بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی حوضه آبخیز شاخه اصلی زاینده رود به کاربری مطلوب از نظر تولید رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT2005

محمدحسین همت جو[۱] و شمس الله ایوبی[۲*]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد و [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۲۸- تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱/۲۶)

چکیده

فرسایش خاک امروزه یکی از معضلات اساسی کشور است. در تحقیق حاضر از مدل SWAT2005 و روش ارزیابی اراضی برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب و مقایسه کاربری فعلی و کاربری مطلوب اراضی زیرحوضه شاخه اصلی زاینده رود با هدف نیل به کاهش هدررفت خاک استفاده شد. واسنجی، اعتبارسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل با استفاده از برنامه SUFI-2 انجام شد. در مجموع مدل در شبیه‌سازی رواناب بهتر از رسوب عمل کرد. علت این مسئله را می‌توان به کمبود داده‌های رسوب، پیوسته نبودن آن‌ها و همچنین استفاده از روابط تجربی در مدل برای تخمین رسوب مرتبط دانست. نتایج مؤید این مطلب است که استفاده از اراضی برحسب پتانسیل و استعداد آن‌ها باعث کاهش معنی دار حداکثر بار رسوب و حداکثر رواناب می‌شود. نتایج کلی این تحقیق نشان می‌دهد چنانچه اراضی بر اساس قابلیت خود مورد بهره-برداری قرار گیرند، رواناب و رسوب کم‌تری تولید می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: SUFI-2 ، ارزیابی اراضی، فرسایش خاک.

مقدمه

فرآیند فرسایش خاک پدیده‌ای بسیار پیچیده است که شناخت عوامل تأثیر گذار بر روی آن در هر منطقه‌ای امری ضروری می باشد (Pimentel, 1995). فرسایش خاک امروزه یکی از معضلات اساسی کشور نیز است. اطلاعات و آمار موجود نشان می دهد که ۵۹ درصد از ۱۷ حوضه از حوضه‌های مورد مطالعه در ایران به شدت تخریب یافته است (Jalalian, 2011).

در سال‌های اخیر، استفاده از مدل سازی به عنوان راهکار ارزیابی اقدامات کاهش فرسایش مطرح شده است (Rostamiyan, 2007). مدل SWAT یک مدل مفهومی- نیمه توزیعی در مقیاس حوضه است که برای ارزیابی آب و خاک در سرویس تحقیقات کشاورزی امریکا USDA - ARS توسعه یافته است (Jaleh, 2007). این مدل یک مدل پیوسته زمانی است که در گام‌های زمانی ساعتی، روزانه و یا طولانی مدت تر اجرا می‌شود(Raostamiyan, 2007) و قادر به بررسی اثر عملیات مدیریت اراضی روی آب، خاک، رسوب و املاح در آبخیزهای پیچیده بزرگ با انواع مختلف خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی برای دوره‌های طولانی مدت است (Bingner, 1997; Jaleh, 2007).

تحقیقات نشان داده است که اگرچه SWAT قادر به شبیه سازی شرایط تر سالی نیست، ولی در کل، قادر به شبیه سازی قابل قبول روش‌های مدیریتی در طولانی مدت است (Chuo et al, 2004). مدل SWAT می تواند برای شناسایی زیرحوضه‌های بحرانی از نظر فرسایش و عملیات مدیریتی به کار گرفته شود. آنالیز حساسیت مشخص کرده است که بار رسوب به ضریب زبری مانینگ (n) جریان بالادست و جریان کانال‌های فرعی و همچنین هدایت هیدرولیکی کانال‌های فرعی آبرفتی حساسیت زیادی دارد (Pandey, 2005).

استفاده از مدل SWAT در خاک‌های لسی کشور چین برای بررسی اثرات تغییر کاربری بر روی رواناب و رسوب نشان داده است که این اثرات می تواند بسیار معنی دار باشد و این مدل ابزار بسیار مناسبی جهت مطالعات تغییر کاربری است (Huang et al, 1999). تحقیقات همچنین نشان داده است که تغییر کاربری بر روی مقدار رسوب تخمین زده شده توسط مدل SWAT بسیار اثرگذار است (Lenhart et al, 2003). تحقیقات دیگر نشان داده است که اثرات تغییر کاربری می تواند همانند اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب و رسوب بسیار زیاد باشد (Zhi et al, 2009).

مطالعات در حوضه آبخیز بهشت آباد از زیر حوضه‌های کارون شمالی نشان داد که از علل ضعف مدل در شبیه سازی رواناب در برخی از ماهها، خوب شبیه سازی نکردن ذوب برف، فرضیات مدل در انتقال جریان در لایه‌های یخ زده و اشباع و آمار هواشناسی کوتاه مدت می باشند. همچنین از علت‌های

* پست الکترونیک مکاتبه کننده، ayoubi@cc.iut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

ضعف مدل در شبیه سازی رسوب می توان به شبیه سازی جریان، تعداد کم داده ها و صحت داده‌های رسوب و همچنین عدم پیوستگی اطلاعات رسوب اشاره کرد (Rostamiyan, 2007). کاربرد مدل SWAT به منظور تخمین رواناب و رسوب در حوضه آبخیز ونک از زیر حوضه‌های کارون شمالی نشان داد که به طور کلی، مدل به خوبی توانسته رواناب ماهانه را شبیه‌سازی نماید، گرچه در تخمین حداکثر رواناب به صورت ضعیف تری عمل نموده است. همچنین نتایج سایر پژوهشگران در حوضه آبریز زاینده رود نشان می دهد که مدل SWAT تاحدودی می تواند ابزار مناسبی در رابطه با شبیه سازی شدت جریان رودخانه زاینده رود باشد (Ababai and Sohrabi, 2010).

