بخش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال ششم / شماره چهارم) زمستان ۱۳۹۴
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

شبیه‌سازی رواناب‌های سطحی با استفاده از مدل مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیـایی لیسـم (LISEM)

رویا جعفری[1*]، واحد بردی شیخ[2]، محسن حسینعلی‌زاده[3]، حسن رضایی مقدم[1]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشیار دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. استادیار دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

شبیه‌سازی پدیده رواناب ناشی از هر بارندگی در برآورد شدت سیل بسیار ارزشمند است. برای حفاظت حوزه‌های آبخیز، استفاده از مدلی که توانایی برآورد رواناب را در زمان‌ها و مکان‌های معین داشته باشد، ضروری است. این پژوهش به منظور شبیه‌سازی رواناب در زیر حوزه زراعی منتهی به شهرک بهزیستی گرگان و همچنین ارزیابی تأثیر سناریوهای مدیریتی پوشش گیاهی در ۳ رویداد بارش در سال‌های گذشته با استفاده از مدل فیزیکی لیسم (LISEM)، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و برنامه‌نویسی PCRaster انجام شد. برای اجرای مدل لیسم، چهار نقشه پایه، مدل رقومی ارتفاع، کاربری اراضی، بافت خاک و راه‌ها با فرمت رستری تهیه گردید. نقشه مدل رقومی ارتفاعی با اندازه سلولی ۱×۱ متر از تصاویر اولتراکم در محیط ArcGIS®9.3 تهیه گردید. در طی انجام این تحقیق دو رویداد بارش در تاریخ‌های ۱۳۹۳/۸/۱۱ و ۱۳۹۴/۶/۲۵ منجر به ایجاد رواناب شد که از رویداد اول برای واسنجی و رویداد دوم برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. مقایسه آماری هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی رگبارهای مورخه ۱۳۹۳/۸/۱۱ و ۱۳۹۴/۶/۲۵ نشان داد که ضریب همبستگی آن‌ها به ترتیب ۰/۸ و ۰/۷۶ و معیار ناش- ساتکلیف آن‌ها به ترتیب ۰/۸ و ۰/۵ می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که مدل قادر است میزان کل رواناب، دبی اوج، زمان شروع رواناب و زمان رسیدن به دبی اوج را به خوبی شبیه‌سازی نماید. نتایج حاصل از اجرای سناریوی مدیریت پوشش گیاهی به وسیله مدل لیسم نشان داد که حجم رواناب به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:
دریافت: ۱۹ آذر ۱۳۹۳
پذیرش: ۳۰ خرداد ۱۳۹۴
دسترسی اینترنتی: ۲۶ دی ۱۳۹۴

واژه‌های کلیدی:
شبیه‌سازی رواناب
مدل لیسم
سیستم اطلاعات جغرافیایی
گرگان

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: Jaafari_roya@yahoo.com

مقدمه

امروزه افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی موجب شده تا پوشش‌های طبیعی زمین به ویژه جنگل‌ها و مراتع با سرعت هشدار دهنده‌ای توسط انسان تخریب و تبدیل به اراضی کشاورزی شود (۱۸). الگوی نامناسب استفاده از سرزمین و تغییرات شدید در کاربری زمین منجر به پیدایش بحران‌های زیست‌محیطی می‌گردد (۱۰). در اثر تغییر کاربری مقدار مواد آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و ضریب هدایت اشباع خاکدانه‌ها کاهش و مقدار تولید رواناب سطحی و هدررفت خاک افزایش می‌یابد (۱). همچنین درصد زیادی از حجم بارندگی در مناطق مختلف کشور تحت تأثیر عواملی مانند تشکیلات و ساختار زمین‌شناسی، پوشش‌گیاهی، کاربری اراضی، شیب زمین و شکل حوزه آبخیز به رواناب سطحی تبدیل می‌شود (۲). رواناب سطحی حاصل از بارندگی و فرسایش خاک، تابع عوامل مختلفی بوده که هر یک از این عوامل، عامل دیگری را تقویت یا تضعیف می‌کند. اگرچه همهٔ این عوامل تحت تأثیر فعالیت‌های انسان قرار داشته، اما باید اشاره کرد که تنها نوع کاربری اراضی قابل مدیریت می‌باشد (۱۲). پیش‌بینی رواناب یک موضوع پژوهشی فعال و اجتناب‌ناپذیر در زمینه هیدرولوژی آب‌های سطحی بوده و همچنان به خاطر عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژی مسئله‌ای پابرجاست (۱۶). از طرفی برنامه‌ریزی برای ساماندهی رودخانه و هشدار سیل نیاز به برآورد آبدهی رودخانه و رواناب حوزه آبخیز دارد (۷ و ۲۶). خسارت ناشی از رواناب موجب کاهش میزان آب‌های تحت‌الارضی، فقیر شدن خاک، ایجاد اختلال در امر کشاورزی، پر شدن مخازن سدها و کانال‌ها از رسوب، جریان سیل‌های مخرب و تخریب مزارع و آبادی‌ها، ایجاد اختلال در اشتغال مردم و در نهایت فقر در ابعاد مختلف می‌گردد (۴). مدل در یک حوزه آبخیز بیانگر تقریبی کلیه فرآیندهایی است که در یک آبخیز حادث می‌شود (۶). با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه یکی از چشم‌اندازهای زیبا و دارای جاذبه‌های توریستی است و به دلیل کاهش خطرات ناشی از تغییر کاربری و تبعات خطرساز ناشی از این تغییر از جمله افزایش رواناب، و اینکه اراضی محدوده مورد مطالعه مشرف به مناطق مسکونی بوده و خروجی آن وارد منطقه مسکونی می‌شود، کنترل رواناب و انتقال رسوبات به این مناطق می‌تواند یکی از اهداف عملیات حفاظتی در این محدوده باشد. بنابراین در این تحقیق از مدل LISEM (Limburg Soil Erosion Model) برای شبیه‌سازی رواناب منطقه و ارزیابی سناریوهای مدیریتی استفاده می‌شود تا مدیران بتوانند با کمک این پیش‌بینی‌ها، جهت کاهش رواناب و کاهش خسارات ناشی از انتقال رسوب به منطقه مسکونی و در نهایت افزایش زیبایی‌شناختی برای مردم منطقه تصمیمات مناسب را اتخاذ کنند.

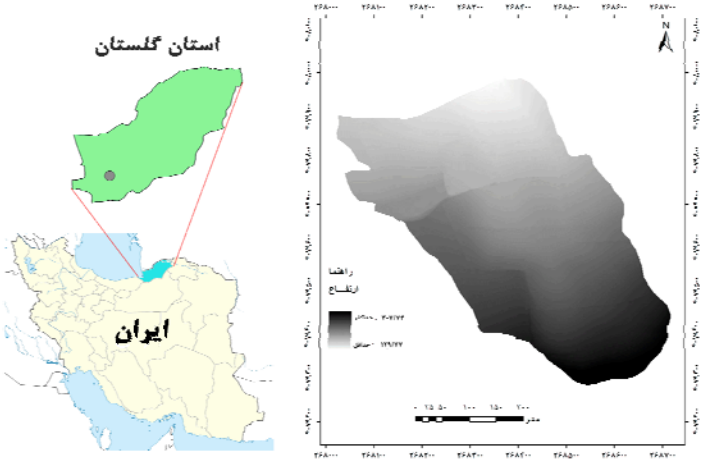
دیرو (۱۴) در مطالعهٔ فرسایش خاک منطقهٔ لسی کشور هلند، اثرات روش‌های حفاظتی و تغییر کاربری زمین را با استفاده از مدل LISEM ارزیابی کرد و میزان جریان سطحی، فرسایش و تخریب را در سه آبخیز منطقهٔ لیمبرگ در جنوب کشور هلند مورد بررسی قرار داد. نتایج شبیه‌سازی در سه حوزه آبخیز منطقهٔ لیمبرگ، حکایت از کاهش دامنهٔ مشکلات مربوط به فرسایش و سیل در اثر اجرای اقدامات حفاظتی داشته است. هسل و جتن (۱۷) جهت ارزیابی اثرات فرسایش آبی در فلات لسی چین که اغلب رگبارهای سنگینی در طول سال در آنجا رخ می‌دهد، از مدل فیزیکی LISEM استفاده کردند. مدل لیسم نه تنها میزان تجمعی رواناب و رسوب را در خروجی حوزه به خوبی نشان داد، بلکه الگوی فضایی دقیقی از رواناب سطحی و فرسایش خاک را شبیه‌سازی نمود. کلته و همکاران (۸) بخش هیدرولوژیکی مدل شبیه‌سازی LISEM را که پیش‌نیاز بخش فرسایش آبی آن نیز می‌باشد، برای آبخیز کچیک در اراضی تپه ماهوری لسی شرق استان گلستان ارزیابی نمودند و هیدروگراف‌های به دست‌آمده در این پژوهش، ضعف مدل در شبیه‌سازی شاخه صعودی هیدروگراف و موفقیت مدل در شبیه‌سازی شاخهٔ نزولی را نشان داد. رحمتی و همکاران (۲۳) پژوهشی را جهت ارزیابی مدل LISEM به منظور پیش‌بینی رواناب در حوزه آبخیز لیقوان، شمال غرب ایران با استفاده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی/ زمینی در کنار

