دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ارزیابی کارایی مدل فیزیکی LISEM در شبیه سازی آبنمود سیلاب حوزه آبخیز معرف و زوجی کچیک استان گلستان

آ. کلته[۱]، و. شیخ[۲]، ا. سعدالدین[۲]، ن. نورا[۲] و ی. همت‌زاده[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، نویسنده مسئول: v.sheikh@yahoo.com
۳- کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی استان گلستان

چکیده

مدلسازی در ارزیابی و شناخت سیستم آبخیزها از نقطه نظر درک بهتر روند مسائل هیدرولوژیکی و فرسایشی اهمیت ویژه‌ای دارد. در این راستا مدل‌های بسیاری برای شبیه‌سازی فرآیندهای حوزه آبخیز وجود دارد که معمولاً دقیق‌ترین و پیچیده‌ترین آنها مدل‌های با پایه فیزیکی هستند. لیسم نمونه‌ای از مدل‌های با مبنای فیزیکی است. این مدل هیدرولوژیکی و فرسایش خاک اولین بار در دهه ۱۹۹۰ در تپه ماهورهای لسی کشور هلند با هدف رسیدن به راهبردهای مدیریت پایدار طراحی و ساخته شد و براساس شبکه سلولی و در مقیاس حوزه آبخیز عمل می‌کند و عملکرد آن محدود به وقایع رگباری است. اراضی تپه ماهوری حاصلخیز شرق استان گلستان به دلیل وجود سازندهای لسی ضخیم، رشد جمعیت، استفاده بیش از حد از زمین و شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه دچار رخنمون فرسایش‌های شیاری، خندقی و آبراهه‌ای در سطح وسیع و وقوع سیلاب‌های مخرب در منطقه می‌باشد. توجه به شرایط مذکور و خسارات‌های مالی و جانی فراوان در منطقه اهمیت شناخت منطقه را از نظر مدیریت پایدار منابع آب و خاک نشان می‌دهد. به دلیل تشابه نسبی شرایط ادافیکی و اقلیمی این منطقه با اراضی تپه ماهوری لسی جنوب هلند که مدل لیسم برای آنجا طراحی شده است، در این تحقیق سعی گردید کارایی بخش هیدرولوژیکی مدل شبیه‌سازی لیسم که پیش نیاز بخش فرسایش آبی آن نیز می‌باشد برای حوزه آبخیز کچیک که یک حوزه معرف و زوجی و مجهز به سیستم‌های پایش گوناگون می‌باشد ارزیابی گردد. نتایج حاصل از کاربرد این مدل در حوزه آبخیز کچیک نشان می دهد که همبستگی خوبی (بیش از ۸۰ درصد) بین آبنمودهای مشاهداتی و آبنمودهای شبیه‌سازی وجود دارد. به ویژه این که از نظر خصوصیات مهم آبنمود همچون: دبی اوج لحظه‌ای، حجم رواناب و زمان رسیدن به دبی اوج بین دو آبنمودهای مشاهداتی و برآوردی تطابق خوبی مشاهده می‌شود. این نتایج بیانگر کارآیی مناسب این مدل در شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب حوزه آبخیز کچیک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدلسازی، LISEM، شبیه‌سازی سیل، حوزه آبخیز کچیک

مقدمه

درک و شناخت حوزه‌های آبخیز یکی از ابتدایی‌ترین اقدامات در مدیریت پایدار این سیستم‌ها محسوب می‌گردد. به دلیل ناهمگنی موجود در حوزه‌های آبخیز و غیر خطی بودن رفتارهای هیدرولوژیکی و فرسایشی، شناخت کامل روابط موجود در آنها، بسیار پیچیده و مشکل می‌باشد (۱۴). برای ارزیابی و بررسی حوزه های آبخیز، اندازه‌گیری که قابل اعتمادترین روش کسب اطلاعات و شناسایی سیستم‌ها می‌باشد به تنهایی قادر به کشف روابط پیچیده موجود در سیستم آبخیزها نمی‌باشد، در نتیجه مدلسازی صورت می‌گیرد (۱۹). مدلسازی هیدرولوژیکی و فرسایش خاک می‌تواند با افزایش شناخت انسان از حوزه‌های آبخیز کمک زیادی در کاهش بلایای طبیعی همچون سیل، فرسایش خاک و زمین لغزش داشته باشد (۲). لذا حفاظت در برابر سیلاب‌ها، حفظ و بهبود کیفیت آب و خاک و برنامه‌های مدیریت آب و خاک نیازمند فهم خوب و دقیق از مدلسازی هیدرولوژیکی و فرسایش در حوزه‌های آبخیز دارد (۱۲). مدل ها از لحاظ پیچیدگی و اطلاعات لازم دارای درجه بندی و کاربرد متفاوت هستند و براساس فرآیندهای شبیه‌سازی فیزیکی، همانند الگوریتم ها و محاسبات توصیفی فرآیندها و اطلاعات اولیه به سه گروه کلی شامل: مدل‌های تجربی یا آماری، مدل های مفهومی یا ادراکی و مدل‌های فیزیکی تقسیم می‌شوند (۱۷).

مدل LISEM[1] نمونه‌ای از مدل های قطعی ریاضی با مبنای فیزیکی است که در سال ۱۹۹۱ با همکاری گروهی از مسئولان محلی، استانی و کشوری، گروه جغرافیای فیزیکی دانشگاه یوترخت[2] و دانشگاه آمستردام و نیز گروه فیزیک خاک دانشگاه واگنینگن[3] در سه حوزه آبخیز منطقه‌ی لیمبرگ[4] در جنوب کشور هلند با هدف رسیدن به راهبردهای مدیریت پایدار در مسئله فرسایش خاک توسعه داده شد (۵). این مدل براساس راه حل معادلات اساسی فیزیک به شبیه سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایش خاک در مقیاس حوزه‌های آبخیز کوچک می پردازد. لیسم یک مدل توزیعی است پس پیش‌بینی فضایی فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایش خاک در هر نقطه از آبخیز امکان‌پذیر می‌باشد، زیرا بر اساس شبکه سلولی و در مقیاس حوزه آبخیز عمل می‌کند. همچنین لیسم مدلی ناپیوسته است و عملکرد آن محدود به وقایع رگباری می‌باشد (۸).

دیرو (۶) در مطالعه فرسایش خاک مناطق لسی کشور هلند، اثرات روش های حفاظتی و تغییر کاربری زمین را با استفاده از مدل LISEM ارزیابی کرد و میزان جریان سطحی، فرسایش و رسوب را در سه آبخیز منطقه ی لیمبرگ در جنوب کشور هلند مورد بررسی قرار داد. نتایج شبیه سازی در حوزه های سه‌گانه منطقه ی لیمبرگ، حکایت از کاهش دامنه ی مشکلات مربوط به فرسایش و سیل در اثر اقدامات حفاظتی داشت. هسل (۱۱) برای ارزیابی اثرات فرسایش آبی در فلات لسی حوزه آبخیز رودخانه زرد چین که اغلب طوفان های سنگینی در طول سال در آن جا رخ می دهد از مدل فیزیکی LISEM در حوزه

1- Limburg Soil Erosion Model
2- Utrecht
3- Wageningen
4- Limburg

آبخیز دانانگو[1] استفاده کرد. نتایج ایشان نشان داد که مدل لیسم نه تنها میزان تراکمی رواناب و رسوب را در خروجی حوزه نشان می دهد بلکه الگوی فضایی دقیقی از رواناب سطحی و فرسایش خاک را شبیه سازی می‌نماید. استولت و همکاران (۲۳) در دو ایالت کشور نروژ برای حفظ و طراحی مناسب جاده‌ها و با هدف اندازه‌گیری میزان ذوب برف، قابلیت نفوذ لایه‌های منجمد شده خاک و میزان آب قابل زهکشی به شبیه سازی فرآیند رواناب با استفاده از مدل LISEM پرداختند. نتایج بدست آمده امکان کاربرد این مدل در محاسبه میزان رواناب را برای آبخیزهای کوچک تأیید نمود.