تغییر کاربری یکی از آشکارترین تغییرات در مناطق کشاورزی بسیاری از نقاط دنیا است. علاوه بر تغییر اقلیم و تغییرات اجتماعی- اقتصادی، تغییر کاربری نیز اثرات بسیار زیادی در تعادل آبی حوضه آبخیز رودخانه ها دارد. تغییر کاربری می تواند بر تناوب سیل، جریان پایه و میانگین سالانه جریان رودخانه، اثرگذار باشد (Zhi et al, 2009)

این تحقیق به منظور شبیه سازی رسوبدهی و تولید رواناب در زیر حوضه شاخه اصلی زاینده رود از حوضه آبخیز زاینده رود با استفاده از مدل SWAT و تعیین کاربری بهینه اراضی بر اساس معیارهای قابلیت اراضی در راستای کاهش تولید رواناب و رسوب انجام گرفته است.

مواد و روشها

شرح اجمالی مدل SWAT2005

در مدل SWAT هر حوضه بر اساس توپوگرافی سطحی به چند زیرحوضه و هر یک از زیرحوضه‌ها به چند واحد واکنش هیدرولوژیک که از نظر کاربری اراضی و خصوصیات خاک همگن هستند، تقسیم می‌شود. در ابتدا آب موجود در خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر واحد واکنش هیدرولوژیک و سپس برای هر زیرحوضه به صورت متوسط وزنی محاسبه می‌شود (Neitsch et al, 2005).

شبیه سازی هیدرولوژی حوضه شامل دو تقسیم بندی مهم است: اولین قسمت فاز زمین در چرخه هیدرولوژی است (معادله ۱). این فاز مقدار آب، رسوب، عناصر غذایی و بار آفت کش‌ها را در کانال اصلی در هر زیرحوضه کنترل می کند. قسمت دوم، آب یا فاز روندیابی چرخه هیدرولوژی است که به عنوان حرکت آب و رسوب در بین شبکه کانال حوضه تا خروجی حوضه تعریف می‌شود (Neitsch et al, 2005).

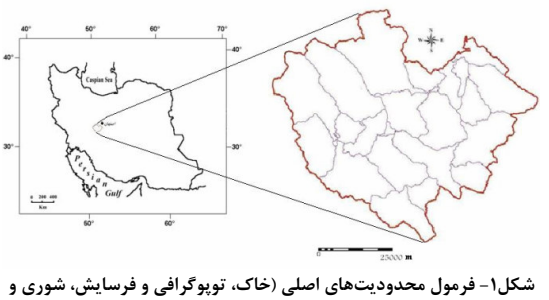
$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}\left(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}\right) \quad (1)$$

که در آن: SW_t مقدار نهایی آب در خاک (میلی‌متر)، SW_0 مقدار اولیه آب در خاک (میلی‌متر)، R_{day} مقدار بارندگی در روز i ام (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i ام (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (میلی‌متر)، W_{seep}مقدار آب خروجی از پروفیل خاک به ناحیه غیر اشباع در روز i ام (میلی‌متر) و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی در روز i ام (میلی‌متر) است (Neitsch et al, 2005).

به دلیل مشکل بودن اندازه گیری مستقیم بسیاری از پارامترها در مقیاس حوضه آبخیز، لازم است مدل برای حوضه مورد نظر واسنجی گردد تا نتایج به دست آمده بهبود یافته و به واقعیت نزدیکتر شود (Rostamiyan, 2007). آنالیز عدم قطعیت یکی از اجزای مهم در توسعه و اجرای مدل‌های کامپیوتری برای ارزیابی محیط‌زیست می‌باشد. برنامه SUFI-2 واسنجی و عدم قطعیت را ترکیب می‌کند و سعی می‌کند پارامترهای عدم قطعیت را به نحوی پیدا کند که اکثر داده‌های اندازه‌گیری شده در ناحیه عدم قطعیت تخمین قرار گیرند، در حالی که کوچکترین طیف عدم قطعیت تخمین ممکن را ایجاد می‌کند.

مطالعات ارزیابی اراضی

در مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی بر اساس نشریه شماره ۲۱۲ موسسه تحقیقات خاک و آب، مناطق مستعد برای انواع استفاده‌های اصلی از قبیل کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، مرتع، جنگل و درخت کاری تعیین می گردد. در این تحقیق برای ارزیابی منطقه مورد مطالعه روش نشریه ۲۱۲ موسسه تحقیقات خاک و آب استفاده شد. بدین صورت که پارامترهای موجود در فرمول محدودیت برای هر کدام از اجزاء واحد اراضی تعیین شد (شکل ۱) و سپس کلاس اراضی برای هر کدام بدست آمد و در نهایت نقشه قابلیت اراضی توسط نرم افزار ILWIS تهیه گردید.



شکل۱- فرمول محدودیت‌های اصلی (خاک، توپوگرافی و فرسایش، شوری و قلیاییت، و زهکشی)(اقتباس از ایوبی و جلالیان، ۲۰۰۶)

Archive of SID

www.SID.ir

توصیف منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز شاخه اصلی زاینده رود دارای مساحت ۱۴۴۰۰۰ هکتار است که حدود ۳۵ درصد از سطح کل حوضه آبخیز زاینده رود را می پوشاند و دارای انشعابات زیادی است (شکل۲). با این که این حوضه مساحت کمتری از کل حوضه زاینده رود را می پوشاند، ولی ۹۰ درصد آب ورودی به دریاچه سد زاینده رود را تأمین می کند. این منطقه از تونل کوهرنگ (مرز حوضه آبخیز سد زاینده رود با حوضه آبخیز دز و کارون) شروع شده و تا ایستگاه هیدرومتری قلعه شاهرخ، در محل ورود شاخه اصلی زاینده رود به دریاچه سد زاینده رود، ادامه دارد (Akbari, 2001).

میزان بارندگی سالیانه در ایستگاه هواشناسی کوهرنگ از ۸۰۰ تا ۲۱۷۴ میلی متر متغیر بوده و میانگین آمار سال‌های ۱۹۸۷- ۲۰۰۰، ۱۴۱۴/۳ میلی متر می‌باشد. میانگین دمای سالانه اقلیم کوهرنگ ۹/۲ درجه سانتی گراد با دامنه تغییرات ۲۸/۳ درجه سانتیگراد است. حدود ۷۰ درصد بارش منطقه به صورت برف است. اقلیم منطقه مطالعاتی طبق روش آمبرژه در کوهرنگ، بادیجان، داران و قلعه شاهرخ (در غرب حوضه) ارتفاعات کوهستانی و سد زاینده رود خشک سرد است (http:// charmahalmet.ir/stat/archive/koohrang).