چند داده سنجش از دور انجام دادند که نتایج حاصل از آن نشان داد که، دقت و صحت هیدروگراف رواناب پیش‌بینی شده و پارامترهای آن یعنی اوج جریان و زمان تا اوج به وسیله مدل LISEM قابل قبول هستند. شیخ و همکاران (۲۴) برای بررسی حساسیت دبی خروجی حوزه‌های آبخیز نسبت به تغییرات شرایط پیشین رطوبت پروفیل خاک از مدل فیزیکی لیسم استفاده کرد. در این مطالعه برای شبیه‌سازی نفوذپذیری خاک از دو زیر مدل گرین-آمپت دو لایه و ریچاردز، برای رگبارهای معرف تابستانه و زمستانه (به ترتیب با شدت‌های زیاد و کم) و دو لایه خاک سطحی و عمقی استفاده نمودند. نتایج حاصله به این صورت بوده که مدل لیسم دارای حساسیت زیاد نسبت به تغییرات رطوبت پیشین خاک است که این میزان حساسیت با حساسیت مدل نسبت به هدایت هیدرولیکی اشباع خاک که در اکثر مدل‌های هیدرولوژیک جزو حساس‌ترین پارامترها است، برابر می‌باشد. بنابراین جهت شبیه‌سازی دقیق نیاز به نقشه دقیق رطوبت پیشین خاک می‌باشد تا عدم قطعیت نتایج شبیه‌سازی کاهش یابد. این مدل برای حوزه‌های دارای خاک لسی طراحی شده است و از اولین مدل‌های فیزیکی فرسایش خاک است که در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی PCRaster که یک محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و برنامه‌نویسی دینامیک می‌باشد نوشته شده است. پیشداد سلیمان‌آباد و همکاران (۵) بیان داشتند که اگر از اراضی، مطابق با توان و پتانسیل تولیدی آنها استفاده شود، علاوه بر حفظ منابع جبران‌ناپذیر طبیعی، می‌توان رواناب و فرسایش و رسوب را به میزان قابل توجهی کاهش داد. هدف از این تحقیق شبیه‌سازی رواناب‌های سطحی با استفاده از مدل مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی لیسم در زیر حوزه غربی شهرک بهزیستی در استان گلستان می‌باشد.

روش تحقیق

منطقهٔ مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در زیر حوزه غربی شهرک بهزیستی در استان گلستان با مساحت ۲۷/۶ هکتار در ورودی غربی شهرستان گرگان و در حد فاصل طول جغرافیایی ″۵۵ ′۲۳ °۵۴ تا ″۲۳ ′۲۴ °۵۴ شرقی و عرض جغرافیایی ″۵۲ ′۴۹ °۳۶ تا ″ ۱۴ ′۵۰ °۳۶ شمالی واقع شده است. زراعت دیم گندم کاربری غالب حوزه آبخیز می‌باشد، به طوری که از کل مساحت حوزه، ۲۵/۴ هکتار را گندم و ۲/۲۵ هکتار را کاربری مرتع تشکیل می‌دهد. پست‌ترین نقطه حوزه در ارتفاع ۱۳۰ متر و بلندترین نقطه در ارتفاع ۳۰۷ متر ارتفاع از سطح دریا واقع شده است. بدین ترتیب اختلاف ارتفاع بین پست‌ترین و بلندترین نقطه حوزه ۱۷۹ متر می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت زیر حوزه غربی شهرک بهزیستی در ایران و استان گلستان

تشریح مدل لیسم (LISEM)

مدل لیسم، یک مدل با پایه فیزیکی است، و همچنین یک نوع مدل هیدرولوژیکی و فرسایش خاک است که باران، اصلی‌ترین ورودی مدل است. ورودی‌های مدل لیسم مجموعه‌ای از یک سری نقشه‌های رستری، اطلاعات فیزیک خاک و بارندگی منطقه می‌باشد. این مدل بر اساس شبکه سلولی طراحی شده که قادر است در هر سلول با توجه به میزان بارش رگباری، مقدار ذخیره برگابی گیاهان، ذخیره چالابی، نفوذ و رواناب تولیدی را شبیه‌سازی نماید. عملکرد لیسم محدود به مدت یک رگبار می‌باشد، محدود نمودن محاسبات در بازه زمانی یک رگبار بدان جهت است که اجرای مدل با گام‌های زمانی ۵ تا ۱۵ ثانیه برای تک تک سلول‌ها امکان‌پذیر گردد (۱۵). حداقل تعداد نقشه‌های لازم برای اجرای کامل مدل (هر دو بخش هیدرولوژی و فرسایش)، بیست و چهار نقشه است که حداقل نقشه‌های بخش هیدرولوژی مورد نیاز مدل لیسم پانزده نقشه است (جدول ۱)، که از نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، کاربری اراضی، بافت خاک و نقشه راه‌ها تهیه می‌شوند (۱۳). بنابراین برای اجرای مدل لیسم ابتدا نقشه پایه این چهار لایه با فرمت رستری تهیه گردید. نقشه DEM حوزهٔ مورد مطالعه با اندازه سلولی ۱×۱ متر از تصاویر اولتراکم در محیط ArcGIS®9.3 تهیه گردید. با استفاده از عکس اولتراکم و انجام بازدیدهای میدانی در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۳ به منظور نقشه‌برداری به وسیله دستگاه DGPS، نقشه کاربری اراضی و نقشه راه‌های حوزه تهیه شد. نقشه بافت خاک حوزه، پس از نمونه‌برداری خاک در عرصه و انجام آزمایش هیدرومتری در آزمایشگاه و سپس تعیین بافت خاک، در محیط نرم‌افزار ArcGIS®9.3 تهیه شد. این نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS®9.3 با دستور Raster to ASCII به صورت فایل متنی ASCII یا ستونی COLUMN تبدیل گردید و سپس این فایل‌های متنی یا ستونی در محیط PCRaster فراخوانده شده و با دستور ASC2map یا COL2map تبدیل به نقشه‌های با فرمت map گردید. تمام نقشه‌های رستری در محیط PCRaster به فرمت map تبدیل شدند.

جدول۱. نقشه‌های بخش هیدرولوژیکی مورد نیاز مدل لیسم

نقشه لایه‌ها	نام نقشه	نوع نقشه	کاربرد
آبخیز	Ldd.map	شبکه زهکشی محلی	مسیر رواناب سطحی
	Area.map	نقشه مرز حوزه	بررسی نقشه‌های دیگر از لحاظ تعداد و مکان سلول‌ها
	Grad.map	شیب حوزه	نشان دهندهٔ شیب در مسیر Ldd
	Outlet.map	خروجی حوزه	نشان دهندهٔ خروجی اصلی حوزه
پوشش	LAI	شاخص سطح برگ	تعیین ظرفیت ذخیره تاج پوشش گیاهی
	Per	درصد پوشش گیاهی	منطقه تحت پوشش گیاهی
	Ch	ارتفاع پوشش گیاهی	محاسبه انرژی جنبشی قطرات باران
خاک	N	ضریب مانینگ	رواناب سطحی
	RR	ضریب پستی بلندی سطح	ذخیره چالابی
	Crustfrc	خاک سفت یا فشرده	مناطق نفوذناپذیر
	Roadwid	عرض جاده	مناطق نفوذناپذیر
نفوذ	Ksat	ظرفیت هدایت هیدرولیکی اشباع خاک	تعیین میزان نفوذ
	Thetas	ظرفیت حجمی رطوبت خاک اشباع شده	تعیین ظرفیت ذخیره رطوبت خاک
	Thetai	ظرفیت حجمی رطوبت اولیه خاک	ظرفیت موجود رطوبت خاک
	Psi	پتانسیل ماتریک	نشان‌دهنده مکش خاک

بارش مدل لیسم به داده‌های بارندگی در گام‌های زمانی کوتاه نیاز دارد و از شدت رگبار در محاسبات هیدرولوژی و فرسایش و رسوب استفاده می‌کند. در طی دوره مطالعاتی از ۱۳۹۳/۲/۱ تا ۱۳۹۴/۲/۱، یک دستگاه باران‌نگار در مجاورت حوزه آبخیز نصب گردید که قادر به ثبت داده‌های بارندگی در گام‌های زمانی کوتاه‌مدت بود. در این تحقیق گام زمانی ثبت داده‌ها ۵ دقیقه تنظیم شد.

ذخیره برگابی از متغیرهای برآورد ذخیره برگابی ناشی از یک بارش، می‌توان به مقدار بارندگی، درصد پوشش گیاهی و حداکثر ظرفیت ذخیره تاج پوشش گیاه اشاره کرد. متغیر ظرفیت ذخیرهٔ تاج پوشش گیاه با روش ون هوینینگن – هون (۲۷) و با استفاده از مقدار شاخص سطح برگ برآورد شد. ذخیره برگابی ناشی از یک بارش با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$S = C_P \times S_{max} \times [1 - e^{-k \times \frac{P_{cum}}{S_{max}}}] \qquad [۱]$$

در این رابطه؛ S میزان ذخیره برگابی برحسب میلی‌متر، P_{cum} میزان بارش برحسب میلی‌متر، k ضریب تصحیح تراکم گیاهان (برابر با LAI ۰/۰۴۶)، S_{max} ظرفیت ذخیره تاج پوشش گیاهی و C_p درصد پوشش گیاهی می‌باشد. مقادیر S_{max} و C_p با توجه به نوع پوشش گیاهی و فصل رشد تعیین گردید.