مدل لیسم برای حوزه های دارای خاک های عمیق لسی و شرایط اقلیمی معتدل طراحی شده است و از اولین نمونه مدل ها با مبنای فیزیکی فرسایش خاک است که در محیط PCRaster کدنویسی شده است. PCRaster یک محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و زبان برنامه نویسی سطح بالاست که به منظور ساده کردن برنامه نویسی دینامیک برای متخصصان علوم محیط زیست که عموماً دارای دانش برنامه نویسی رایانه‌ای پیشرفته نمی‌باشند ارائه شده است (۱۳). حوزه‌ی آبخیز کچیک به عنوان یک حوزه معرف و زوجی و مجهز به سیستم‌های پایش، برای ارزیابی اقدامات آبخیزداری معرفی شده است. وجود سازندهای لسی عمیق، رشد جمعیت، استفاده بیش از حد از زمین و شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه موجب رخنمون فرسایش‌های شیاری و آبراهه‌ی در سطح وسیعی از حوزه و وقوع سیلاب‌های مخرب در منطقه گردیده است. توجه به شرایط مذکور و خسارت‌های مالی و جانی فراوان در منطقه اهمیت شناخت منطقه را از نظر مدیریت منابع آب، مهندسی رودخانه و سازه‌های کنترل سیل، ذخیره سیلاب و همچنین اقدامات مدیریتی لازم جهت حفظ خاک و جلوگیری از فرسایش نشان می‌دهد. اما پیش از اجرای عملیات مدیریتی و حفاظتی، اطلاع از میزان تأثیر اقدامات مختلف و انتخاب بهترین گزینه مدیریتی، کمک شایانی به مدیران منابع طبیعی (بخش اجرا) خواهد نمود. مدل‌ها ابزار مناسبی را برای ارزیابی سناریوهای مدیریتی و انتخاب بهترین گزینه‌ای مدیریتی فراهم می‌نمایند. مدل‌ها برای اهداف و مناطق مختلف طراحی می‌شوند و قبل از به‌کارگیری آنها در یک منطقه باید از عملکرد آن برای هدف و منطقه مورد نظر اطمینان حاصل گردد. بنابراین در این تحقیق عملکرد مدل لیسم برای شبیه‌سازی سیل اراضی تپه ماهوری لسی شرق استان گلستان که هر ساله خسارت‌های زیادی به بار می‌آورد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

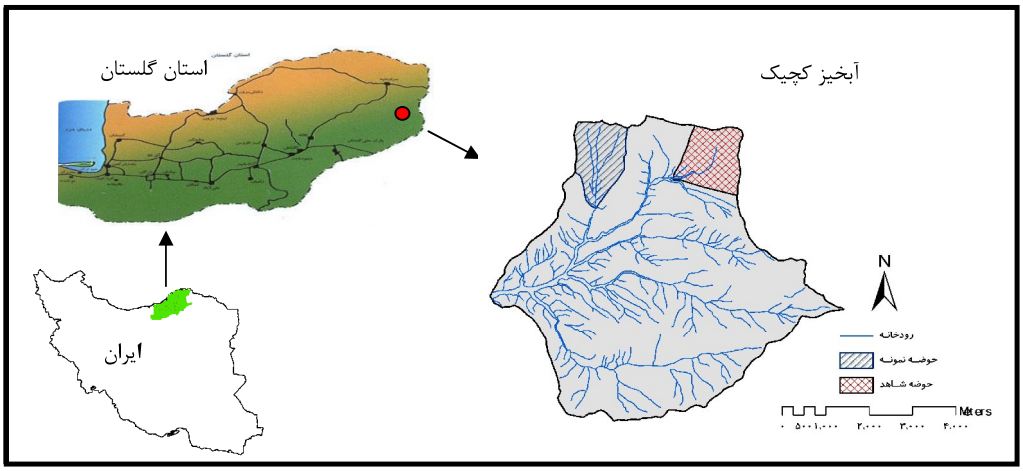
مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق برای ارزیابی شبیه‌سازی سیل در اراضی تپه ماهوری لسی شرق استان گلستان، حوزه آبخیز معرف و زوجی کچیک انتخاب گردید. حوزه آبخیز معرف و زوجی کچیک دارای مساحتی در حدود ۳۶۰۰ هکتار می‌باشد که خود زیرحوزه‌ی کوچکی از آبخیز

1- Danangou

قرناوه بوده و آبخیز قرناوه نیز یکی از زیرحوزه‌های چندگانه حوزه آبخیز گرگانرود است. این حوزه دارای حداقل ارتفاع ۶۲۰ متر و حداکثر ارتفاع ۱۲۶۴ متر از سطح دریا می‌باشد که در بین طول‌های جغرافیایی ″۱۰ ′۵۲ °۵۵ تا ″۵۲ ′۵۷ °۵۵ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۱۵ ′۴۲ °۳۷ تا ″۲۵ ′۴۶ °۳۷ شمالی قرار گرفته است. با توجه به آمار ۱۵ ساله بارندگی، متوسط سالانه بارش منطقه ۴۸۲ میلی‌متر بوده که بیشترین بارش مربوط به فصل زمستان و کمترین بارش مربوط به فصل تابستان است. همچنین متوسط دمای سالانه منطقه ۱۶/۷ °C است. واحد فیزیوگرافی در این حوزه عمدتاً متشکل از نقاط کوهستانی نسبتاً مرتفع می‌باشد که کاربری اراضی آنها زراعت دیم و در مناطق مرتفع، پوشش ناچیز گیاهی و در نواحی پرشیب، پوشش از نوع بوته و درختچه‌های جنگلی نسبتاً پراکنده است. منطقه از لحاظ لیتولوژی، یکنواخت و از مواد مادری لسی تشکیل یافته است (۱۰). شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز کچیک در استان گلستان را نشان می‌دهد.

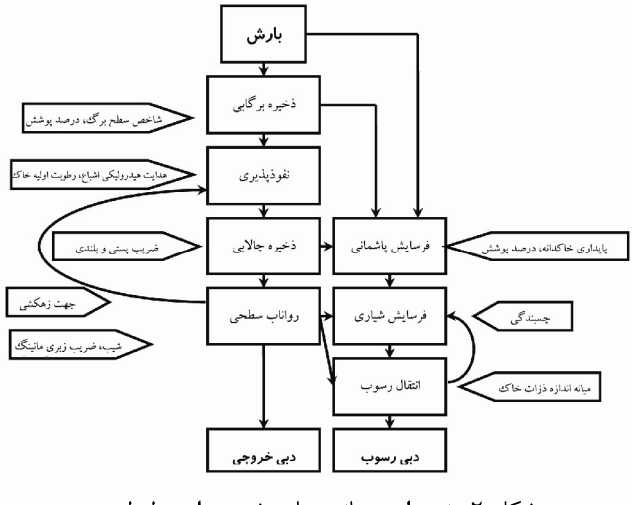


شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز کچیک در استان گلستان.

تشریح مدل فیزیکی لیسم

مدل فیزیکی لیسم یک نوع مدل هیدرولوژیکی و فرسایش خاک است که باران اصلی‌ترین ورودی قسمت هیدرولوژیکی مدل می‌باشد. از آنجا که لیسم براساس شبکه‌ی سلولی طراحی شده، در هر سلول با توجه به میزان بارش رگباری (معمولاً در این نوع بارش‌ها بیشترین فرسایش خاک رخ می‌دهد) و مؤلفه‌های هیدرولوژیکی همچون ذخیره برگابی، ذخیره چالابی و نفوذ، رواناب تولیدی را شبیه‌سازی می‌نماید. پس از شبیه‌سازی رواناب تولیدی حاصل از هر رگبار، مدل، میزان فرسایش سطحی را با استفاده از اصل توان جریان محاسبه می‌کند (۱۶). شکل ۲ نمودار

جریانی ساده شده‌ی مدل و پارامترهای ورودی مورد نیاز هر کدام از فرآیندها و مؤلفه‌های هیدرولوژیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار جریانی ساده شده‌ی از مدل لیسم.