داده‌های اقلیمی، هیدرومتری و اطلاعات تکمیلی

داده‌های بارندگی و درجه حرارت روزانه ایستگاه‌های هواشناسی کوهرنگ، شهرکرد، مرغملک، پل زمانخان، یان‌چشمه و سورشجان از اداره هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری جمع آوری شد. همچنین، از اداره امور آب منطقه‌ای استان اصفهان، داده‌های رواناب و رسوب روزانه ایستگاه هیدرومتری قلعه شاهرخ برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT اخذ شد.

برای اجرای مدلSWAT ، نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه شبکه جریان، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک لازم است.

SWAT از DEM برای طراحی حوضه، مرزهای زیرحوضه ها و شبکه جریان زیرحوضه ها استفاده می‌کند. نقشه شبکه جریان حوضه به منظور افزایش دقت نقشه DEM مورد استفاده مدل قرار می گیرد. برای تهیه نقشه کاربری فعلی اراضی، از تکنیک سنجش از دور و داده‌های سنجنده ETM^+ ماهواره لندست مربوط به سال ۲۰۰۲ استفاده شد. پس از پردازش تصاویر و انجام تصحیحات لازم (هندسی، اتمسفریک، بهبود تباین و ارتفاعی) در نرم افزار EARDAS، طبقه بندی نظارت شده به سه روش در نرم افزار ILWIS انجام شد که روش طبقه بندی بیشترین شباهت بهترین نتایج و دقت را داشت. کاربری‌های کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، سه تیپ مرتعی خوب، متوسط و فقیر، مسکونی و رخنمون سنگی در این نقشه تفکیک شدند. نقشه کاربری مطلوب اراضی با استفاده از ارزیابی اراضی به روش نشریه ۲۱۲ موسسه تحقیقات خاک و آب به دست آمد که در آن استفاده‌های اصلی منطقه شامل کشاورزی آبی، مرتع و جنگل برای حوضه آبخیز مورد مطالعه مشخص شد. این نقشه در اجرای ثانویه مدل SWAT2005 (کاربری مطلوب اراضی) به عنوان ورودی استفاده شد. جدول (۱) ورودی‌های مدل SWAT و توضیحات مختصری درباره آن ها را نشان می دهد.

شکل۲- حوضه آبخیز زاینده رود و موقعیت جغرافیایی آن در کشور

جدول ۱- ورودی‌های مدل SWAT

ردیف	ورودی مدل	توضیحات
۱	نقشه DEM	به دست آمده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰
۲	نقشه شبکه جریان	به دست آمده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰
۳	نقشه کاربری اراضی	با استفاده از تکنیک سنجش از دور(کاربری فعلی)، با استفاده از روش ارزیابی اراضی (کاربری مطلوب)، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰
۴	نقشه خاک	بر مبنای نقشه اجزاء واحد اراضی و مطالعات صحرایی مورد نیاز، مقیاس ۱/۵۰۰۰
۵	داده‌های اقلیمی	درجه حرارت و بارندگی به صورت روزانه
۶	پایگاه‌های داده ای مدیریت، خاک و کاربری	به دست آمده از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده و تکمیل پرسشنامه از مردم منطقه

مدل SWAT از اطلاعاتی که در مورد هر افق خاک موجود باشد، استفاده می‌کند. با توجه با این که در ایران در حوضه‌های آبخیز با وسعت زیاد و توپوگرافی شدید نقشه‌های خاک واقعی تهیه نمی شود، در این تحقیق برای تهیه نقشه

Archive of SID
www.SID.ir

خاک، در ابتدا نقشه خاک (مقیاس ۱/۵۰۰۰۰) موجود که در طی طرح‌های جامع آبخیزداری سال ۱۳۶۱ تهیه شده بود، به عنوان نقشه مبنای تغییرات خاک در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از نرم افزار ILWIS اقدام به رقومی کردن واحدهای اراضی شد و در پایان، خطوط رقومی شده به واحدهای پلی گونی تبدیل شد و از اطلاعات کسب شده از پروفیل‌های شاهد حفر شده در اجزاء واحد اراضی جهت اجرای مدل استفاده شد.

اجرای مدل برای کاربری فعلی منطقه

در این تحقیق از نرم‌افزار تحت ویندوز SWAT2005 استفاده شد. واسنجی و اعتبارسنجی داده‌های شبیه‌سازی شده، با استفاده از برنامه SUFI-2 انجام شد. دوره شبیه سازی از سال ۱۳۸۳- ۱۳۶۵ است که با توجه به منابع (Schuol et al., 2006; Yang et al., 2007) سه چهارم آن برای واسنجی و یک چهارم آن برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. عدم پیوستگی داده‌های رسوب (به دلیل عدم برداشت کافی آمار رسوب در ایستگاه قلعه شاهرخ) سبب شد که مدل نتواند به صورت ماهانه یا سالانه واسنجی و اعتبارسنجی شود و بنابراین، لازم است مدل به صورت روزانه اجرا شود تا امکان مقایسه بین داده‌های رسوب شبیه سازی شده با استفاده از مدل و داده‌های اندازه گیری شده به وجود آید.