نفوذ در مدل لیسم مولفه نفوذ با زیر مدل‌های متفاوتی محاسبه می‌شود. روش‌های شبیه‌سازی نفوذ که در حال حاضر قابل استفاده هستند شامل: ریچاردز، هولتن، گرین – آمپت یک لایه، گرین آمپت دو لایه، و اسمیت- پارلانژ می‌باشد (۱۹). که در این تحقیق از روش اسمیت- پارلانژ به صورت رابطه ۲ استفاده گردید (۲۶).

$$f_c = K_s \frac{\exp(F/B)}{\exp(F/B) - 1} \qquad [۲]$$

که در این رابطه؛ f_c نرخ نفوذ (mm/min)، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (mm/min)، F میزان نفوذ تجمعی که قبلاً جذب خاک شده است (mm) و B فاکتور موئینگی خاک است که به درصد ذرات کوچک‌تر از دو میلی‌متر خاک وابسته است. مقدار B با توجه به بافت خاک منطقه ۳/۵ سانتیمتر تعیین شد و نحوه اندازه‌گیری K_s نیز در بخش‌های بعدی تشریح شده است.

ذخیره چالابی ذخیره چالابی در لیسم بر اساس تحقیقات انستد (۲۲) استوار بوده و با استفاده از معادلات کامفورست و همکاران (۲۰) تعیین می‌شود که به نحوه عملیات زراعی و نوع خاک وابسته است. مهم‌ترین پارامترهای ورودی این معادله ضریب پستی و بلندی سطح و شیب زمین است.

$$MSD = 0.243\,RR + 0.010\,RR^2 + 0.012S \qquad [۳]$$

در این رابطه؛ MSD ذخیره چالابی حداکثر بر حسب سانتی‌متری، S زاویه شیب بر حسب درصد و RR ضریب پستی و بلندی سطح بر حسب سانتی‌متری می‌باشد. ضریب پستی و بلندی سطح با توجه به نوع کاربری اراضی و عملیات زراعی تعیین گردید و زاویه شیب نیز در محیط PCRaster از روی نقشه DEM و با روش اختلاف محدود مرتبه سوم تعیین شد (۲۵).

رواناب از دیگر عوامل و پارامترهای مورد استفاده برای شبیه‌سازی جریان سطحی در مدل لیسم می‌توان به ضریب زبری مانینگ و شیب دامنه اشاره کرد. سرعت حرکت رواناب بر روی دامنه و کانال و دبی خروجی هر سلول با استفاده از معادلهٔ مانینگ از رابطه ۴ و ۵ محاسبه گردید.

$$V = R^{2/3} \times S/n \qquad [۴]$$

$$Q = A \times V \qquad [۵]$$

که در این رابطه؛ V سرعت جریان بر حسب متر بر ثانیه، R شعاع هیدرولیکی بر حسب متر که با در نظر گرفتن عرض جریان و میانگین ارتفاع آب محاسبه می‌شود، S مقدار شیب، n ضریب زبری مانینگ، Q دبی جریان بر حسب متر مکعب بر ثانیه و A سطح مقطع جریان بر حسب متر مربع می‌باشد. رواناب خروجی از هر سلول به عنوان رواناب ورودی به سلول مجاور در پایین دست آن قلمداد می‌گردد.

اندازه‌گیری پارامترهای ورودی مدل

برای شبیه‌سازی هر رگبار، تمام پارامترهای مدل برای واحدهای کاری مختلف به صورت یک جدول پایه تنظیم شد. پارامترهای مورد نیاز مدل لیسم شامل هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، ضریب تخلخل، پتانسیل ماتریک، رطوبت اولیه خاک، ضریب پستی و بلندی سطح، ضریب مانینگ، درصد پوشش گیاهی، ارتفاع پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ است. در این تحقیق بعضی پارامترها مستقیماً اندازه‌گیری و بقیه پارامترها بر اساس جدول ارائه شده توسط دیرو و همکاران (۱۳) تعیین شدند.

رطوبت اولیه خاک

در این زیر حوزه رطوبت خاک در طی یک سال (۱۳۹۳/۲/۱ تا ۱۳۹۴/۲/۱) و با فواصل زمانی یک هفته به وسیله دستگاه TDR (Time Domain Reflectometry) در ۱۸ نقطه اندازه‌گیری گردید.

هدایت هیدرولیکی

برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در حوزه مورد مطالعه در مجموع از ۹ رینگ استفاده گردید. کاربری زراعت به علت مساحت زیاد با ۶ عدد رینگ (۳ تکرار در بالادست و ۳ عدد در پایین‌دست) و کاربری مرتع با ۳ عدد رینگ استوانه‌ای شکل (قطر ۱۵/۲۴سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. همچنین دستگاه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع به دلیل اهمیت و ضرورت داده‌های هدایت هیدرولیکی اشباع و عدم دسترسی به دستگاه‌های اندازه‌گیری، در طول این تحقیق طراحی و ساخته شد که در شکل ۲ نشان داده شده است. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از قانون دارسی و با روش بار ثابت از رابطهٔ ۶ محاسبه گردید.

$$K = \frac{(V \times L)}{(A \times t) \times (L + D)} \qquad [۶]$$

در این رابطه؛ K هدایت هیدرولیکی (سانتی‌متر بر دقیقه)، V حجم آب خروجی از ته رینگ (سانتی‌مترمکعب)، L ارتفاع خاک (سانتی‌متر)، A سطح مقطع نمونه (سانتی‌متر مربع)، t مدت زمان اندازه‌گیری بر حسب دقیقه و D عمق آب روی نمونه بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. شکل ۱ مراحل کار را نشان می‌دهد.

(الف)

(ب)

شکل۲. مرحله برداشت نمونه (الف) و آزمایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (ب)

پتانسیل ماتریک خاک

منحنی نشان‌دهندهٔ رطوبت حجمی خاک در مقابل پتانسیل ماتریک را به اصطلاح منحنی رطوبتی خاک گویند (۳). برای رسم منحنی رطوبتی خاک تا عمق ۵ سانتی‌متری سطح خاک مجموعاً تعداد ۱۲ نمونه از ۴ نقطه در زیر حوزه مورد مطالعه تهیه گردید و به مقدار ۳ گرم از هر نمونه خاک اشباع گردید و به مدت ۲۴ ساعت با درجه حرارت ۱۰۵ درجه

سانتی‌گراد در آون قرار گرفت. پس از اختلاف وزن نمونه اشباع و خشک شده و مشخص شدن مقدار آب جهت اشباع شدن، به مقدار ۸/۱، ۴/۱، ۲/۱ و ۴/۳ از آب را وزن کرده و به نمونه‌های خاک توزین شده در رینگ‌های مخصوص دستگاه WP4 اضافه گردید. پس از قرار دادن رینگ‌ها در دستگاه عدد PF مربوط به هر نمونه قرائت گردید و سپس با محاسبه درصد رطوبت خاک در هر رینگ، منحنی رطوبتی خاک بر اساس عدد PF و لگاریتم درصد رطوبت خاک رسم گردید. پس از رسم منحنی رطوبت خاک و استخراج رابطه خطی، با قرار دادن لگاریتم رطوبت در معادله خطی، پتانسیل متریک خاک در شرایط رطوبتی مختلف محاسبه شد.

سناریوی مدیریت پوشش گیاهی

جهت ارزیابی توان زیست‌محیطی مناطق مختلف از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود (۱۱). جهت انتخاب سناریوی مدیریت پوشش گیاهی مناسب، ابتدا نقشه شیب، جهت و ارتفاع از روی نقشه سه بعدی DEM منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS®9.3 تهیه و بعد از کلاس‌بندی به وکتور تبدیل شد. سپس ترکیب نقشه‌ها به صورت دو ترکیبی انجام شد و به ترتیب با نقشه‌های خاک و پوشش گیاهی ادغام شد، در نهایت نقشه واحدهای زیست‌محیطی به دست آمد. بعد از طی هر مرحله برای هر نقشه ادغامی، یک فرمول کدنویسی شد. با استفاده از نقشه واحدهای زیست‌محیطی و کدهای هر ستون از جدول نقشه واحدهای زیست‌محیطی و با نظر به مدل جنگلداری مخدوم (۹) در هر کدام از طبقات تناسب کاربری، کلاسه‌های توان در هر کاربری مشخص و با استفاده از ماژول Query در نرم‌افزار ArcGIS®9.3 توان هر کاربری مشخص گردید.

اندازه‌گیری رواناب واقعی

در طی دوره مطالعاتی جهت برآورد میزان رواناب مشاهداتی، یک دستگاه سنسور اولتراسونیک با دقت یک میلی‌متر در خروجی حوزه (کانال بتنی به ارتفاع ۱۵۰ و عرض ۱۲۰ سانتی‌متر) نصب گردید. در طی دوره مطالعه فقط سه رگبار قابل توجه منجر به ایجاد رواناب گردید. به دلیل ریزش باران بر روی سنسور دستگاه و در نتیجه خرابی سنسور در یکی از رخدادها، دو واقعه رواناب در خروجی حوزه در تاریخ‌های ۱۳۹۳/۸/۱۱ و ۱۳۹۴/۶/۲۵ ثبت گردید.