با توجه به ساختار لیسم مراحل اصلی مطرح شده در بخش هیدرولوژیکی مدل شامل: بارش، ذخیره‌ی برگابی، نفوذ، ذخیره‌ی چالابی و رواناب می‌باشند. همچنین لازم به ذکر است که عملکرد این مدل محدود به مدت یک رگبار می‌باشد. محدود نمودن محاسبات به بازه زمانی یک رگبار بدان جهت است که اجرای مدل برای گام‌های زمانی ۵ تا ۱۵ ثانیه برای تک تک سلول‌ها در سطح یک حوزه آبخیز برای یک رایانه معمولی امکان‌پذیر گردد. همچنین در صورت وسیع بودن حوزه‌ی مورد مطالعه، اجرای پیوسته مدل نیاز به مدت زمان محاسبات کامپیوتری طولانی خواهد داشت که عملاً امکان‌پذیر نیست (۸).

ورودی‌های مدل لیسم

ورودی‌های مدل لیسم مجموعه‌ای از یک سری نقشه‌های راستری، اطلاعات فیزیک خاک و بارندگی منطقه می‌باشد که به‌صورت زیر تشریح می‌گردند.

نقشه‌های ورودی: تمامی نقشه‌های ورودی و خروجی مدل به‌صورت راستری می‌باشند که در محیط PCRaster که یک محیط برنامه‌نویسی سطح بالا بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی است تهیه و نمایش داده می‌شوند. حداقل تعداد نقشه‌های لازم برای اجرای مدل، بیست و چهار تا است، که اکثر اینها از چهار نقشه‌ی پایه تهیه می‌شود که عبارتند از: نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، کاربری اراضی، نوع خاک، و مناطق نفوذناپذیر حوزه (جاده‌ها و برون‌زدسنگی و ...). نقشه‌های ورودی بخش هیدرولوژیکی در محیط مدل لیسم به ترتیب زیر می‌باشند:

۱- نقشه‌های آبخیز[1]: نقشه‌های آبخیز به‌طور خودکار با استفاده از توابع سامانه اطلاعات

1- Watershed maps

جغرافیایی PCRaster از نقشه مدل رقومی ارتفاع ساخته می‌شود. نقشه مدل رقومی ارتفاع حوزه کچیک در محیط نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از نقشه توپوگرافی۱:۲۵۰۰۰ تهیه گردید و بعد از تبدیل به فایل ASCII به محیط PCRaster منتقل گردید. جدول ۱ نقشه‌های آبخیز ساخته شده از نقشه مدل رقومی ارتفاع را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نقشه‌های آبخیز مورد نیاز مدل لیسم

نام نقشه	نوع نقشه	کاربرد
LDD	شبکه زهکشی محلی	مسیر رواناب سطحی
Area	نقشه مرز حوزه	بررسی نقشه‌های دیگر از لحاظ تعداد و مکان سلول‌ها
ID	نقشه گستره باران‌سنج‌ها	نشان دهنده‌ی گستره‌ی تحت پوشش باران‌سنج‌ها
Grad	شیب حوزه	نشان دهنده‌ی شیب در مسیر LDD
Outlet	خروجی حوزه	نشان دهنده‌ی خروجی اصلی حوزه

۲- نقشه‌های پوشش‌گیاهی: پوشش‌گیاهی در مراحل محاسبه ذخیره برگابی و فرسایش خاک توسط باران کاربرد دارد. پارامترهای مورد نیاز برای ساخت نقشه‌های پوشش‌گیاهی در محیط لیسم شامل: شاخص سطح برگ، درصد پوشش‌گیاهی و ارتفاع پوشش است. شاخص سطح برگ نشان دهنده‌ی متوسط سطح پوشش‌گیاهی در یک شبکه‌ی سلولی است. این پارامتر که برای تعیین ظرفیت ذخیره تاج پوشش‌گیاهی استفاده می‌شود، در تحقیق حاضر با توجه به نوع پوشش‌گیاهی و فصل رشد گیاهان و مراجعه به جداول موجود در منابع همچون مطالعات دیکنزن و همکاران (۷) کسب گردید. همچنین درصد پوشش گیاهی و ارتفاع پوشش با توجه به نوع گیاهان، فصل رشد و زمان آبنمودهای مورد بررسی با استفاده از مطالعات پوشش گیاهی حوزه آبخیز کچیک که هر ساله توسط معاونت آبخیزداری استان گلستان در این حوزه انجام می‌گیرد کسب گردید. جدول ۲ نقشه‌های پوشش گیاهی مورد نیاز مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نقشه‌های پوشش گیاهی مورد نیاز مدل لیسم

نام نقشه	نوع نقشه	کاربرد	واحد
LAI	شاخص سطح برگ	تعیین ظرفیت ذخیره‌ی تاج پوشش‌گیاهی	m^2/m^2
Per	درصد پوشش‌گیاهی	منطقه‌ی تحت پوشش‌گیاهی	-
Ch	ارتفاع پوشش‌گیاهی	محاسبه‌ی انرژی جنبشی قطرات باران	m

۳- نقشه‌های سطح خاک: نقشه‌های خاک مشخص کننده‌ی نفوذ، میزان ذخیره سطحی و سرعت جریان هستند و در لیسم با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و مناطق نفوذناپذیر ساخته می‌شوند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی SPOT سال ۲۰۰۵ و

بازدیدهای میدانی نقشه کاربری اراضی و مناطق نفوذناپذیر حوزه، در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید و نقشه خاکشناسی حوزه از مطالعات قبلی که توسط مدیریت آبخیزداری استان گلستان انجام شده بود کسب گردید. جدول ۳ نقشه‌های سطح خاک مورد نیاز مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۳- نقشه‌های سطح خاک مورد نیاز مدل لیسم

نام نقشه	نوع نقشه	کاربرد	واحد
n	ضریب مانینگ	رواناب سطحی	-
RR	ضریب زبری سطح	ذخیره چالابی	cm
Stonefrc	برون‌زدسنگی	فرسایش بارانی	-
Crustfrc	خاک سفت یا فشرده شده	مناطق نفوذناپذیر	-
Roadwidt	عرض جاده‌ها	مناطق نفوذناپذیر	m

از دیگر پارامترهای مورد نیاز در تهیه نقشه‌های سطح خاک ضریب زبری مانینگ و ضریب زبری سطح می‌باشد. ضریب زبری مانینگ براساس جداول چو (۴)، مورگان و همکاران (۱۸) و انگمن (۹) و نیز ضریب زبری سطح از مطالعات بورول و لارسون (۳) کسب گردید.