با توجه به اینکه داده‌های اقلیمی بلند مدت و پیوسته برای تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و سرعت باد برای حوضه آبخیز مورد مطالعه موجود نیست، از روش هارگریوز- سامانی که فقط نیاز به بارندگی و درجه حرارت دارد، برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده شد (Neitsch et al, 2005). برای روند یابی جریان از روش ماسکینگام استفاده شد. بعد از اجرای اولیه مدل، مرحله واسنجی صورت گرفت. قبل از مرحله واسنجی لازم است تحلیل حساسیت مدل به منظور فهم رفتار مدل نسبت به پارامترهای مختلف و اطمینان از نتایج قابل قبول انجام شود. حساسیت مطلق با ثابت نگهداشتن همه پارامترها در مقدار واقعی و تنها با تغییر یک پارامتر در هر مرحله تعیین می شود. در ابتدا، چون حد مناسبی برای پارامترها در دسترس نیست، لازم است پارامترهای حساس بر اساس تجربیات و اندازه گیری‌های انجام شده در مطالعات قبلی انتخاب شوند. در این مطالعه برای تحلیل حساسیت مطلق از منابع و تجربیات موجود استفاده گردید (Rostamian, 2007; Jaleh, 2007; Scuol et al. 2006).

در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از روش بهینه سازی افزایش ضریب کارآیی استفاده شد (تابع هدف)، زیرا که این ضریب به عنوان یکی از بهترین تخمینگرهای برازش دهنده و یکی از روش‌های ارجح ارزیابی برای مقایسه در مطالعات هیدرولوژی و مطالعات ویژه SWAT معرفی شده است (Coffey et al, 2004).

برای ارزیابی مدل از شاخص‌های آماری ضریب تبیین، ضریب کارآیی، p-factor و d-factor استفاده شد. در این پژوهش با توجه به منابع (Schuol et al, 2006) p-factor بزرگتر از ۵۰ درصد و d-factor کمتر از یک به عنوان مقادیر رضایت بخش برای همه شبیه سازی ها انتخاب شدند. در برنامه SUFI-2 یک دامنه بزرگ عدم قطعیت برای هر پارامتر فرض می‌شود. بنابراین در ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح ppu ۹۵ قرار می‌گیرند و سپس این عدم قطعیت در گام‌های متوالی کاهش می‌یابد تا اکثر داده‌های مشاهده‌ای در محدوده ppu ۹۵ واقع شود که با پارامتر p-factor بیان می شود و فاصله متوسط بین حد بالا و حد پایین ۹۵ درصد تا حد ممکن کوچک شود که با پارامتر d-factor بیان می‌گردد(Schuol et al, 2006).

اجرای مدل در شرایط کاربری مطلوب منطقه

در این مرحله، مدل با نقشه کاربری اراضی بر اساس ارزیابی اراضی انجام شده برای حوضه آبخیز مورد مطالعه برای دوره زمانی ۱۳۸۳-۱۳۶۵ اجرا شد. در این مرحله، همه چیز با اجرای اولیه یکسان بود به جز نقشه کاربری اراضی تا بتوان اثر تغییر کاربری فعلی منطقه را به کاربری مطلوب بر اساس ارزیابی اراضی در تولید رواناب و رسوب به دست آورد. پس از اجرای مدل، با استفاده از برنامه SUFI-2 آنالیز عدم قطعیت برای رواناب روزانه و رسوب روزانه انجام شد. بعد از آن، به منظور مقایسه بین اجرای اولیه مدل (کاربری فعلی) و اجرای ثانویه مدل (کاربری بر اساس پتانسیل اراضی) از مقدارppu ۵۰ که میانگین اعداد عدم قطعیت مدل است، استفاده شد. در پایان، مقادیر رواناب و رسوب روزانه به دست آمد که در دو اجرای اولیه و ثانویه با استفاده از نرم افزار SPSS مورد آزمون t استیودنت قرار گرفتند.

نتایج و بحث

اجرای مدل در شرایط کاربری فعلی

نتایج نهایی واسنجی رواناب و رسوب روزانه در جدول (۲) و شکل‌های (۳) و (۴) و نتایج اعتبارسنجی رواناب و رسوب روزانه برای ایستگاه هیدرومتری قلعه شاهرخ در جدول (۳) و شکل‌های (۵) و (۶) آمده است. با توجه به ضرایب آماری به دست آمده، شبیه سازی ها قابل قبول می باشد. در مجموع می-توان چنین نتیجه گیری کرد که مدل قادر به پیش بینی رخدادهای آینده ایستگاه قلعه شاهرخ می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به جدول (۲)، واسنجی رواناب روزانه قابل قبول بوده و نشان از شبیه سازی خوبی دارد. مدل SWAT یک مدل بزرگ مقیاس با ورودی‌های نسبتا کم است که دقت در اندازه گیری‌های آنها را می طلبد و همچنین در تغییرات شدید و ناگهانی دقت لازم را ندارد و عموما در شبیه سازی اوج‌های رواناب و رسوب ضعیف عمل می کند. کمبود تعداد ایستگاه‌های اندازه گیری بارش و درجه حرارت در حوضه شاید دلیل اصلی عالی نشدن ضرایب مورد بررسی باشد.

ضعف مدل در شبیه سازی رسوب به عدم شبیه سازی خوب جریان وابسته است. از علت‌های دیگر ضعف مدل در شبیه سازی رسوب می توان به تعداد کم داده‌های روزانه رسوب استفاده شده در مرحله واسنجی، صحت داده‌های رسوب استفاده شده و مهمتر از همه پیوسته نبودن اطلاعات رسوب اشاره کرد. از آن جایی که در شبیه سازی روزانه میزان تغییرات شدیدتر است، بنابراین مدل در تخمین به صورت روزانه ضعیف-تر عمل می کند.

جدول۲- نتایج واسنجی رواناب و رسوب روزانه برای ایستگاه قلعه شاهرخ با استفاده از مدل SWAT2005 در فاصله زمانی ۱۳۶۵-۱۳۷۸

نوع داده	ایستگاه	تعداد داده	شاخص‌های آماری			
			p-factor (%)	d-factor	ضریب تبیین(%)	ضریب کارایی (%)
رواناب	قلعه شاهرخ	۵۱۱۴	۶۲	۰/۴۶	۷۵	۶۷
رسوب	قلعه شاهرخ	۵۵۷	۶۶	۰/۵۹	۵۷	۵۱

در همین رابطه، مطالعات انجام شده در حوضه آبخیز بنیکده در هند نشان داده است که مدل SWAT در شبیه سازی روزانه رواناب در مرحله واسنجی دقت بالایی (R2 = ۰/۷۷ و N-S = ۰/۷) داشته است. (Pandey, 2005). در مطالعات انجام شده در حوضه چائوهی در چین مقدار ضریب تبیین و کارآیی در مرحله واسنجی برای رسوب به ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۵۳ به دست آمده است (Yang et al, 2007).