ارزیابی مدل لیسم

برای ارزیابی کارآیی مدل لیسم از دو روش، مقایسه چشمی (کیفی) و مقایسه آماری (کمی) هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی، استفاده گردید. در روش مقایسه چشمی، مقایسه شکل ظاهری هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بررسی می‌شود، و همچنین اطلاعات مفیدی در خصوص رفتار کلی مدل در شبیه‌سازی رخداد و نقاط قوت و ضعف مدل در شبیه‌سازی مؤلفه‌های مختلف هیدروگراف به‌دست می‌آید. برای ارزیابی آماری از آزمون آماری ضریب همبستگی (R^2)، معیار کارایی ناش - ساتکلیف (N-S) و میانگین حداقل مربعات خطا (RMSe) استفاده شده است (۲۱).

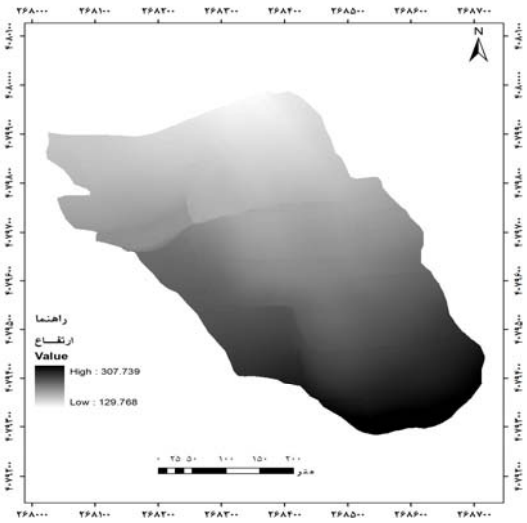
نتایج و بحث

انتخاب رخدادهای مناسب

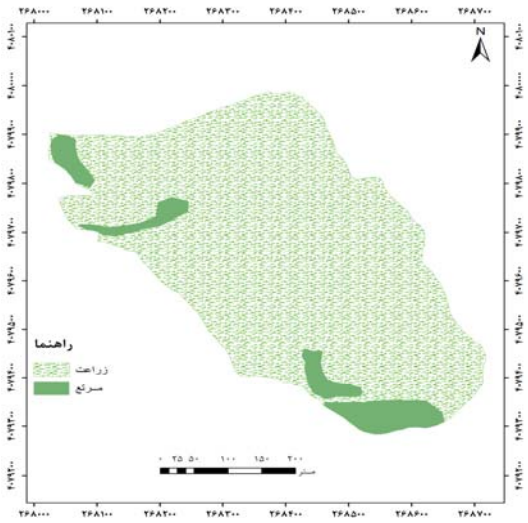
پس از بررسی آمار و اطلاعات دبی و بارش زیر حوزه مورد مطالعه و با توجه به نقایص موجود در آمار و اطلاعات مشخص گردید که، برای ارزیابی کارایی مدل لیسم امکان استفاده از دو رویداد بارش تاریخ‌های ۱۳۹۳/۸/۱۱ و ۱۳۹۴/۶/۲۵ از ایستگاه موجود در زیر حوزه مورد مطالعه که آمار همزمان دبی آن نیز ثبت شده بود، وجود داشته است. به دلیل کمبود اطلاعات بارش برای شبیه‌سازی عکس‌العمل هیدرولوژیک حوزه آبخیز در مقابل رگبارهای با مقدار و شدت نسبتاً زیاد، از ۳ رویداد بارش با مقادیر و شدت بالا که در تاریخ‌های ۱۳۹۰/۶/۵، ۱۳۹۱/۷/۲۲و ۱۳۹۲/۷/۴ در ایستگاه ناهارخوران در مجاورت زیر حوزه مورد مطالعه ثبت شده بود، استفاده شد.

نقشه‌های پایه تهیه شده

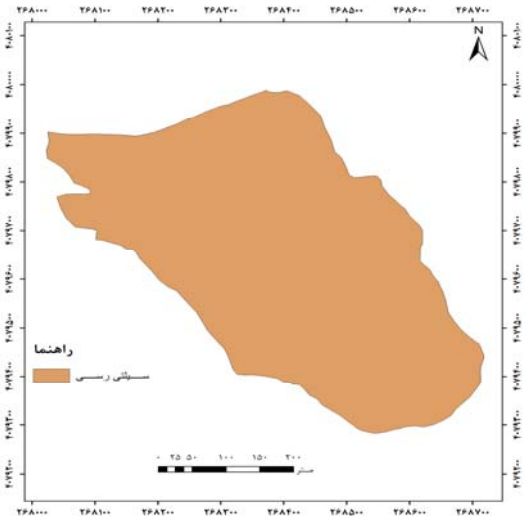
نقشه‌های مورد نیاز مدل لیسم با استفاده از چهار نقشه پایهٔ مدل رقومی ارتفاعی، کاربری اراضی، بافت خاک و راه خاکی تهیه شدند. شکل‌های ۳ الی ۶ نقشه‌های پایه زیر حوزه مورد مطالعه را نشان می‌دهند. نوع بافت حوزه از مطالعات و آزمایش‌های خاک انجام شده در این حوزه کسب گردید.



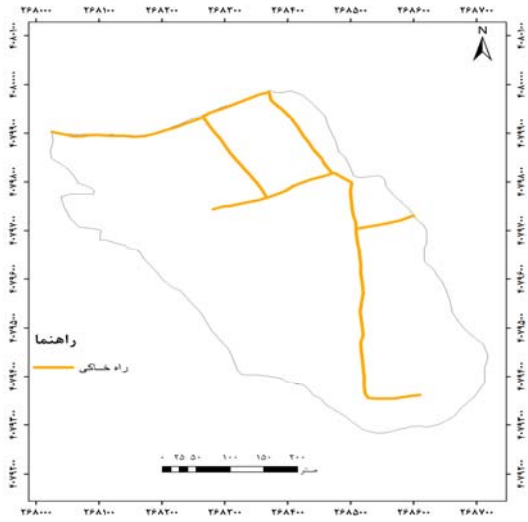
شکل۳. نقشه مدل رقومی ارتفاعی



شکل۴. نقشه کاربری اراضی

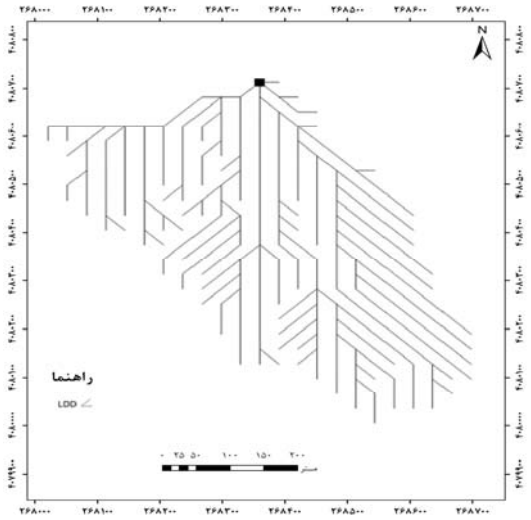


شکل۵. نقشه بافت خاک

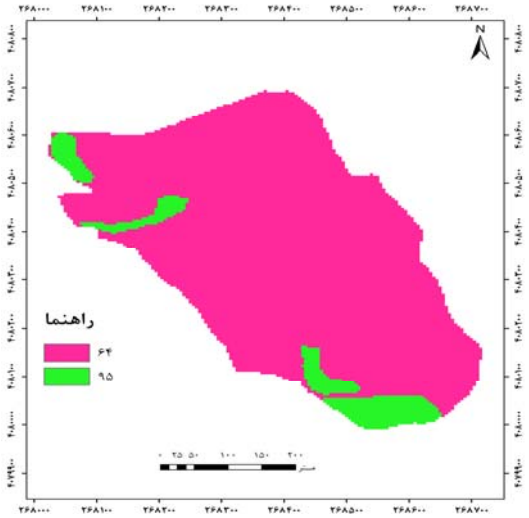


شکل۶. نقشه راه خاکی

نتایج نشان داد که بافت خاک در کل زیر حوزه دارای بافت سیلتی- رسی می‌باشد. از دیگر نقشه‌هایی که با استفاده از توابع سیستم اطلاعات جغرافیایی PCRaster با کدنویسی در این محیط ساخته می‌شود، می‌توان به نقشه‌های آبخیز، پوشش گیاهی، نفوذ و خاک اشاره کرد، که از روی چهار نقشه پایه ورودی مدل و جداول جستجو (Lookup tables) تهیه گردید. نقشه شبکه زهکشی از نقشه‌های آبخیز و نقشه هدایت هیدرولیکی اشباع از نقشه‌های نفوذ در شکل ۷ و ۸ نشان داده شده است.