۴- **نقشه‌های نفوذ:** شش گزینه زیر مدل نفوذ[1] در مدل لیسم پیش‌بینی شده است که در حال حاضر امکان استفاده از سه زیرمدل نفوذ مختلف وجود دارد و بسته به انتخاب هر کدام از این گزینه‌ها توسط کاربر، مجموعه‌ی از نقشه‌های ورودی مورد نیاز است. در تحقیق حاضر با توجه به اطلاعات موجود و امکان اندازه‌گیری و تخمین پارامترهای مورد نیاز، از زیرمدل نفوذپذیری گرین- آمپت یک لایه استفاده گردید. مدل گرین و آمپت به ویژگی‌های هیدرولیکی اولین لایه خاک نیاز دارد. جدول ۴ نقشه‌های نفوذ ورودی در مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نقشه‌های مورد نیاز زیر مدل نفوذ گرین- آمپت

نام نقشه	نوع نقشه	واحد
K_{SAT}	ظرفیت رسانایی هیدرولیکی اشباع خاک	mm/hr
Thetas	ظرفیت حجمی رطوبت خاک اشباع شده	cm^3/cm^3
Thetai	ظرفیت حجمی رطوبت اولیه خاک	cm^3/cm^3
Psi	پتانسیل ماتریک	cm
Soil dep	عمق اولین لایه خاک	m

پارامترهای مورد نیاز این زیرمدل، رسانایی هیدرولیکی اشباع خاک (Ksat)، شرایط رطوبت پیشین خاک، درصد رطوبت اشباع خاک و پتانسیل ماتریک می‌باشند. که رسانایی هیدرولیکی اشباع خاک و درصد رطوبت اشباع خاک با استفاده از نمونه‌برداری خاک دست

1- Infiltration sub-model

نخـورده در کاربـری هـای مختلف اندازه‌گیری شد. برای هر کاربری، بطور تصادفی در سه نقطه و در هر نقطه ۲ نمونه خاک تهیه شد. جدول ۵ به ترتیب میانگین رسانایی هیدرولیکی اشباع خاک و درصد رطوبت اشباع خاک اندازه گیری شده در کاربری های مختلف حوزه را نشان می‌دهند. در کاربری مناطق مسکونی روستایی مقدار رسانایی هیدرولیکی اشباع خاک به دلیل اینکه امکان نفوذپذیری وجود دارد و کاملاً غیرقابل نفوذ نمی‌باشد صفر در نظر گرفته نشده و مقدار عددی کوچکی در نظر گرفته شده است و مقدار درصد رطوبت اشباع خاک در مناطق مسکونی نیز برای لایه زیرقشر نفوذناپذیر سطحی اندازه‌گیری شده است که برای شبیه‌سازی جریان زیرقشری بین شبکه‌های سلولی لازم است (۱۶).

همچنین برای تعیین پتانسیل ماتریک، منحنی رطوبتی خاک در کاربری‌های موجود در حوزه رسم گردید. اما به دلیل فقدان داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت اولیه خاک، ابتدا میزان تقریبی آن با توجه به بارش‌های چند روز قبل از وقوع سیلاب حدس زده شد و سپـس مقـدار آن در مـحـدوده $\pm$۰/۰۵ $cm^3.cm^{-3}$ به صورت دستی واسنجی گردید. همچنین عمق اولین لایه خاک در منطقه یک متر در نظر گرفته شد.

جدول ۵- میانگین مقادیر اندازه گیری شده رسانایی هیدرولیکی اشباع و درصد رطوبت اشباع خاک در کاربری‌های مختلف

کاربری	Ksat (mm/h)	θ_s (cm^3/cm^3)
مرتع	۴/۹۷۵	۰/۴۲
زمین زراعی	۴/۹۹۷	۰/۴۳
جنگل	۵/۶۱۶	۰/۴۷
مناطق مسکونی	۰/۱	۰/۴۵

داده‌های بارش: برای شبیه‌سازی آبنمود سیل در لیسم، مدل نیاز به بارش متناظر هر آبنمود دارد. برای تعیین بارش متناظر سیل در حوزه کچیک، از آمار بارندگی لحظه‌ای ایستگاه آق‌امام که دارای باران‌سنج ثبات می‌باشد استفاده شده است. بدین منظور، باران‌نمود[1] بارش متناظر هر کدام از آبنمودهای ثبت شده در خروجی حوزه آبخیز کچیک با استفاده از داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه باران‌سنجی آق‌امام استخراج گردید. مقایسه نظیر به نظیر باران‌نمودها و آبنمودها نشان داد که فقط برای دو آبنمود ثبت شده در خروجی حوزه آبخیز کچیک هایتوگراف ثبت شده در ایستگاه باران‌سنجی آق‌امام وجود دارد. بنابراین در کل تعداد دو رگبار برای شبیه‌سازی رواناب در حوزه آبخیز کچیک انتخاب گردیده است. رخدادهای مناسب انتخاب شده مربوط به رگبارهای مورخه ۱۳۸۲/۷/۱۳ و ۱۳۸۳/۴/۲۱ می‌باشند.

1- Hyetograph

نحوه ورود داده‌ها در محیط لیسم

تمام نقشه‌های ورودی در لیسم به دلیل اینکه در محیط PCRaster باید پردازش و ساخته شوند دارای پسوند map. می‌باشند. اطلاعات بارش برای ورود به محیط لیسم به صورت فایل‌های متنی ASCII تهیه می‌شوند. همچنین دیگر پارامترهای مورد نیاز مدل که بدان اشاره شد، به صورت یک جدول پایه تنظیم و به مدل معرفی می‌گردند. پس از تهیه چهار نقشه پایه و تهیه جدول با اجرای یک Script کوتاه در محیط PCRaster امکان تهیه هر ۲۴ نقشه فراهم می‌گردد. پس از تهیه نقشه‌های مورد نیاز امکان اجرای مدل لیسم فراهم می‌گردد. در این مرحله برای معرفی ورودی‌ها به مدل، فایل اجرایی[1] تهیه می‌شود که در آن محل نقشه‌ها، فایل بارش، خروجی مدل، مدت زمان رگبار و گام‌های زمانی شبیه‌سازی و غیره مشخص می‌گردند. سرانجام پس از انتخاب نوع شبیه‌سازی (رواناب، فرسایش یا رسوب) و زیر مدل نفوذپذیری مورد استفاده، مدل اجرا می‌شود.

ارزیابی و آزمون مدل

معمولاً مدل‌ها وسیله ارزیابی رخدادهای گذشته، حال و همچنین پیش‌بینی آینده می‌باشند و در شرایطی به کار می‌روند که آمار و اطلاعات موجود ناقص، کوتاه مدت و یا متأثر از تغییرات محسوس در حوزه باشند. معمولاً برای ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از مدل هیدرولوژیکی با آمار مشاهداتی از دو روش مقایسه ظاهری (چشمی) آبنمودها و مقایسه آماری استفاده می‌گردد. از روش مقایسه ظاهری برای ارزیابی و تطابق شکل آبنمودها استفاده می‌شود و برای ارزیابی آماری از آزمون‌های همبستگی (r)، معیار کارایی ناش-ساتکلیف (NS) و میانگین حداقل مربعات خطا (RMSE) استفاده می‌گردد که روابط آنها به صورت زیر می‌باشد (۱۵ و ۲۱).

$$r = \frac{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{obs} - \overline{Q}_{obs}\right)\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{sim} - \overline{Q}_{sim}\right)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{obs} - \overline{Q}_{obs}\right)^2 \sum_{t=1}^{N}\left(Q_{sim} - \overline{Q}_{sim}\right)^2}}$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{sim} - Q_{obs}\right)^2}{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{obs} - \overline{Q}_{obs}\right)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{sim} - Q_{obs}\right)^2}{N}}$$

که در این روابط Q_{obs} و Q_{sim} به ترتیب دبی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، $\bar{Q}_{obs}$ و $\bar{Q}_{sim}$ به ترتیب میانگین دبی مشاهده شده و میانگین دبی شبیه‌سازی شده و t گام زمانی آبنمود می‌باشد.