همچنین مطالعات شده انجام در حوضه آبخیز بهشت آباد از زیرحوضه‌های رودخانه کارون شمالی نشان داد که مدل SWAT2000 در مرحله واسنجی رواناب و رسوب روزانه، رواناب را بهتر از رسوب پیش بینی کرد. علت رضایت بخش نبودن شبیه سازی رسوب در درجه اول خوب شبیه سازی نکردن جریان و سپس عدم پیوستگی اطلاعات رسوب است (Rostamiyan, 2007).

کاربرد مدل SWAT2000 در حوضه آبخیز ونک از زیرحوضه‌های رودخانه کارون شمالی نشان داد که در مرحله واسنجی شبیه سازی رسوب روزانه بسیار ضعیف تر از رواناب روزانه بود ، به طوری که ضریب تبیین برای چهار ایستگاه اندازه گیری کمتر از ۰/۳ و ضریب کارآیی برای دو ایستگاه منفی و برای دو ایستگاه دیگر نیز بسیار کم (۰/۲۲ و ۰/۱) به دست آمد. بنابراین، مرحله اعتبارسنجی برای رسوب روزانه انجام پذیر نبود. علت این نتایج شخم زدن در جهت شیب به ویژه در دیمزارها عنوان شد که در مدل در نظر گرفته نشده است در صورتی که سبب فرسایش زیاد خاک شده است (Jaleh, 2007).

همان طور که جدول (۳) نشان می دهد، در مرحله اعتبارسنجی مدل رواناب را با ضریب تبیین ۰/۷۲ و با ضریب کارآیی ۰/۵۹ برای رواناب روزانه شبیه سازی کرده است که نشان از شبیه سازی خوبی در این مرحله دارد.

جدول۳. نتایج اعتبارسنجی رواناب و رسوب روزانه روزانه برای ایستگاه قلعه شاهرخ با استفاده از مدل SWAT2005 در فاصله زمانی ۱۳۷۸-۱۳۸۳

نوع داده	ایستگاه	تعداد داده	شاخص‌های آماری			
			p-factor (%)	d-factor	ضریب تبیین (%)	ضریب کارایی(%)
رواناب	قلعه شاهرخ	۱۸۲۶	۷۳	۰/۴۵	۷۲	۵۹
رسوب	قلعه شاهرخ	۱۹۱	۷۱	۰/۵۹	۵۲	۴۵

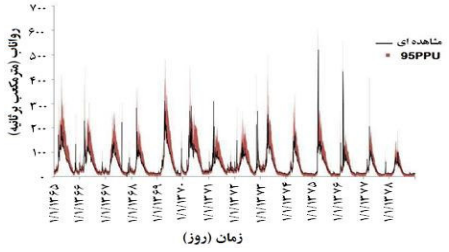
اگرچه مقدار ضریب تبیین برای شبیه سازی رسوب ۰/۵۲ است اما مقدار ضریب کارآیی از ۵۰ درصد کمتر است که نشان از شبیه سازی ضعیف مدل دارد. آنچه که از ضریب تبیین و کارآیی برداشت می شود این است که در مجموع مدل شبیه سازی متوسطی برای اعتبارسنجی رسوب روزانه داشته است.

در همین رابطه مقدار ضریب تبیین و کارآیی در مرحله اعتبارسنجی برای رواناب روزانه در حوضه آبخیز چائوهی در چین به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۷۵ به دست آمد و مقدار ضریب

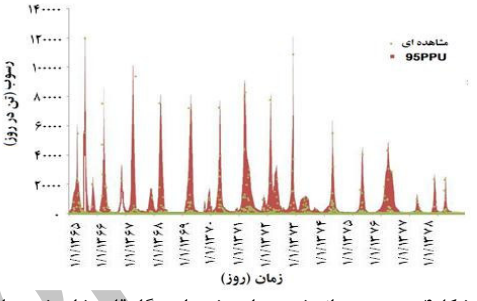
Archive of SID

www.SID.ir

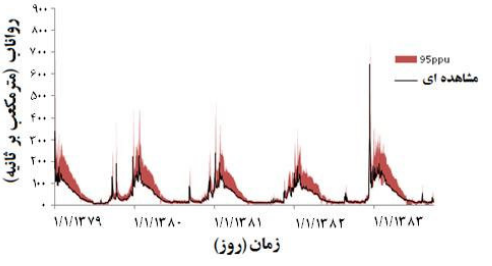
تبیین و کارایی برای اعتبارسنجی رسوب روزانه به ترتیب ۰/۴ و ۰/۳۷ به دست آمد (Yang et al, 2007).



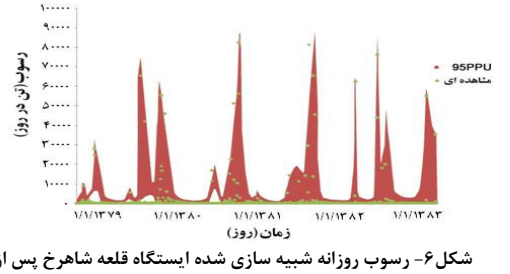
شکل۳- رواناب روزانه شبیه سازی شده ایستگاه قلعه شاهرخ پس از واسنجی در فاصله زمانی ۱۳۶۵-۱۳۷۸



شکل۴- رسوب روزانه شبیه سازی شده ایستگاه قلعه شاهرخ پس از واسنجی در فاصله زمانی ۱۳۶۵-۱۳۷۸



شکل۵- رواناب روزانه شبیه سازی شده ایستگاه قلعه شاهرخ پس از اعتبارسنجی در محدوده زمانی ۱۳۷۸-۱۳۸۳



شکل۶- رسوب روزانه شبیه سازی شده ایستگاه قلعه شاهرخ پس از اعتبارسنجی در محدوده زمانی ۱۳۷۸-۱۳۸۳

در حوضه آبخیز ونک از زیرحوضه‌های کارون شمالی در مرحله اعتبارسنجی رواناب ماهانه برای چهار ایستگاه اندازه گیری ضریب تبیین‌های نسبتاً بالایی به دست آمد (۰/۷ تا ۰/۸۷) در حالی که ضریب کارآیی برای یک ایستگاه منفی به دست آمد و سبب غیر قابل قبول شدن نتایج آن ایستگاه گردید. ولی اعتبارسنجی سه ایستگاه دیگر رضایت بخش بود (Jale, 2007).