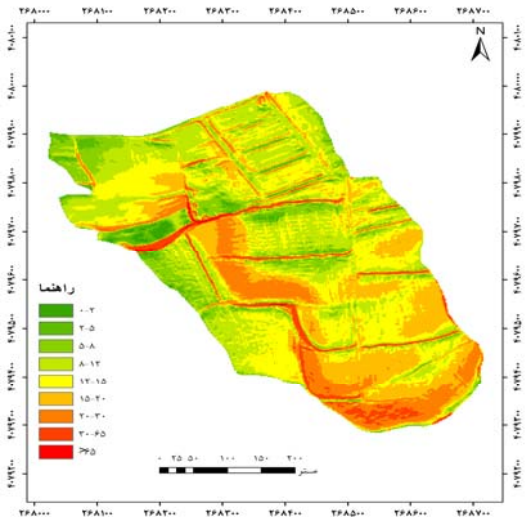
شکل۷. نقشه شبکه زهکشی



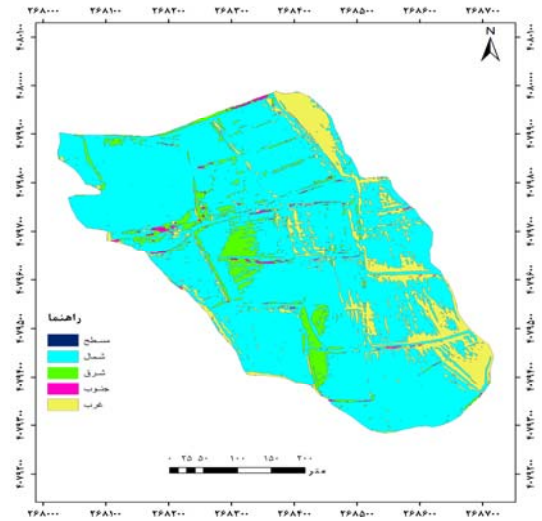
شکل۸. نقشه هدایت هیدرولیکی

سناریوی مدیریت پوشش گیاهی

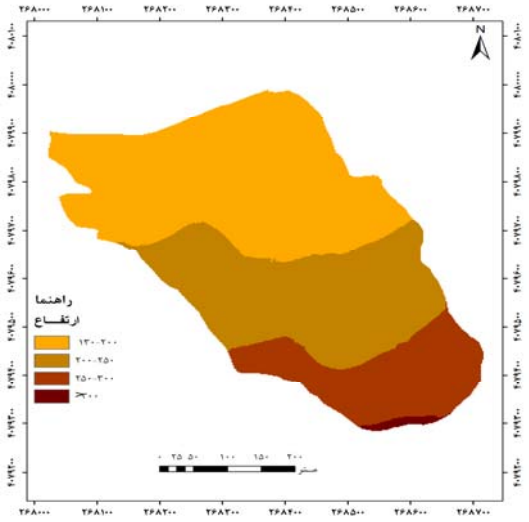
تمامی نقشه‌های مورد نیاز برای انتخاب سناریوی مدیریت پوشش گیاهی در محیط ArcGIS®9.3 تهیه گردید (شکل‌های ۹ تا ۱۳). پس از ادغام نقشه‌ها و تعیین قابلیت کاربری اراضی، جنگل‌کاری با کلاس یک جنگل به عنوان سناریوی برتر برای کل مساحت (۲۷/۶ هکتار) زیر حوزه مورد مطالعه انتخاب گردید که در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



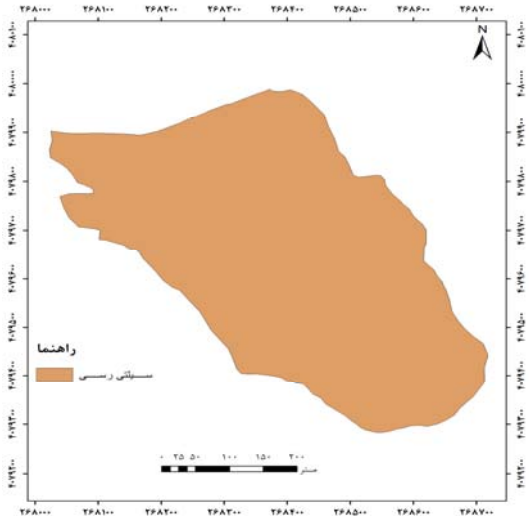
شکل۹. نقشه شیب



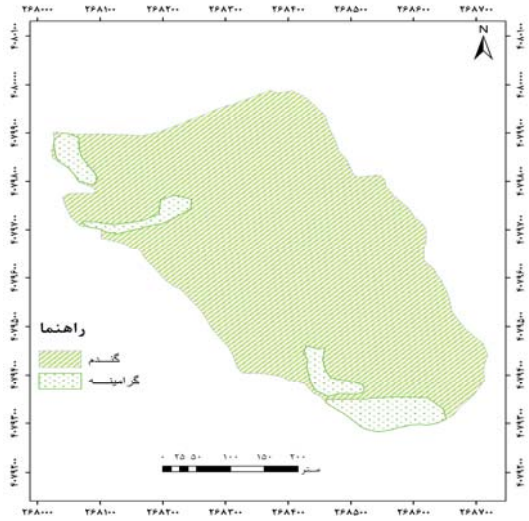
شکل۱۰. نقشه جهت شیب



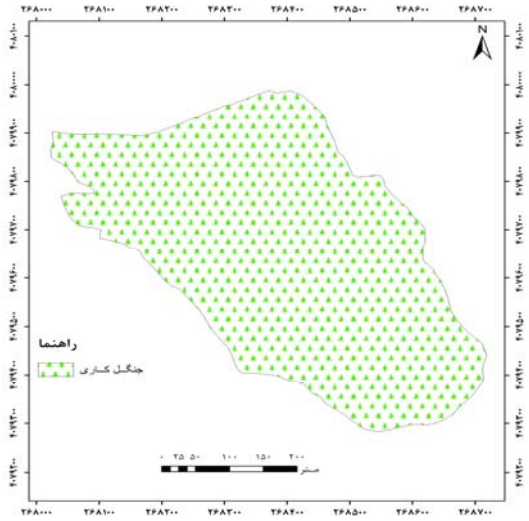
شکل۱۱. نقشه طبقات ارتفاعی



شکل۱۲. نقشه خاک



شکل۱۳. نقشه پوشش گیاهی



شکل ۱۴. نقشه کاربری جنگل

نتایج پارامترهای ورودی مدل لیسم

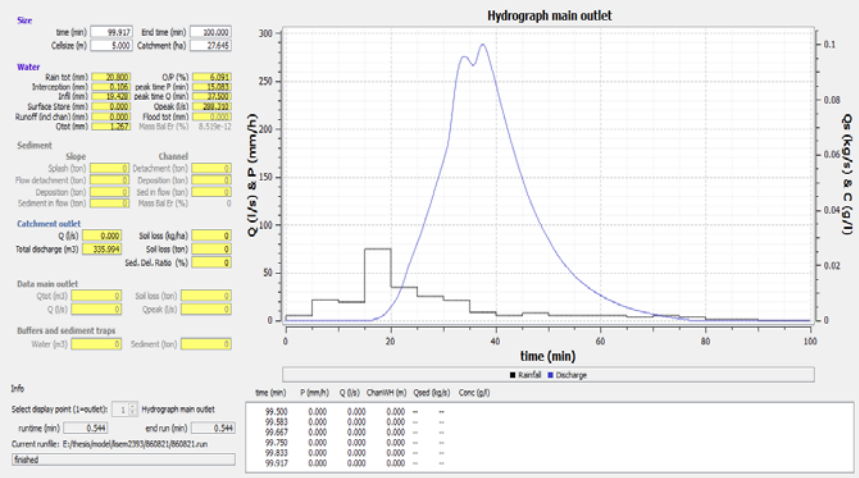
پس از اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز جدول‌های پایهٔ مدل که شامل مقادیر پارامترهای مدل (هدایت هیدرولیکی، ضریب تخلخل، پتانسیل ماتریک، رطوبت اولیه خاک، ضریب پستی و بلندی، ضریب مانینگ، درصد پوشش گیاهی، ارتفاع پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ) است تهیه شد (جدول ۲). در این جدول پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و پتانسیل ماتریک مقادیر اندازه‌گیری شده هستند که مقدار آنها برای بقیه رگبارها نیز ثابت در نظر گرفته شد. رطوبت اولیه خاک نیز از روی داده‌های پایش رطوبت خاک بدست آمد که برای هر رگبار متغیر می‌باشد. بقیه پارامترها نیز برای هر رخداد از جدول ارائه شده توسط دیرو همکاران (۱۳) استخراج شدند.

جدول۲. مقادیر پارامترهای ورودی مدل لیسم

پارامتر	واحد	زراعت	مرتع	راه خاکی	سناریوی مدیریتی جنگلکاری
هدایت هیدرولیکی اشباع خاک	mm⁄hr	۶۴	۹۵	۱۲	۹۵
ضریب تخلخل	cm^3/cm^3	۰/۴۲	۰/۴۳۵	۰/۴	۰/۴۳۵
پتانسیل ماتریک	cm	۴	۴	۴	۴
رطوبت اولیه خاک	cm^3/cm^3	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲۵
ضریب پستی بلندی سطح	cm	۱/۱	۰/۹۹	۰/۹۷	۱/۳۶
ضریب مانینگ	-	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۱۵
درصد پوشش گیاهی	-	۰	۰/۷	۰	۰/۷
ارتفاع پوشش گیاهی	m	۰	۰/۰۵	۰	۱۵
شاخص سطح برگ	m^2/m^2	۰	۱/۸۶	۰/۳۹	۷

نتایج شبیه‌سازی مدل لیسم

اجرای مدل لیسم در آبخیز مورد مطالعه، برای هر رخداد حدود ۱۰-۵ دقیقه طول می‌کشد. خروجی‌هایی از جمله هیدروگراف در نقطه خروجی حوزه، نقشهٔ رواناب برای هر گام زمانی به صورت سری زمانی، فایل متنی حاوی اطلاعات مدت زمان بارش، مقدار بارش، مقادیر متغیرهای دبی شبیه‌سازی شده همچون حجم سیل، دبی حداکثر لحظه‌ای، زمان تا اوج، ضریب رواناب، مقدار ذخیره چالابی و مقدار نفوذ تولید شد. در شکل ۱۵ فایل تصویری مربوط به پایان شبیه‌سازی رگبار مورخه ۱۳۹۳/۸/۱۱ نشان داده شده است. در این مطالعه جهت واسنجی و اعتبارسنجی، تنها پارامتر رطوبت پیشین، در حد مجاز خطای دستگاه TDR یعنی در حدود ۵٪± تغییر داده شد.



