ آبخيز معرف امامه)"، دومين همايش ملي فرسايش و رسوب،.۱۳۷۹ , خرم آباد. ص ۲۰٤-۱۸۵.

٤- مهدوي، محمد، ۱۳۷۸ . هيدرولوژي كاربردي، جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

5- Arnold. J, G. 1996, Estimating Hydrologic Budgets for Three Illinois Watersheds. Journal of Hydrology 176:57-77.

6- Arnold, J. G., Williams, J, R., Srinivasan, K.W (1996), “SWAT Simulation Model- Soil and Water Assessment Tool” , USDA, Agriculture Research Service, 213 pp.

7- Bathurst, J.C., 19۷۷. Sensitivity analysis of the Systeme Hydrologice Europeen for an upland catchment. J.Hydrol., 87 : 103-123.

8- Bingner, R,L., 1996, “Runoff Simulation from Goodwin Creek Watershed Using SWAT, ASAE 59(1): 85-90

9- Gholami, S. A., 1998, “ Distributed Watershed Modelling of Mountainous Catchment.” Synopsis of ph. D Thesis. Dept of Civil Engineering, Indian Institute Technology New Delhe, 469 pp.

10- Helvey, J.D., 1971. A summary of rainfall interception by certain conifers of North America. In Biological effects of the hydrological cycle, E.J. Monke, Ed. West Lafayette : Purdue University, 584 pp.

11- Leonard, P.B.A. 1979 A stable and accurate convective modelling procedure based on quadratic upstream interpolation. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering , 59-98.

12- Nash, J,E and T,E sutclif, 1970, “ River Flow Forecasting Through Conceptual Model ”, Part I,A Discassion of Principles,J ,Hydrol . 10(3) : 282-290

13- Royappan, M., 1984, “ Survey of effect of change of land use to runoff by SWAT model in South Africa “ Kentucky university, 482 pp.

14- Shanholtz, V.O.,1994. A soil water balance model for no-tillage and conventional till systems. Agricultural Water Management, 26:155-168.

15- Solan, P.G, et al., 1983. Modeling Surface and Subsruface Stormflow on Steeply. Sloping Forested Watersheds. Water Resources Inst. Report 142, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, 345 pp.

16- Williams, J.R., 1984. Simulation for water resoruces in rural basins, Journal of Hydrolic Engineering, 111(6):970-986.

An Investigation of The Effects of Land Use Change on Simulating Surface Runoff Using SWAT Mathematical Model (Case Study: Kasilian Catchment Area)

H. Saadati [1] **Sh.A. Gholami[2]** **F. Sharifi[3]** **S.A. Ayoubzadeh[4]**

Abstract

There are several methods of estimating runoff from a catchmant area. One of these methods is the hydrological model. Hyrological models by simulating hyrological processes, make it possible to evaluate runoff from rainfall in the shortest possible time and with the lowest possible costs. However there does not exist the possibility of measurement of all cases in all cachments, so, there is the necesity of choosing those models which can evaluate hydrological processes with a minimum number of parameters. One of these models is SWAT. This model has been developed by Arnold in 1972 and improved towards perfection by Arnold & Wiliams in 1996. The model receives the daily raifall, daily discharge and daily evapotranspiration, after being optimized parameters. This study was carried out in Kasilian catchment area in Iran. Results indicated the value of determination coefficient to be satisfactory for the cachment. In addition, the results of model revealed that ABF, CN_2 and REVAPC parameters are the most sensitive among other parameters. Finally the effect of hyrological parameters on the streamflow is evaluated. SWAT model simulated the hydrological processes for agricultural and rangeland uses better than for forest land use.

Keywords: SWAT model, Kasilian, Simulation, Hydrological parameters, Runoff, Iran.

1- Ardabil Instructor, Islamic Azad University
2-Assistant Prof. Soil Conservation and Watershed Management Research Center
3-Associat Prof. Soil Conservation and Watershed Management Research Center
4-Assistant Prof. Tarbiat Modarres University