نتایج ارزیابی اراضی برای کاربری‌های اصلی در حوضه آبخیز زاینده رود

از این نتایج درمجموع می توان دریافت که منطقه مورد مطالعه داری محدودیت‌های نسبتاً شدیدی برای کاربری‌های اصلی است، به طوری که کلاس اراضی هیچ کدام از کاربری ها از کلاس ۳ بهتر نشد و همان طور که قبلاً نیز اشاره شد محدودیت اصلی در منطقه مطالعاتی، توپوگرافی و فرسایش و در درجه بعدی خاک است. جدول (۴) خلاصه ای از کاربری‌های توصیه شده از روش ارزیابی اراضی را نشان می دهد. در مقایسه با کاربری‌های فعلی منطقه مورد مطالعه که کاربری کشاورزی آبی ۲/۷ درصد و کشاورزی دیم ۱۵/۶ درصد را تشکیل می دهد، مشاهده می شود که در کاربری‌های توصیه شده، کشاورزی دیم وجود ندارد و درصد کشاورزی آبی توصیه شده ۲۲ درصد است. در مورد مرتع در کاربری فعلی مشاهده می شود که ۸۰/۹۸ درصد مساحت را در منطقه مراتع (سه تیپ مرتعی خوب، متوسط و فقیر) تشکیل می دهند در حالی که در کاربری‌های توصیه شده، مرتع ۴۲ درصد منطقه را تشکیل می دهد. در حوضه آبخیز مورد مطالعه جنگل طبیعی موجود نبود، در حالی که در کاربری‌های توصیه شده، ۳۶ درصد مساحت منطقه را جنگل تشکیل می دهد. همه این اختلافات بیانگر این نکته هستند که اراضی حوضه آبخیز زاینده‌رود بر اساس پتانسیل خود مورد بهره برداری قرار نمی گیرند.

جدول۴- درصد کاربری‌های به دست آمده از روش ارزیابی اراضی در حوضه آبخیز زاینده رود

ردیف	اجزاء واحد اراضی	کاربری توصیه شده	مساحت (ha)	درصد مساحت
۱	۱،۱،۳ ، ۱،۸،۱ ، ۸،۱،۱ ، ۲،۱،۲ ، ۱،۱،۲ ، ۱،۲،۱	جنگل	۴۸۰۱۹/۲۷	۳۶
۲	۲،۱،۳ ، ۳،۲،۱ ، ۸،۱،۲ ، ۱،۱،۱ ، ۲،۱،۱ ، ۳،۱،۱	مرتع	۵۳۳۵۴/۷۵	۴۲
۳	۳،۱،۲ ، ۳،۱،۳ ، ۳،۳،۱ ، ۵،۱،۱	کشاورزی آبی	۳۲۰۱۲/۸۵	۲۲

نتایج اجرای ثانویه مدل برای کاربری مطلوب منطقه

به دلیل این که در این مرحله، شرایط معرفی شده به مدل واقعیت ندارد، چون نقشه کاربری به مدل داده شده که در منطقه، وجود خارجی ندارد و در واقع، کاربری ایده آلی است که

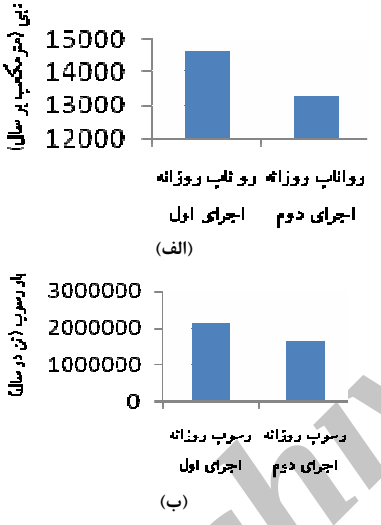
Archive of SID
www.SID.ir

از روش ارزیابی اراضی به دست آمده است، پس داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه هیدرومتری قلعه شاهرخ برای چنین شرایطی قابل استفاده نیستند. بنابراین، در این مرحله، داده مشاهده‌ای موجود نیست که بتوان با آن مدل را واسنجی کرد و بهترین شبیه سازی را به دست آورد. به همین دلیل، نتایج به دست آمده از مدل که فقط به صورت دامنه‌ای از اعداد به دلیل عدم قطعیت است، به دست آمد و برای این که بتوان بعداً این اعداد را با نتایج مرحله اول اجرای مدل مقایسه کرد، از مقدار ۵۰ppu که در واقع میانگینی از دامنه اعداد عدم قطعیت است، استفاده شد و برای مقایسه بین اجرای مرحله اول و مرحله دوم نیز از همین مقدار ۵۰ppu استفاده به عمل آمد. همچنین، لازم به ذکر است که به دلیل نبود داده‌های مشاهده‌ای، هیچ یک از شاخص‌های آماری ارزیابی مدل از جمله ضریب تبیین و ضریب کارآیی قابل محاسبه نبوده و برای مقایسه بین اجرای مرحله اول و مرحله دوم علاوه بر مقایسه چشمی نمودارهای ppu ۵۰ مرحله اول و دوم برای رواناب روزانه و رسوب روزانه از آزمون t استیودنت استفاده شد.