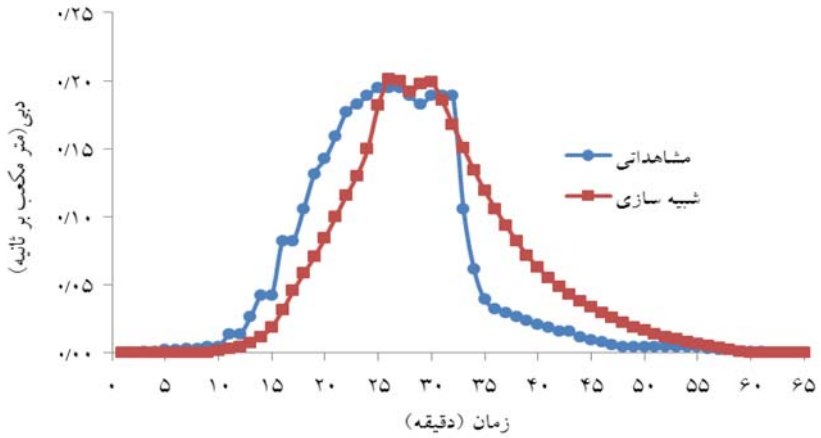
شکل۱۵. شبیه‌سازی مدل لیسم

ارزیابی چشمی مدل لیسم

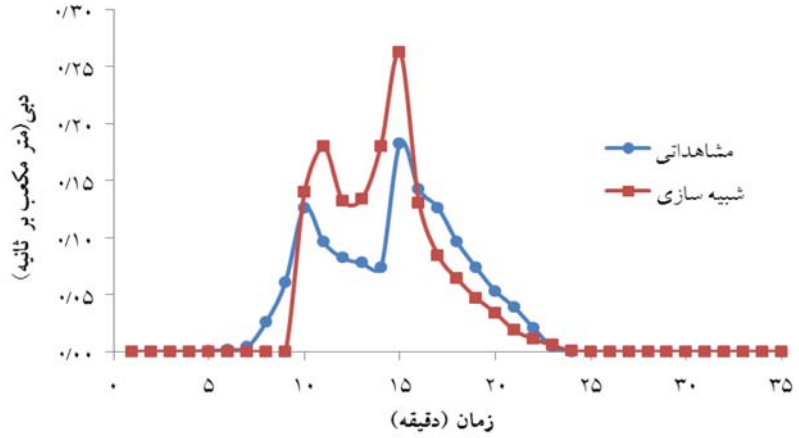
مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی دو رویداد ۱۳۹۳/۸/۱۱ و ۱۳۹۴/۶/۲۵ به ترتیب در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است. یکی از مزایای روش ارزیابی چشمی هیدروگراف‌ها این است که میزان انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر مشاهداتی برای قسمت‌های

مختلف هیدروگراف را امکان‌پذیر می‌سازد. همان طور که از شکل‌های ۱۶و ۱۷ مشاهده می‌شود در هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده با مشاهداتی برای هر رخداد بارش، بین شاخه‌های صعودی و شاخه‌های نزولی هیدروگراف‌ها و همین طور در دو قله بودن هیدروگراف‌ها شباهت زیادی وجود دارد.

علاوه بر بررسی ظاهری، می‌توان اطلاعات مهم هیدروگراف‌ها مانند میزان دبی اوج، زمان اوج هیدروگراف‌ها و حجم سیلاب را نیز به صورت کمی مقایسه نمود. در مقایسه میزان دبی و حجم سیلاب دیده می‌شود که مدل با اختلاف کم دبی جریان را شبیه‌سازی کرده و همچنین در مقایسه زمان تا اوج دیده می‌شود که هیدروگراف‌ها دقیقاً در یک زمان به اوج رسیده‌اند (جدول ۳).



شکل۱۶. مقایسه چشمی هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی (رویداد ۱۳۹۳/۸/۱۱)



شکل ۱۷. مقایسه چشمی هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی (رویداد ۱۳۹۴/۶/۲۵)

جدول۳. مقایسه نتایج هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل لیسم

رویداد سیل	۱۳۹۳/۸/۱۱			۱۳۹۴/۶/۲۵		
متغیرها	مشاهداتی	شبیه سازی	اختلاف (٪)	مشاهداتی	شبیه‌سازی	اختلاف (٪)
دبی حداکثر لحظه‌ای (l/s)	۱۹۴/۹۵	۲۰۲/۰۷۳	۳/۶۵	۱۸۲/۷	۲۶۲/۸	۴۳/۸
زمان اوج (min)	۲۵	۲۵	۰	۱۵	۱۵	۰
حجم سیل (m^3)	۲۰۳/۹۱	۲۱۳/۶۸۷	۴/۷۹	۷۷/۳	۸۲/۷	۶/۹

ارزیابی آماری هیدروگراف مدل لیسم

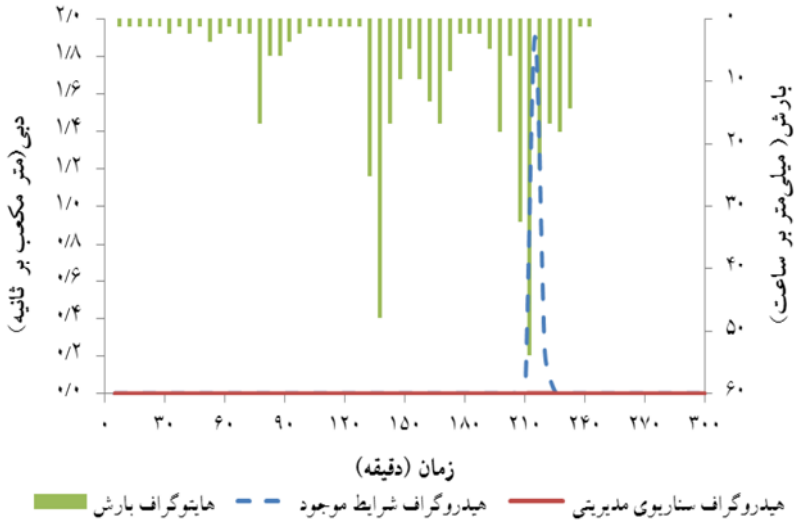
در ارزیابی آماری هیدروگراف شبیه‌سازی شده از سه آزمون آماری ضریب همبستگی (R^2)، معیار کارایی ناش – ساتکلیف (N-S) و میانگین حداقل مربعات خطا (RMSe) استفاده شده است (جدول ۴). هرچه ضریب همبستگی و ضریب ناش- ساتکلیف به یک نزدیکتر و مقدار RMSe کوچکتر باشند نشان‌دهنده کارایی بهتر مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌گردد مقدار ضریب همبستگی برای هر دو هیدروگراف نزدیک به یک و مقادیر ضریب ناش- ساتکلیف بالای ۰/۵ می‌باشد که قابل قبول است و همین طور مقادیر کم RMSe بیانگر میزان خطای کم مدل در شبیه‌سازی رواناب‌های سطحی است.

جدول۴. مقایسه آماری هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی مدل لیسم

روش‌های آماری	R^2	N-S	RMSe
رگبار ۱۳۹۳/۸/۱۱	۰/۸۰۲	۰/۸۰	۳۱/۷۸
رگبار ۱۳۹۴/۶/۲۵	۰/۷۶	۰/۵۰	۳۹/۸

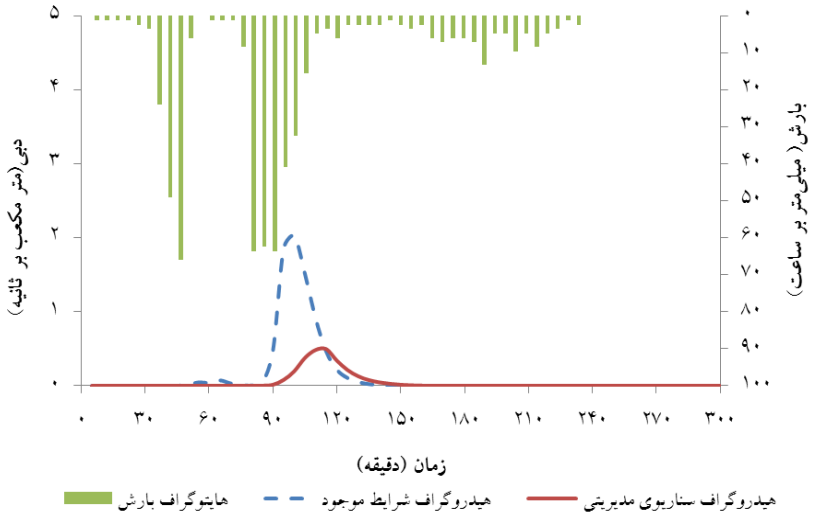
ارزیابی تأثیر سناریوهای مدیریتی پوشش گیاهی

انتخاب سناریو بر اساس تعیین قابلیت کاربری اراضی در محیط ArcGIS®9.3 انجام شد که جنگل‌کاری با کلاس یک جنگل به عنوان سناریوی برتر برای کل مساحت (۲۷ هکتار) زیرحوزه مورد مطالعه انتخاب گردید. برای شبیه‌سازی از ۳ رویداد بارش تاریخ‌های ۱۳۹۰/۶/۵، ۱۳۹۱/۷/۲۲و ۱۳۹۲/۷/۴ از ایستگاه ناهارخوران با مقادیر و شدت بالا در خارج از دوره مطالعاتی استفاده شد. شکل‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰ به ترتیب مربوط به بارندگی ۱۳۹۰/۶/۵، ۱۳۹۱/۷/۲۲ و ۱۳۹۲/۷/۴ است که نتایج حاصل از اجرای مدل لیسم برای این رگبارها را از نظر ظاهری نشان می‌دهد، که تفاوت قابل توجهی در هیدروگراف ناشی از شرایط موجود (گندمزار) با هیدروگراف سناریوی مدیریتی (جنگل) وجود دارد و با اجرای سناریو مدیریتی پوشش گیاهی، زمان شروع، دبی اوج و حجم رواناب کاهش یافته است.