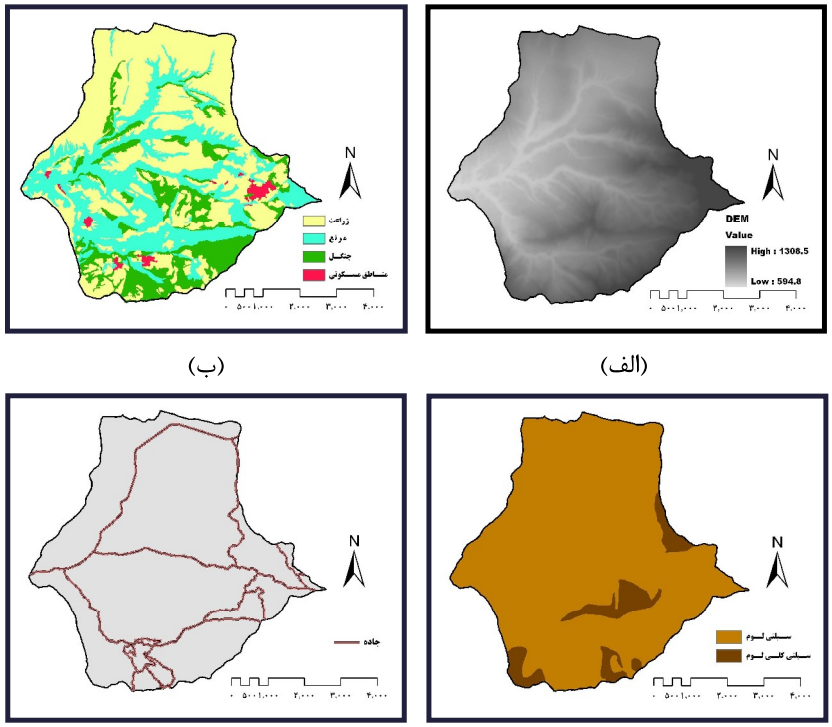
نتایج و بحث

تهیه داده‌های ورودی و اجرای مدل لیسم

تمامی ۲۴ نقشه مورد نیاز مدل فیزیکی لیسم با استفاده از چهار نقشه پایه‌ی DEM، کاربری اراضی، خاک و مناطق نفوذناپذیر و

1- Run file

همچنین جدول پایه‌ی مدل که شامل مقادیر پارامترهای مدل می‌باشد تهیه شدند. شکل ۳ نقشه‌های پایه حوزه آبخیز کچیک و جداول ۶ و ۷ بترتیب مقادیر پارامترهای ورودی مدل (جدول پایه) مربوط به رگبارهای ۱۳۸۲/۷/۱۳ و ۱۳۸۳/۴/۲۱ را نشان می‌دهند.



شکل ۳- نقشه های پایه حوزه آبخیز کچیک. الف) DEM، ب) کاربری اراضی، ج) بافت خاک و د) مناطق نفوذ ناپذیر (جاده ها).

جدول ۶- مقادیر پارامترهای ورودی بخش هیدرولوژیکی مدل لیسم برای رگبار مورخه ۱۳۸۲/۷/۱۳

کاربری اراضی	واحد	زراعت	مرتع	جنگل	اراضی مسکونی
رسانایی هیدرولیکی اشباع خاک	mm/h	۴/۹۹۷	۴/۹۷۵	۵/۶۱۶	۰/۱
ضریب تخلخل	cm^3/cm^3	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۴۷	۰/۴۵
پتانسیل متریک	cm	۳/۱۹	۳/۱۹	۳/۱۹	۳/۱۹
رطوبت اولیه خاک	cm^3/cm^3	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲
ضریب پستی و بلندی سطح	cm	۰/۷۵	۵	۵	۰/۱
ضریب مانینگ	-	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱	۰/۰۱
درصد پوشش گیاهی	-	۰/۰۱	۰/۳۵	۰/۶	۰
ارتفاع پوشش گیاهی	m	۰	۰/۱۸	۲/۵	۰
شاخص سطح برگ	m^2/m^2	۰/۱	۰/۳۵	۳/۷	۰
درصد مساحت اراضی غیر قابل نفوذ	-	۰/۰۵	۰	۰	۰/۹

جدول ۷- مقادیر پارامترهای ورودی بخش هیدرولوژیکی مدل لیسم برای رگبار مورخه ۱۳۸۳/۴/۲۱

کاربری اراضی	واحد	زراعت	مرتع	جنگل	اراضی مسکونی
رسانایی هیدرولیکی اشباع خاک	mm/h	۴/۹۹۷	۴/۹۷۵	۵/۶۱۶	۰/۱
ضریب تخلخل	cm^3/cm^3	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۴۷	۰/۴۵
پتانسیل متریک	cm	۳/۱۹	۳/۱۹	۳/۱۹	۳/۱۹
رطوبت اولیه خاک	cm^3/cm^3	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸
ضریب پستی و بلندی سطح	cm	۰/۷۵	۵	۵	۰/۱
ضریب مانینگ	-	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱	۰/۰۱
درصد پوشش گیاهی	-	۰/۰۵	۰/۵۵	۰/۷	۰
ارتفاع پوشش گیاهی	m	۰	۰/۲۵	۲/۵	۰
شاخص سطح برگ	m^2/m^2	۰/۱	۱/۷	۴/۵	۰
درصد مساحت اراضی غیر قابل نفوذ	-	۰/۰۵	۰	۰	۰/۹

از دیگر داده‌های اصلی مورد نیاز مدل، داده‌های بارندگی می‌باشد. باران‌نمودهای مربوط به دو رگبار مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که هیچ گونه داده مشاهداتی از مقدار رطوبت اولیه خاک حوزه در دسترس نبود. بنابراین به ناگزیر مقدار رطوبت اولیه خاک با توجه به بارش‌های چند روز قبل بطور تقریبی برآورد شد و سپس مقدار آن بصورت دستی واسنجی[1] گردید. البته بایستی ذکر شود که بر خلاف مدلهای تجربی پارامتریک و مفهومی که در آنها ابتدا واسنجی و بهینه سازی پارامترهای مدل انجام می شود و سپس اعتبار سنجی مدل صورت می گیرد در مورد مدلهای کاملاً فیزیکی در صورت معلوم بودن مقادیر متغیرهای ورودی ضرورتاً نیازی به واسنجی و بهینه سازی وجود ندارد (۱). ولی از آن‌جایی که در حوزه آبخیز کچیک مقدار رطوبت اولیه خاک معلوم نبود پس از برآورد تقریبی آن با استفاده از بارندگی‌های چند روز قبل، مقدار آن واسنجی گردید. میزان مجاز تغییر مقدار رطوبت اولیه برآورد شده فقط به اندازه خطای متوسط دستگاه‌های اندازه گیری رطوبت خاک و مدل‌های پایش رطوبت خاک که در حدود $\pm$۰/۰۵ $cm^3.cm^{-3}$ می‌باشد در نظر گرفته شده است (۲۰ و ۲۴).

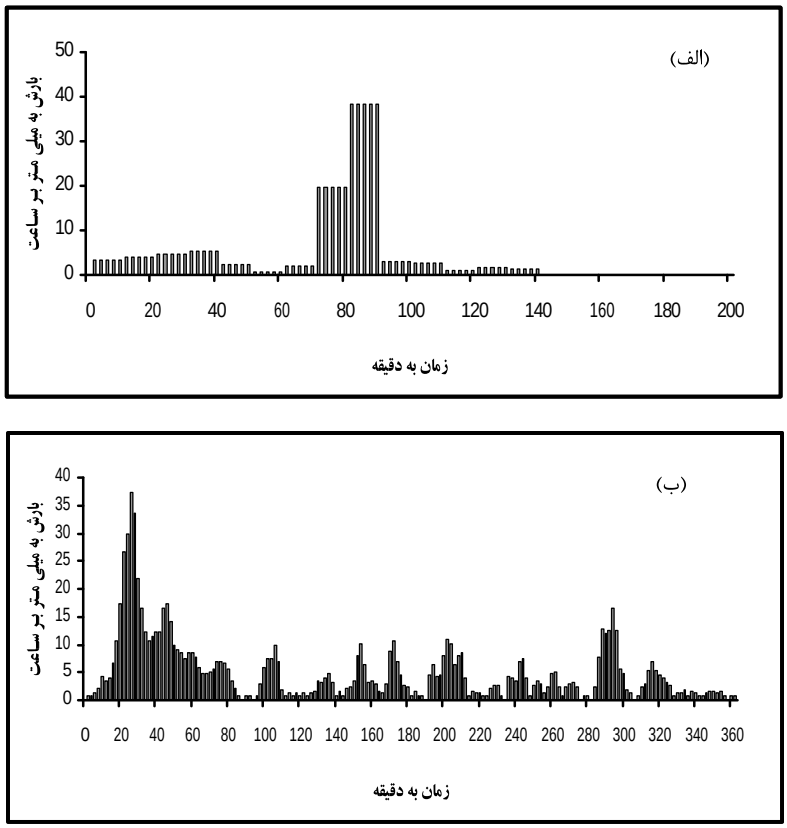
پس از تعیین مقدار رطوبت پیشین خاک برای هر کدام از رگبارها مدل لیسم اجرا گردید. با توجه با اینکه اندازه سلولها ۱۰ ×۱۰ متر در نظر گرفته شده بود هر بار شبیه‌سازی حوزه آبخیز کچیک حدود ۱۰ تا ۲۰ دقیقه طول کشید. خروجی‌های مدل شامل آبنمود، نقشه‌های رواناب سطحی برای گام‌های زمانی مختلف به صورت سری زمانی، فایل متنی حاوی اطلاعات مدت زمان بارش، مقدار بارش کل حوزه، مقادیر متغیرهای دبی شبیه‌سازی شده همچون حجم سیل، دبی حداکثر لحظه‌ی، زمان تا اوج، ضریب رواناب، مقدار ذخیره چالابی و مقدار نفوذ بدست آمد.