نتایج مقایسه رواناب روزانه مرحله اول (کاربری فعلی) و دوم (کاربری مطلوب) در شکل(۷ - الف) و مقایسه رسوب روزانه مرحله اول (کاربری فعلی) و دوم (کاربری مطلوب) در شکل (۷- ب) ارائه شده است. نتایج به دست آمده از مقایسه اجرای اولیه و ثانویه مدل، با استفاده از آزمون t استیودنت نشان می‌دهند که اختلاف بین رواناب روزانه اولیه و ثانویه و اختلاف بین رسوب روزانه اولیه و ثانویه هر دو در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی دار هستند.

مقایسه مقدار ۵۰ppu برای رواناب روزانه در مرحله اول و دوم (شکل ۸) نیز نشان از کاهش مقدار کل رواناب در مرحله دوم دارد که این کاهش در اوج رواناب‌ها به وضوح دیده می‌شود، در حالی که در بسیاری از سال‌ها افزایش مقدار جریان پایه رودخانه مشهود است که علت آن تغییر کاربری شدید در منطقه و پوشش جنگلی اضافه شده در مرحله دوم و همچنین افزایش مراتع در این مرحله می باشد. از دیگر دلایل مهم این اثر آن است که در حوضه آبخیز شاخه اصلی زاینده رود، تقریبا ۹۰ درصد بارش در منطقه کوهرنگ اتفاق می افتد و کاربری این منطقه در اجرای اولیه مدل، اکثراً مراتع چراشده و دیم زارها بوده است که در مرحله دوم بخش بزرگی از آن تبدیل به جنگل شده است. این پوشش گیاهی غنی در این مرحله سبب تعرق گیاهی زیاد و همچنین تبدیل شدن بخش بزرگی از بارش به برگاب و ساقاب گردیده که در نهایت اثر خود را بر روی مقدار کل رواناب و به خصوص اوج‌های رواناب در سال‌های مختلف گذارده است. همچنین، رشد ریشه‌های این درختان در خاک نیز سبب بهبود حرکت آب در داخل خاک شده و جریان پایه ای با نوسانات کمتر و دبی بهتر برای رودخانه ایجاد می کند.

مقایسه مقدار ۵۰ppu برای رسوب روزانه در مرحله اول و دوم (شکل۹) نیز نشان از کاهش شدید مقدار رسوب در مرحله دوم دارد که این کاهش در اوج ها بیشتر است. علت کاهش مقدار رسوب در این مرحله، در درجه اول کاهش رواناب بوده که خود ناشی از تغییر شدید کاربری است. به خصوص که در مرحله دوم کاربری دیم زار از نقشه حذف شده است، زیرا که دیم زارها به دلیل شخم و شیار نادرست و در جهت شیب محل تولید رسوبات زیادی در منطقه در مرحله اول هستند. همچنین، پوشش غنی گیاهی جنگل و مرتع نیز سبب کاهش مقدار رسوب حمل شده به وسیله رواناب شده است.



شکل۷- الف) مقایسه رواناب روزانه اجرای اولیه (کاربری فعلی) و ثانویه (کاربری مطلوب) در فاصله زمانی ۱۳۶۵-۱۳۸۳
ب) مقایسه رسوب روزانه اجرای اولیه (کاربری فعلی) و ثانویه (کاربری مطلوب) در فاصله زمانی ۱۳۶۵-۱۳۸۳

در همین رابطه مطالعات نشان داده اند که اگر درختزارها پوشش تاجی حد آستانه را داشته باشند، حجم رواناب کمتری تولید می‌کنند، در حالی که بیشتر از همه تیپ‌های کاربری تبخیر و تعرق انجام می دهند (Huang et al, 1999). همچنین مطالعات در حوضه آبخیز دیل در آلمان نیز نشان داده‌اند که مدل SWAT به خوبی توانسته است اثرات تغییر کاربری را نشان دهد. در این تحقیق مهمترین جابه جایی تغییر کاربری از جنگل به علفزار و برعکس بود، بنابراین، در همه سناریوها درصد کمی از کاربری به کشاورزی اختصاص داشت و در نتیجه اثرات تغییر کاربری بر روی بار رسوب و هدررفت عناصر غذایی نسبتا کم بود. ولی برعکس برای نیترات یک روند واضح کشف شد و آن این که با تبدیل جنگل به علفزار، هدررفت نیترات افزایش

Archive of SID
www.SID.ir

یافت. آن‌ها همچنین گزارش کردند که اثر تغییر زمین‌های کشاورزی وقتی می تواند تشخیص داده شود که این تغییرات زیاد باشند (Lenhart et al, 2003). بررسی‌های انجام گرفته در حوضه آبخیز رودخانه جینگه در چین بیانگر این مطلب است که تبدیل بوته زارها و درختزارهای تنک به علفزارهای با پوشش متوسط یا بالا مستقیماً مقدار رواناب و آب خاک را کاهش داده است در حالی که سبب افزایش تبخیر وتعرق گشته است (Zhi et al, 2009).

نتیجه گیری

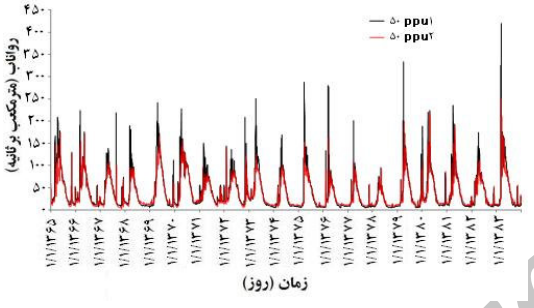
در این تحقیق مدل SWAT2005 توانست رواناب و رسوب روزانه را برای ایستگاه هیدرومتری قلعه شاهرخ در حوضه آبخیز رودخانه شاخه اصلی زاینده رود در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به نحو رضایت‌بخشی شبیه سازی کند. در مجموع، مدل SWAT2005 رواناب را بهتر از رسوب ارزیابی کرد. علت آن پیچیده تر بودن فرآیند تولید رسوب نسبت به رواناب است که در مدل در نظر گرفته نشده است (به دلیل استفاده از مدل MUSLE برای محاسبه رسوب در مدل). علاوه بر نقطه ضعف-هایی که هر مدل در شبیه سازی دنیای واقعی دارد، در این تحقیق علت‌های دیگری هم سبب اختلاف شبیه سازی‌های مدل با مقادیر مشاهده‌ای شده‌است که در واقع فقط اختصاص به این تحقیق و شرایط موجود در کشور دارند. از جمله آن ها می توان به کمبود شدید ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه برای اندازه گیری باران، برف، رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خورشیدی، کوتاه بودن دوره آماری اکثر ایستگاه ها، کمبود تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری و عدم پیوستگی اطلاعات رسوب ایستگاه موجود، نبود نقشه خاک واقعی در منطقه و تطابق نسبی نقشه کاربری موجود با پایگاه داده‌ای مدل اشاره نمود. در اجرای ثانویه مدل با نقشه کاربری اراضی به دست آمده از روش ارزیابی اراضی نتایج زیر حاصل شد:

مقدار کل رواناب و رسوب شبیه سازی شده در اجرای ثانویه نسبت به اجرای اولیه به طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) کمتر بود که اثر مهم نوع کاربری) را در حفاظت آب و خاک نشان می‌دهد.

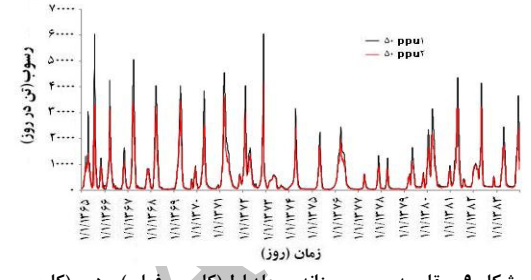
۱. روش ارزیابی اراضی استفاده شده در این تحقیق می‌تواند علی رغم نواقصی که دارد، در برنامه‌های حفاظت آب و خاک و همچنین برنامه‌ریزی‌های استفاده از اراضی با موفقیت جهت نیل به حداقل هدررفت خاک به کار گرفته شود.

۲. اراضی حوضه آبخیز زاینده رود بر اساس پتانسیل خود مورد بهره برداری قرار نمی‌گیرند.

۳. ارزیابی اراضی بر اساس قابلیت آنها رواناب و رسوب کمتری را ایجاد می کند.



شکل ۸- مقایسه رواناب روزانه مرحله اول(کاربری فعلی) و دوم (کاربری توصیه شده) بر اساس ۵۰ppu



شکل ۹- مقایسه رسوب روزانه مرحله اول(کاربری فعلی) و دوم (کاربری توصیه شده) بر اساس ۵۰ppu

REFERENCES

Ababaei, B. and Sohrabi, T. (2010). Assessing the performance of SWAT model in Zayandeh Rud watershed. *Journal of Water and Soil Conservation,* 16(3). (In Farsi)

Abbaspour, K. C. (2009). *SWAT-CUP2: SWAT calibration and uncertainty programs- A User Manual*. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modeling (SIAM), Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland.

Abbaspour, K. C., I. Yang., R. Maximov., K. Siber., J. Bogner., J. Mieleitner., R. Zobrist., R. Sirinivasan and P. Reichert. (2006). Modelling of hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*. 354, 14-24.

Akbari, M. (2000). Protect this valuable soil. *Journal of range and forest*. 48, 74-82. (In Farsi)

Ayoubi, S. and Jalalian. A. (2006). *Land Evaluation*. Isfahan. (In Farsi)

Bingner, R. L., J. Garbrecht, J. G. Arnold and R. Srinivasan. (1997). Effect of watershed subdivision on simulation runoff and fine sediment yield. *Trans. ASAE*. 40, 1329- 1335.

Coffey, A. E., S. R Workman. J. L. Taraba and A.W. Fogle. (2004). Statistical procedures for evaluating daily and monthly hydrologic model

Archive of SID
www.SID.ir

predictions. *Trans. ASAE*. 47, 59–68.

Huang, M. B., S. Z. Kang, and Y. S.LI, (1999). A comparison of hydrological behavior of forest and grassland watersheds in gully region of the Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*. 14, 226–231

Jaleh, A. (2007). Evaluation of runoff and sediment estimation in Vanak watershed from northern Karun using SWAT2000. MS. Isfahan University of technology, Isfahan. (In Farsi)

Jalalian, A. (2011). Soil degradation and its effect in Iran. In: Twelve Iran soil congress. 3-5 September. Tabriz university, Iran. (In Farsi)

Lenhart T., N. Fohrer and H. G. Frede. (2003). Effects of land use changes on the nutrient balance in mesoscale catchments. *Physics and Chemistry of the Earth.* 28, 1301-1309.

Neitsch, S. L., J. G. Arnold. J. R. Kiniry. J. R. Williams and K. King. (2005). *Soil and water assessment tool: Theoretical documentation*. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station.

Pandey. V.K., S. N. Panda and S. Sudhakar. (2004). Modelling of an Agricultural Watershed using Remote Sensing and a Geographic Information System. *Biosystem Engineering*. 90, 331-347.

Pimentel, D., C. Harvey. P. Resosudarmo. K. Sinclair. D. Kurz. M. McNair. S. Crist. L. Shpritz. L. Fittan. L. Saffouri and R. Balair. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Sciences*. 267, 1117-1121.

Schuol, J., K. C. Abbaspour, H. Yang, P. Reichert, R. Srinivasan, Ch. Schar and A. J. B. Zehnder. (2006). Estimation of freshwater availability in the west Africa subcontinent. *Journal of Hydrology*. 254, 58-69.

Rostamian, R. (2007). Estimation of runoff and sediment in Behestabad watershed in northern Karun using SWAT2000. MS. Isfahan University of technology, Isfahan. (In Farsi)

Yang, J.P., Reichert. K.C. Abbaspour. J. Xia and H. Yang. (2007). Hydrological modelling of the Chaohe Basin in China: Statistical model formulation and Bayesian inference. *Journal of Hydrology*. 4, 167-172.

Zhi L., W. Liu. X. C. Zhang and F. L. Zheng. (2009). Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology*. 377, 35-42.

Archive of SID

www.SID.ir