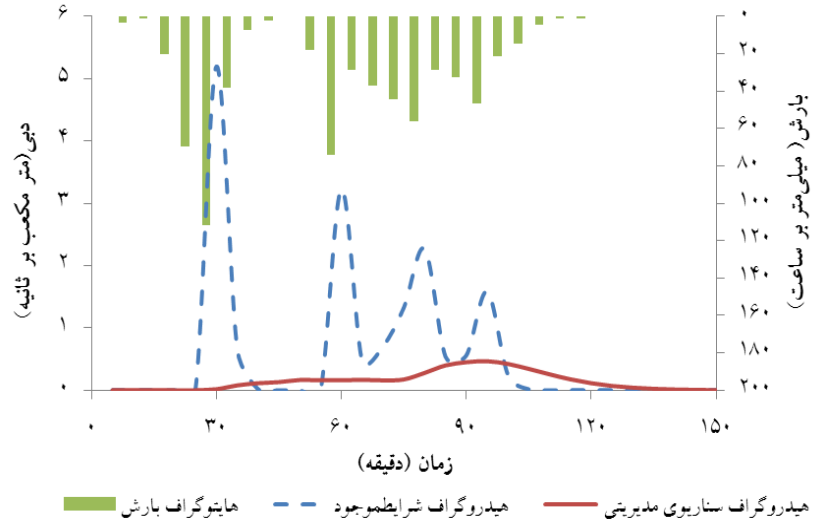


شکل۱۸. هایتوگراف بارش و هیدروگراف شرایط موجود و سناریوی مدیریتی (۱۳۹۰/۶/۵)

با توجه به شکل‌های ۱۹ و ۲۰ و جدول ۵ که مقادیر حاصل از اجرای مدل لیسم را نشان می‌دهد، حجم رواناب برای رگبار ۱۳۹۰/۶/۵ قبل از اجرای سناریوی مدیریتی جنگل ۵۷۷/۷۳۱ متر مکعب بوده و با اجرای سناریو، حجم رواناب به ۱/۱۱۶ مترمکعب کاهش یافته و حجم رواناب برای رگبار ۱۳۹۱/۷/۲۲ قبل از اجرای سناریو ۲۳۷۸/۱۴۵ مترمکعب بوده و با اجرای سناریو این مقدار به ۷۵۹/۶۶۹ مترمکعب رسیده و همچنین حجم رواناب برای رگبار ۱۳۹۲/۷/۴ قبل از اجرای سناریو ۴۶۷۸/۷۲۸ مترمکعب بوده و با اجرای سناریو به ۱۳۱۶/۷۷۶ مترمکعب رسیده است. این نتایج نشان می‌دهند که با اجرای سناریوی جنگلکاری، مقادیر ذخیره برگابی و همچنین مقادیر نفوذ افزایش یافته و در نتیجه مقدار حجم رواناب و همچنین مقادیر مولفه‌های دیگر هیدروگراف جریان کاهش می‌یابد.



شکل۱۹. هایتوگراف بارش و هیدروگراف شرایط موجود و سناریوی مدیریتی (۱۳۹۱/۷/۲۲)



شکل۲۰. هایتوگراف بارش و هیدروگراف شرایط موجود و سناریوی مدیریتی (۱۳۹۲/۷/۴)

با بررسی نتایج حاصل از اجرای سناریوی جنگل‌کاری توسط مدل لیسم در ۳ رویداد متفاوت، و مقایسه آن با میزان رواناب برای شرایط موجود، مشاهده می‌شود که حجم رواناب به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

در حقیقت درختان به عنوان یک سپر حفاظتی از خاک عمل می‌کنند و علاوه بر اینکه بخش قابل توجهی از انرژی قطرات باران به وسیله شاخ و برگ درختان گرفته می‌شود بخش زیادی از بارندگی به صورت برگاب و ساقاب مهار می‌شود. همچنین مقداری از بارندگی به صورت اتلاف تاجی و تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شود، در نتیجه با توجه به انتخاب سناریوی جنگل‌کاری در این تحقیق و تاج پوشش زیاد آن، مقدار زیادی از بارندگی به وسیله درختان مهار می‌شود و حجم رواناب به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.

جدول۵. نتایج اجرای مدل لیسم برای رگبارها در شرایط موجود و سناریوی مدیریتی

نتایج	رخداد ۱۳۹۰/۶/۵	سناریوی جنگل	رخداد ۹۱/۷/۲۲	سناریوی جنگل	رخداد ۱۳۹۲/۷/۴	سناریوی جنگل
مساحت حوزه (ha)	۲۷/۶۴۵	۲۷/۶۴۵	۲۷/۶۴۵	۲۷/۶۴۵	۲۷/۶۴۵	۲۷/۶۴۵
مجموع بارندگی (mm)	۳۴/۸۰۰	۳۴/۸۰۰	۴۷/۵۰۰	۴۷/۵۰۰	۵۵/۴۰۰	۵۵/۴۰۰
ارتفاع رواناب (mm)	۲/۱۷۸	۰/۰۰۴	۸/۹۶۷	۲/۸۶۵	۱۷/۶۴۲	۴/۹۶۵
ذخیره برگابی (mm)	۰/۴۱۰	۰/۱۶۰	۰/۲۷۶	۰/۵۰۶	۰/۴۱۰	۰/۳۸۶
مجموع نفوذ (mm)	۳۱/۵۶۴	۳۴/۶۳۶	۳۸/۵۸۹	۴۴/۱۲۹	۳۷/۱۹۳	۵۰/۰۴۹
حجم رواناب (m^3)	۵۷۷/۷۳۱	۱/۱۱۶	۲۳۷۸/۱۴۵	۷۵۹/۶۶۹	۴۶۷۸/۷۲۸	۱۳۱۶/۷۷۶
دبی پیک (l/s)	۱۹۰۴/۳۸۰	۲/۲۲۳	۲۰۹۵/۹۵۵	۵۴۶/۶۱۷	۵۱۹۳/۷۲۰	۴۶۶/۸۱۴
زمان اوج (min)	۲۱۰	۲۱۰/۹۱۷	۹۳	۱۰۷/۰۸۳	۲۵	۹۰
ضریب رواناب (٪)	۶/۲۶۰	۰/۰۱۲	۱۸/۸۷۹	۶/۰۳۱	۳۱/۸۴۵	۸/۹۶۲
زمان شروع رواناب (min)	۲۰۵	۲۰۵/۹۱۷	۴۰	۷۶	۲۰	۲۰/۳۳

با اجرای مدل فیزیکی لیسم در زیرحوزه غربی شهرک بهزیستی امکان شبیه‌سازی رواناب، دبی اوج لحظه‌ای و زمان رسیدن به دبی اوج در رگبار مورد مطالعه در این حوزه فراهم گردید. مقایسه ظاهری و آماری بیانگر توانایی خوب مدل در شبیه‌سازی عکس‌العمل هیدرولوژیک زیرحوزه شهرک بهزیستی گرگان در مقابل وقایع رگباری است. مقایسه آماری هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی رگبارهای مورخه ۱۳۹۳/۸/۱۱ و ۱۳۹۴/۶/۲۵ نشان داد که ضریب همبستگی آن‌ها به ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۷۶ و معیار ناش- ساتکلیف آن‌ها به ترتیب ۰/۸و ۰/۵ می باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که مدل قادر است میزان کل رواناب، دبی اوج، زمان شروع رواناب و زمان رسیدن به دبی اوج را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی نماید. این در حالی است که در این مطالعه، جهت واسنجی و اعتبارسنجی، تنها پارامتر رطوبت پیشین خاک آن هم در حد مجاز خطای دستگاه TDR یعنی در حدود ٪۵± تغییر داده شد. به عبارتی اگر داده رطوبت پیشین خاک با دقت و توزیع مکانی مناسب فراهم باشد مدل لیسم به دلیل اینکه یک مدل با پایه فیزیکی است بدون نیاز به واسنجی گسترده می‌تواند وقایع بارش- رواناب آبخیزهای کوچک را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی نماید. در مورد ویژگی‌های مهم هیدروگراف از قبیل: دبی پیک لحظه‌ای، حجم رواناب و زمان رسیدن به دبی اوج، بین دو هیدروگراف تطابق مناسبی وجود

دارد که با یافته‌های رحمتی و همکاران (۲۳)، دیرو (۱۴)، کلته و همکاران (۸) و هسل و جتن (۱۷) که این مدل را به ترتیب در حوزه لیقوان واقع در شمال غرب ایران، اراضی لسی هلند، اراضی تپه ماهوری لسی شرق استان گلستان و فلات‌های لسی چین بکار برده‌اند، مشابهت دارد.