ارزیابی کارایی مدل

مقایسه چشمی: در این روش شکل ظاهری آبنمودهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه چشمی آبنمودهای شبیه‌سازیی شده و

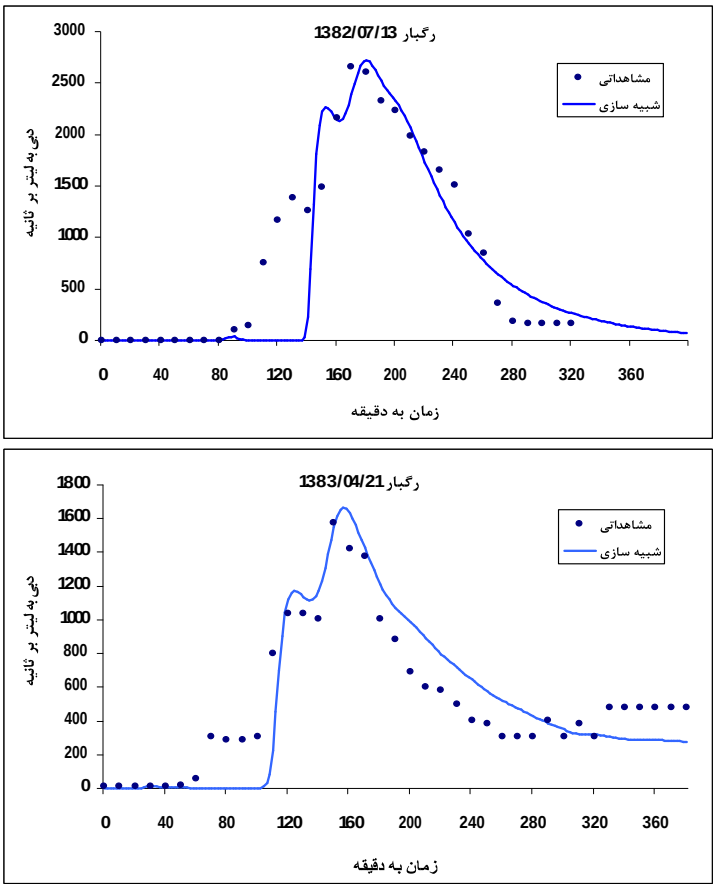
1- Manual calibration

مشاهداتی کمک زیادی به واسنجی دستی مدل می‌نماید. برخلاف واسنجی خودکار مدل‌ها که در آنها از توابع هدف برای کم یا زیاد نمودن متغیرهای مورد واسنجی استفاده می‌شود. در واسنجی دستی با مقایسه ظاهری آبنمودها می‌توان ایده کلی در مورد کم یا زیاد نمودن مقدار پارامتر مورد واسنجی و مقدار مناسب آن بدست آورد.



شکل ۴- باران‌نمود رگبارهای مورد مطالعه: الف) رگبار ۱۳۸۲/۷/۱۳ و ب) رگبار ۱۳۸۳/۴/۲۱.

یکی از مزایای روش مقایسه چشمی آبنمودها این است که میزان انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر مشاهداتی برای قسمت‌های مختلف آبنمود امکان‌پذیر است در حالیکه در روش‌های آماری فقط برآیند انحرافات به‌صورت یک عدد کلی بیان می‌شود و هیچ اطلاعاتی در مورد توزیع مقادیر انحرافات در طول آبنمود را نشان نمی‌دهد برای مثال روش‌های آماری نشان نمی‌دهند که انحرافات بدست آمده مربوط به شاخه نزولی یا شاخه صعودی است. مقایسه ظاهری آبنمودهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی دو رویداد مورد مطالعه حوزه کچیک در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- مقایسه ظاهری آبنمودهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی.

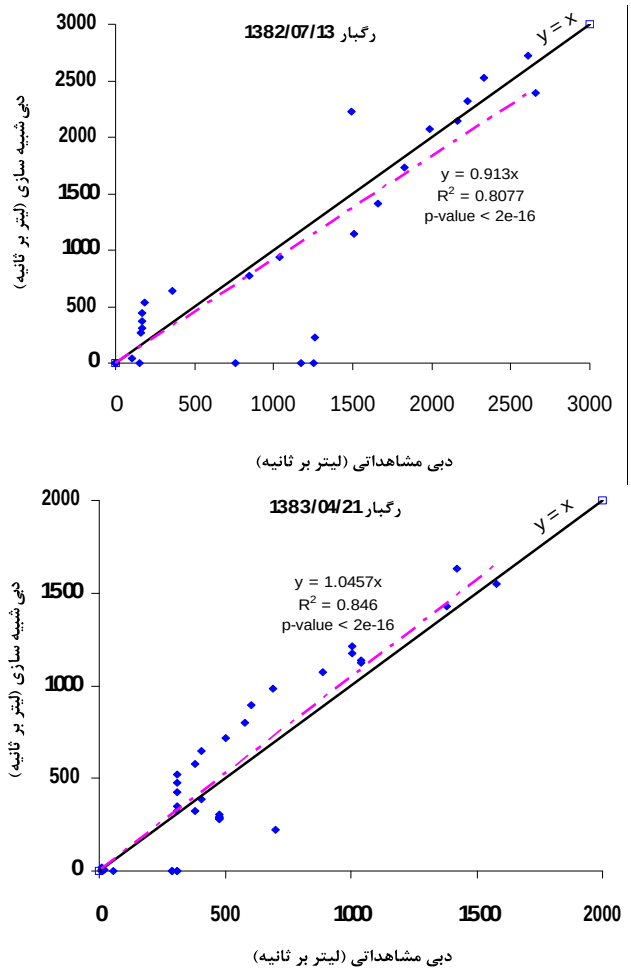
علاوه بر بررسی ظاهری آبنمودهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی دو رگبار مورد مطالعه، می‌توان اطلاعات مهم آبنمودها همچون میزان دبی اوج، زمان اوج آبنمودها و حجم سیلاب را نیز به صورت کمی مقایسه نمود. جدول ۸ نتایج این مقایسات را نشان می‌دهد.