با اعمال سناریوی جنگل‌کاری در زیر حوزه شهرک بهزیستی گرگان، میزان حجم رواناب و همچنین دبی اوج رواناب به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. پوشش جنگلی به دلیل داشتن تاج پوشش فراوان و نگهداشت درصد زیادی از باران به صورت برگاب جلوگیری از برخورد مستقیم قطرات باران به سطح خاک و بسته شدن خلل و فرج سطح خاک و همچنین ضریب زبری مانینگ بزرگ‌تر می‌تواند مانع جاری شدن حجم زیادی از رواناب و رسوب گردد. این مطالعه نشان داد که اگر از اراضی، مطابق با توان و پتانسیل تولیدی آنها استفاده شود، علاوه بر حفظ منابع جبران‌ناپذیر طبیعی، می‌توان رواناب و فرسایش و رسوب آبخیز مورد مطالعه را به میزان قابل توجهی کاهش داد که با نتایج پیشداد سلیمان‌آباد و همکاران (۵) مطابقت دارد.

با توجه به قابلیت‌ها و محدودیت‌های مدل فیزیکی لیسم همانند سایر مدل‌های فیزیکی و نتایج خوب این مدل فیزیکی در اراضی لسی استان گلستان و شرایط متفاوت کاربرد این مدل در مناطق دیگر دنیا، به طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که مدل لیسم با توجه به نتایج تحقیق حاضر و مرور منابع علمی، از قابلیت مناسبی برخوردار می‌باشد و در صورتی که سایر مناطق ایران دارای شرایط اقلیمی، ادافیکی و فیزیوگرافی مشابه با زیر حوزه غربی شهرک بهزیستی باشد و اطلاعات مورد نیاز مدل فراهم و در دسترس باشد، می‌توان از آن استفاده نمود.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی ایلخچی، ع.، م. ع. حاج عباسی و ا. جلالیان. ۱۳۸۱. اثر تغییر کاربری‌های زمین‌های مرتعی به دیم‌کاری بر تولید رواناب، هدررفت و کیفیت خاک در منطقه دوراهان چهارمحال بختیاری. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۶(۴): ۱۰۳-۱۱۶.

۲. افشار، ع. ۱۳۶۴. مهندسی هیدرولوژی، چاپ اول، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۴۵۹ صفحه.

۳. برزگر، ع. ۱۳۸۳. فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه چمران اهواز. ۳۰۹ صفحه.

۴. بهرامی، س. ع. ۱۳۹۰. بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات هیدرولوژیک حوزه آبخیز سد بوستان استان گلستان با استفاده از مدل HEC-HMS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۱۰ صفحه.

۵. پیشداد سلیمان‌آباد، ل.، ع. سلمان ماهینی و ع. نجفی‌نژاد. ۱۳۹۰. ارزیابی اقتصادی تغییر کاربری اراضی با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چراغ ویس سقز). فصلنامه کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۲(۱): ۱۵-۲۹.

۶. تلوری، ع. ر. ۱۳۷۵. مدل‌های هیدرولوژیکی به زبان ساده. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۰۱ صفحه.

۷. جهانگیر، ع.، م. رائینی سرجاز و م. خ. ضیاتباراحمدی. ۱۳۸۷. شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در حوزه کارده. آب و خاک، ۲۲(۲): ۷۲-۸۴.

۸. کلته، آ.، و. ب. شیخ، ا. سعدالدین و ن. نورا. ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی مدل فیزیکی LISEM به منظور برآورد سیل در حوضه معرف و زوجی کچیک استان گلستان. چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، نور، دانشگاه تربیت مدرس. ۶ الی ۹ شهریور ماه.

۹. مخدوم، م. ۱۳۸۰. شالوده آمایش سرزمین، چاپ دهم، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۸۵صفحه.

۱۰. میردیلمی، س. ز.، غ. حشمتی و ی. همت‌زاده. ۱۳۹۰. آمایش حوزه آبخیز کچیک بر اساس مدل سیستمی رایج در آمایش سرزمین به روش دو ترکیبی. فصلنامه کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۲(۳): ۶۵-۷۵.

۱۱. ولیخانی، ن.، ا. ح. چرخابی، م. خیرخواه زرکش و م. ج. سلطانی. ۱۳۹۰. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصیم‌گیری چند معیاره MCDM در پهنه‌بندی درجه تناسب فیزیکی اراضی شهری (مطالعه موردی: شمال شهر کرج).

فصلنامه کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۲(۲): ۱-۱۴.

12. Bewket W, Stroosnijder L. 2003. Effects of agroecological land use succession on soil properties in Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. Geoderma, 111(1): 85-98.
13. De Roo A, Wesseling C, Jetten V, Offermans R, Ritsema C. 1995. LISEM, Limburg Soil Erosion Model, User Manual. Department of Physical Geography, Utrecht University, The Netherlands. 72 pp.
14. De Roo A. 1996. The LISEM project: an introduction. Hydrological Processes, 10(8): 1021-1025.
15. Elsen EVD, Stolte J. 2002. Soil erosion modeling: description and data reqirements for the LISE physically based erosion model. Department of Soil and Land Use Wageningen University. 20 pp.
16. Harun S, Nor NIA, Kassim AHM. 2012. Artificial neural network model for rainfall–runoff relationship. Jurnal Teknologi, 37(1): 1–12.
17. Hessel R, Jetten V. 2007. Suitability of transport equations in modelling soil erosion for a small Loess Plateau catchment. Engineering Geology, 91(1): 56-71.
18. Izquierdo AE, Grau HR. 2009. Agriculture adjustment, land-use transition and protected areas in Northwestern Argentina. Journal of Environmental Management, 90(2): 858-865.
19. Jetten VG. 2002. LISEM Limgurg Soil Erosion Model user manual. University of Utrecht. 64 pp.
20. Kamphorst E, Jetten V, Guérif J, Iversen B, Douglas J, Paz A. 2000. Predicting depressional storage from soil surface roughness. Soil Science Society of America Journal, 64(5): 1749-1758.
21. Nash J, Sutcliffe JV. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. Journal of hydrology, 10(3): 282-290.
22. Onstad C. 1983. Depressional storage on tilled soil surfaces. Paper-American Society of Agricultural Engineers (USA) Microfiche collection, no. fiche 83-2050.
23. Rahmati M, Neyshabouri MR, Fakherifard A, Oskouei MM, Ahmadi A, Sheikh JV. 2013. Rainfall-runoff prediction using LISEM model in Lighvan watershed, North West of Iran. Technical Journal of Engineering and Applied Sciences, 3(16): 1893-1901.
24. Sheikh V, van Loon E, Hessel R, Jetten V. 2010. Sensitivity of LISEM predicted catchment discharge to initial soil moisture content of soil profile. Journal of Hydrology, 393(3): 174-185.
25. Skidmore AK. 1989. A comparison of techniques for calculating gradient and aspect from a gridded digital elevation model. International Journal of Geographical Information System, 3(4): 323-334.
26. Smith R, Parlange JY. 1978. A parameter-efficient hydrologic infiltration model. Water Resources Research, 14(3): 533-538.
27. von Hoyningen-Huene J. 1981. Die Interzeption des Niederschlags in landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen. Arbeitsbericht Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK, 280p.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 6/ Issue 4) winter 2016
Indexed by ISC, SID, Magiran and Noormags
http://girs.iaubushehr.ac.ir

Simulation of surface runoff using GIS-based model of Limburg soil erosion model (LISEM)

R. Jafari [1*], V. B. Sheikh [2], M. Hosseinalizadeh [3], H. Rezaei Moghadam [1]

1. MSc. student of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources
2. Assoc. Prof. College of Range Land and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources
3. Assis. Prof. College of Range Land and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

ARTICLE INFO

Article history:
Received 10 December 2014
Accepted 20 June 2015
Available online 16 January 2016

Keywords:
Runoff simulation
Limburg soil erosion model (LISEM)
Geographic information system (GIS)
Gorgan

ABSTRACT

Simulation of runoff resulted from any significant rainfall events can help to estimate the severity of floods. To protect watersheds, application of a model which is able to predict runoff at certain times and places is essential. Therefore, this study aimed to simulate runoff generation in upstream catchments of the Shahrake Behzisti as well as assessing the effect of implementation of vegetation management scenarios, using three relatively intense rainfall events occurred in recent years. The model of physically based Limburg soil erosion model (LISEM) within PCRaster GIS and programming language was applied in this study. In order to run the LISEM model, four basic raster maps of digital elevation model, landuse, soil texture and roads (impervious areas) were prepared. Digital elevation model map of the catchment was extracted from the Ultracam image of 1 m resolution within the ArcGIS®9.3 environment. During this study, only two events on 2/11/2014 and 16/9/2015 led to runoff generation. Thus, the first event was used for calibration and the second one for validation of the model. Statistical comparison of the simulated and observed hydrographs of the rain events on 2/11/2014 and 16/9/2015 showed the correlation coefficients of 0.80 and 0.76 and Nash-Sutcliffe criteria of 0.8 and 0.5 respectively. The results of the simulation showed that the model was able to predict total runoff, peak discharge, runoff initiation time and time to peak discharge with relatively good performance. The results of the application of the LISEM model showed that runoff volume and peak discharge significantly decreased by implementation of vegetation management scenarios.

* Corresponding author e-mail address: Jaafari_roya@yahoo.com