جدول ۸- مقایسه نتایج آبنمودهای شبیه‌سازی شده با آبنمودهای مشاهداتی

رویداد سیل / پارامترها	سیل ۱۳۸۲/۷/۱۳			سیل ۱۳۸۳/۴/۲۱		
	مشاهده	شبیه‌سازی	درصد اختلاف	مشاهده	شبیه‌سازی	درصد اختلاف
دبی اوج (l/s)	۲۶۶۰	۲۷۲۲	۲/۳	۱۶۲۲	۱۶۶۳	۲/۵
زمان اوج (min)	۱۸۰	۱۸۰	۰	۱۵۵	۱۵۶	۰/۶
حجم سیل(m^3)	۱۶۶۳۷/۰۴	۱۴۰۰۲/۳	۱۵/۸	۱۲۱۹۶/۲	۱۱۴۹۴/۰۷	۵/۷

مقایسه آماری آبنمود: جهت مقایسه‌ی آماری نتایج آبنمودهای شبیه‌سازی و مشاهداتی دو رگبار مورد مطالعه، از روش‌های آماری آزمون همبستگی، ضریب کارایی

ناش- ساتکلیف و میانگین حداقل مربعات خطا استفاده شده است. شکل ۶ و جدول ۹ نتایج حاصل از این آزمون‌های آماری را نشان می‌دهد.



شکل ۶- مقایسه آماری آبنمودهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی.

جدول ۹- مقایسه آماری آبنمود های مشاهداتی و شبیه‌سازی

روش‌های آماری	r^{2*}	N-S**	RMSE***
رگبار ۱۳۸۲/۷/۱۳	۰/۸۰۸	۰/۷۸۹	۴۶۱/۱۳
رگبار ۱۳۸۳/۴/۲۱	۰/۸۴۵	۰/۸۳۷	۱۹۸/۲۳

*: ضریب همبستگی، **: ضریب ناش- ساتکلیف، ***: میانگین حداقل مربعات خطا برحسب لیتر بر ثانیه.

لازم به ذکر است هر چه مقدار ضریب همبستگی و ضریب ناش- ساتکلیف به یک نزدیک‌تر شود و مقدار RMSE کوچک‌تر باشد نشان دهنده‌ی کارایی بهتر مدل در شبیه‌سازی آبنمود جریان می‌باشد (۱۵). همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌گردد مقدار ضریب همبستگی برای هر دو آبنمود بیشتر از ۰/۸۰ می‌باشد، از نظر عددی مقادیر ضریب همبستگی برای هر دو آبنمود بزرگتر از ضریب ناش- ساتکلیف می‌باشد و مقدار هر دو ضریب برای رگبار ۱۳۸۲/۷/۱۳ کوچکتر از رگبار ۱۳۸۳/۴/۲۱ است. در حالی‌که مقدار RMSE برای رگبار ۱۳۸۲/۷/۱۳ دو برابر بیشتر از رگبار ۱۳۸۳/۴/۲۱ می‌باشد. اختلاف زیاد بین مقادیر RMSE برای دو رخداد، علاوه بر ضعیف‌تر بودن کارایی مدل در شبیه‌سازی رخداد ۱۳۸۲/۷/۱۳ به علت تفاوت در اندازه این دو رخداد می‌باشد به‌طوری که حجم دبی رخداد ۱۳۸۲/۷/۱۳ حدود ۱/۳۶ برابر بزرگتر از رخداد ۱۳۸۳/۴/۲۱ است. شکل ۶ نشان می دهد که بطور میانگین مقادیر شبیه‌سازی رخداد ۱۳۸۲/۷/۱۳ تا حدودی کمتر از مقادیر اندازه گیری شده و در مورد رخداد ۱۳۸۳/۴/۲۱ برعکس می‌باشد. این موضوع و همچنین پراکنش ابر نقاط در اطراف خط ۱:۱ نشان می‌دهد که مدل لیسم دارای خطای سیستماتیک بیش برآورد[1] و یا کم برآورد[2] نمی باشد. علاوه بر آزمون‌های فوق، انجام آزمون t-test نیز نشان داد که بین میانگین داده های شبیه‌سازی و مشاهداتی تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۹۹ وجود ندارد.

همان‌طور که بیان گردید، لیسم، مدلی با مبنای فیزیکی می‌باشد، یعنی براساس ویژگی‌های فیزیکی که در تولید رواناب، فرسایش و رسوب دخالت دارند عمل می‌کند و هیچ رابطه‌ی عملی و تجربی در آن دیده نمی‌شود و این نشان می‌دهد که مدل برای عملکرد دقیق نیازمند اطلاعات و داده‌های بسیار زیاد و جزئی می‌باشد. یکی از نکات مهم در کاربرد مدل فیزیکی لیسم انتخاب گام زمانی شبیه‌سازی است به طوری که مدل نسبت به زمان شبیه‌سازی حساس بوده و هر چه گام زمانی شبیه‌سازی بزرگتر در نظر گرفته شود دقت شبیه‌سازی کاهش می‌یابد (۱۱). در نتیجه برای استفاده از مدل، داده‌های مورد نیاز مدل باید در گام‌های کوتاه‌تر تهیه گردند تا بدین وسیله امکان شبیه‌سازی دقیق‌تر فراهم گردد. با اجرای مدل نقشه‌های خروجی حاصل از مدل لیسم در فواصل زمانی تعریف شده توسط کاربر در فایل‌های سری زمانی ذخیره می‌گردند. این قابلیت مدل امکان تهیه نقشه مناطقی که دارای حداکثر رواناب یا شدت بالای فرسایش هستند را فراهم می‌آورد.

مقایسه ظاهری آبنمود شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رگبارهای مورد مطالعه یکسان بودن زمان رسیدن به دبی اوج در هر دو آبنمود را نشان می‌دهد (شکل ۵ و جدول ۸). این برابری دلالت بر تعریف مناسب مسیر جریان آب و روندیابی جریان بر اساس نقشه LDD دارد. همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدل مقدار حجم رواناب را در هر دو رویداد کمتر از مقدار

1- Over-estimation

2- Under-estimation

مشاهده شده محاسبه نموده است (جدول ۸). مقایسه مقادیر عددی حجم رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نشان می‌دهد که اختلاف زیادی بین آنها وجود ندارد. به‌طوری که برای رخداد ۱۳۸۲/۴/۲۱ مقدار اختلاف در حدود ۵ درصد است. هر چند باید اشاره گردد که حجم رواناب شبیه‌سازی شده برای هر دو رخداد کمتر از حجم رواناب مشاهداتی می‌باشد. به احتمال زیاد دلیل آن عدم لحاظ جریان زیرقشری در موقع استفاده از زیرمدل نفوذپذیری گرین- آمپت می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهدکه مقادیر شبیه‌سازی شده دبی اوج لحظه‌ای هر دو رویداد تفاوت زیادی با مقادیر مشاهده شده ندارد. هر چند که برای هر دو رخداد مقادیر دبی اوج لحظه‌ای شبیه‌سازی شده تا حدودی بیشتر از مقادیر مشاهده شده آن می‌باشد. همان‌طور که بیان گردید مدل لیسم برای هر دو رخداد حجم رواناب شبیه‌سازی را کمتر از حجم رواناب مشاهداتی نشان می‌دهد در حالیکه مقدار دبی اوج لحظه‌ای را بیشتر از مقادیر مشاهداتی نشان می‌دهد به نظر می‌رسد که واسنجی دستی مدل آن هم فقط با تغییر مقدار رطوبت اولیه که ورودی مدل محسوب می‌گردد کافی نمی‌باشد و با توجه به اینکه به دلیل عدم وجود داده‌های مشاهداتی کافی امکان واسنجی پارامترهای مدل فراهم نبود به احتمال زیاد در صورت وجود داده‌های مشاهداتی کافی و واسنجی برخی از پارامترهای مهم و حساس مدل از جمله رسانایی هیدرولیکی اشباع خاک و ضریب زبری مانینگ نتایج شبیه‌سازی حتی بهتر از نتایج بدست آمده در این تحقیق خواهد بود (۲۲).

با اجرای مدل لیسم در حوزه آبخیز کچیک و مقایسه ظاهری و آماری آبنمودهای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مشخص گردید که تفاوت زیادی بین آبنمودهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در هر دو رگبار مورد مطالعه وجود ندارد (شکل ۶)، و در مورد پارامترهای مهم آبنمود از قبیل: دبی اوج لحظه‌ای، حجم رواناب و زمان رسیدن به دبی اوج، بین دو آبنمود اختلاف چشمگیری وجود ندارد (جدول ۸). این نتایج با یافته‌های دیرو (۶)، هسل (۱۱)، استولت و همکاران (۲۳) که این مدل را به ترتیب در کشورهای هلند، چین و نروژ به کار برده‌اند، مشابهت دارد. به‌طورکلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که با توجه به نتایج حاصل از مطالعه دو رگبار اتفاق افتاده در حوزه کچیک و علیرغم عدم واسنجی پارامترهای مدل، مدل لیسم در حوزه کچیک از کارآیی مناسبی برخوردار می‌باشد. بنابراین با توجه به این که این مدل، مدلی توزیعی می باشد شبیه سازی رواناب و فرسایش آبی در تمام نقاط داخل حوزه امکان‌پذیر می باشد. این ویژگی مدل به مدیران و کارشناسان این امکان را فراهم می نماید که مناطق مختلف را از نظر پتانسیل ایجاد رواناب، فرسایش و رسوب شناسایی نموده و با تعریف سناریوهای مختلف مدیریتی برای آن عرصه ها قبل از اجرای هر گونه عملیات، نتایج آنها را شبیه سازی و پیش بینی نمایند و از بین سناریوهای مختلف بهترین سناریو مدیریتی را انتخاب نمایند.

منابع

1. Abu El-Nasr, A., J.G. Arnold, J. Feyen and J. Berlamont. 2005. Modelling the hydrology of a catchment using a distributed and semi-distributed model. Hydrological Processes. 19: 573-587.
2. Alvankar, S.R. and B. Saghafyan. 2009. Flood simulation in the Ken watershed using distributed model of ADHM. In: Proceedings of 5th National Conference on Watershed Management, Gorgan, Iran. 1319-1327.
3. Burwell, R.E. and W.E. Larson. 1969. Infiltration as influenced by tillage- induced random roughness and pore space. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol: 33, pp: 449-452.
4. Chow, V.T. 1959. Open-Channel Hydraulics. Auckland: McGraw-Hill. 487 pp.
5. De Roo, A.P.J., C.G. Wesseling, N.H.D.T. Cremers and R.J.E. Offermans. 1994. LISEM: A physically based hydrological and soil erosion model in corporation in a GIS-environment, theory and implementation. IAHS publication 224: 439-448.
6. De Roo, A.P.J. 1996. The LISEM project: an introduction, Hydrological Processes. 10: 1021-1025.
7. Dickinson, R.E., A. Henderson-Sellers and P.J. Kennedy. 1993. Biosphere Atmosphere Transfer Scheme (BATS). Version le as Coupled to the NCAR community Climate Model, NCAR, Boulder, Colorado. 72 pp.
8. Elsen, E.V.D. and J. Stolte. 2002. Soil erosion modeling: description and data requirements for the LISEM physically based erosion model. Department of Soil and Land Use, Wageningen University. 20 pp.
9. Engmn, E.T. 1986. Roughness coefficients for routing surface runoff. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 112: 39-53.
10. Golestan Watershed Management Office. 1997. Kechik watershed study report, 302 pp. (In Persian)
11. Hessel, R. 2002. Modeling soil erosion in a small catchment on the Chinese loess plateau. PhD Thesis, University Utrecht. 317 pp.
12. Kaboli, H. and A.M. Akhond Ali. 2009. Evaluation of rainfall loss methods in flood hydrograph simulation (Case Study: Kasilian Watershed). In: proceedings of 5th National Conference on Watershed Management, Gorgan, Iran. 247-238. (In Persian).
13. Karssenbrg, D. 2002. Building dynamic spatial environmental models. Netherlands Geographical Studies, No. 305. Universiteit Utrecht. 222 pp.
14. Khalighi Sigarodi, S., T. Zinati shojae, A. Salajeghe, A. Kohandel and G.H. Mortezaii. 2009. Semidistribated simulation of rainfall-runoff in data- pool watersheds (Case Study: Latyan Watershed). In: proceedings of 5th National Conference on Watershed Management, Gorgan, Iran. pp: 180-188. (In Persian)
15. Krause, P., D.P. Boyle and F. Base. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in Geosciences, 5: 89-97.
16. Jetten, V. 2002. LISEM Limburg Soil Erosion Model. University Utrecht. 64 pp.
17. Merritt, W.S., R.A. Letcher and A.J. Jakeman. 2003. A review of erosion and sediment transport models. Enviromental Modelling and Software. 18: 761-799.
18. Morgan, R.P.C., J.N. Quinton, R.E. Smith, G. Govers, J.W.A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri, M.E. Styczen and A.J.V. Folly. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): documentation and user guide, version 3.6. Silsoe College, Cranfield University. 124 pp.

19. Refahi, H. 2007. Water Erosion and its control. University of Tehran publications. 672 pp. (In Persian).
20. Sheikh, V.B. 2006. Soil moisture prediction: bridging event and continuous runoff modeling. PhD Thesis, Wageningen University. 190 pp.
21. Sheikh, V.B and E.E. VanLoon. 2007. Comparing performance and parameterization of a one-dimensional unsaturated zone model across scales Vadose Zone Journal, 6(3): 638-650. doi: 10.2136/vzj2006.007.
22. Sheikh, V.B., E.E. VanLoon, R. Hessel and V. Jetten. 2010. Sensitivity of LISEM predicted catchment discharge to initial soil moisture content of soil profile. Journal of Hydrology, 393: 174-185.
23. Stolte, J. and H.K. French. 2006. Stormwater runoff under partially frozen condition. Soil and Environment Division Norway. 4 pp.
24. Walker, J.P., G.R. Willgoose and J.D. Kalma. 2004. In-situ measurement of soil moisture: a comparison of techniques. Journal of Hydrology, 293: 85-99.

Evaluating Efficiency of the Hydrologic Component of the LISEM Model in the Kechik Experimental Watershed, Golestan Province, Iran

A. Kalteh[1], V. Sheikh[2], A. Saaddodin[2], N. Nora[2] and Y. Hematzadeh[3]

1- M. Sc. Student, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan
2- Assistant Professor, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan, (Corresponding author: v.sheikh@yahoo.com)
3- M. Sc. of Natural Resources, Golestan Province

Abstract

Modeling is an important approach in evaluating and appraisal of catchment systems especially in better understanding of hydrologic and erosion processes. to this end, a wealth of various types of models has been developed to simulate catchment processes. the physically-based models are the most accurate and complicated ones. The LISEM is an example of physically-based models. This hydrologic and soil erosion model was designed and applied first in 1990s in the hilly loessial area in the Netherlands in order to get sustainable management strategies. The LISEM model is a process based raster model that operates on catchment scale, which is limited to single rain events. Due to deep loessial soils, population growth, overexploitation of lands and climate conditions, the undulating fertile lands in eastern part of the Golestan Province experience extensive rill, gully and channel erosions as well as destructive floods. Having in mind the abovementioned conditions and consequent financial damages and life loss in the area, investigating on sustainable methods of soil and water resources management becomes a necessity. In the present study, due to the similarity in the edaphic and climatic conditions of the study area with the hilly loessial area in the southern Netherlands for there the LISEM model has been developed, it is tried to evaluate the efficiency of the hydrologic component of the LISEM model for the Kechik catchment which is a well equipped experimental paired catchment. The hydrologic component is the prerequisite of the soil water erosion component of the model. The results of application the LISEM model in the Kechik catchment indicated that there is a good agreement between the observed and simulate hydrographs. Whereas, both correlation coefficient and Nash–Satclif criteria were above 0.80. Moreover, the hydrograph characteristics such as peak discharges, total discharge and time to peak for the simulated and observed hydrographs were in a good agreement. These results indicate the efficiency of the LISEM model in simulation of rainfall-runoff processes in the Kechik watershed.

Keywords: Modeling, LISEM, Flood simulation, Kechik watershed