

شبیه‌سازی جریان رود و بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر روی آن (مطالعه‌ی موردی، حوضه‌ی آبخیز گل‌گل ایلام)

سمیه میرزایی^۱، حسین زینی‌وند^{۲*}، علی حقی‌زاده^۳

چکیده

هدف از این تحقیق، شبیه‌سازی بارش - رواناب و تحلیل اثرات کاربری اراضی بر آن با استفاده از شبیه WetSpa، و بررسی دقت نرم افزار مزبور در پیش‌بینی رواناب حاصل از بارش باران می‌باشد. معیار ارزیابی شبیه‌سازی - ساتکلیف برای دوره‌ی آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ و نقشه‌ی کاربری اراضی ۲۰۰۷ در تحقیق حاضر، برابر با ۰/۶۰۳ به دست آمد. نتایج حاصل از تغییر کاربری با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که اراضی جنگلی و کشت آبی-باغی از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ روند کاهشی را، به ترتیب به میزان ۳۳۲۲/۵۰۲ و ۳۹۳۴/۳۸۶ هکتار و اراضی مرتعی و کشت دیم روند افزایشی را، به ترتیب به میزان ۳۹۴۲/۹۹ و ۳۳۱۳/۹ هکتار داشته‌اند. با توجه به تغییر نقشه‌ی کاربری اراضی، تغییرات بده‌های شبیه‌سازی شده با کاربرد نرم افزار مزبور شبیه در سالهای ۱۹۸۸، ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳، بررسی شد. داده‌های هر دو سال به صورت جفتی با استفاده از آزمون آماری t جفتی مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪ بین داده‌های بده‌ی شبیه‌سازی شده به واسطه تغییر نقشه‌ی کاربری از ۲۰۰۳ به ۲۰۱۳ وجود دارد، بطوری که میانگین بده‌ی سالانه به واسطه‌ی تغییرات کاربری اراضی از ۱/۱۱۸ متر مکعب بر ثانیه در سال ۲۰۰۳ به ۱/۱۳۴ متر مکعب بر ثانیه در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته است؛ بنابراین، تغییرات کاربری از ابتدا تا انتهای دوره‌ی مطالعاتی موجب افزایش ۱۵ لیتر بر ثانیه (۱/۴۳ درصد) در میانگین بده‌ی روزانه شده است. حجم رواناب هم بطور کلی روند افزایشی را نشان داد.

کلمات کلیدی: تراز آبی، شبیه‌آشناسی، WetSpa، رواناب، بده

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری دانشگاه لرستان

^۲دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه لرستان zeinivand.h@lu.ac.ir؛ hzeinivand@gmail.com

^۳استادیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه لرستان

مقدمه

زیرحوضه ی آبخیز و شبکه ی سلولی با گامهای زمانی مختلف را داراست (زینی‌وند و دسمت، ۲۰۰۹). با توجه به تحقیقات انجام شده، از مزایای شبیه Wetspa، ارتباط با سامانه ی اطلاعات جغرافیایی و نیاز به ورودیهای کم برای اجرا (کاربری اراضی، شبیه رقومی ارتفاع و نوع خاک) می باشد. شبیه WetSpa نمونه‌ای از شبیه‌هایی با مبنای فیزیکی است، زیرا بر اساس راه‌حل معادلات اساسی فیزیکی به شبیه‌سازی در مقیاس بزرگ و مطالعه ی فرایندهای سیستم اصلی می‌پردازد. این شبیه در گروه شبیه‌های توزیعی قرار دارد زیرا در آن اطلاعات مکانی به صورت واحدهایی در سطح پیکسل در کنار داده‌های آشناسی قرار گرفته و حوضه و شبکه ی آبراهه را به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته در نظر می‌گیرد که هر شبکه، به وسیله ی فراسنجهای خاص خود، شرایط اولیه و ورودیهای بارش شرح داده می‌شود؛ در نتیجه، پیش بینی فضایی فرایندهای آبی و فرسایش در هر نقطه از آبخیز امکان‌پذیر است. همچنین، این شبیه پیوسته بوده زیرا دارای اجزایی می‌باشد که تبخیر - تعرق و حرکت آب را در خاک بین رگبارها توصیف می‌نماید؛ بنابراین، قادر به برقراری تعادل آب و کارمایه بین رگبارها می‌باشد. لازم به ذکر است که شبیه WetSpa در محیط Arcview و به صورت Avenue و به زبان برنامه نویسی Fortran نوشته و کامل گردیده است. با توجه به این که Avenue نه تنها یک محیط برنامه‌نویسی سطح بالا بر پایه ی GIS می‌باشد، بلکه یک زبان برنامه‌ریزی کلی در شبیه‌سازی مناظر طبیعی و محیط‌زیست است؛ در نتیجه، پردازش مکانی اطلاعات ساده و دقیق خواهد بود و این یکی از امتیازات علمی و کاربردی شبیه WetSpa می‌باشد.

این شبیه برای اولین بار به وسیله ی وانگ و همکاران (۱۹۹۷) برای پیش‌بینی انتقال آب و کارمایه بین خاک، گیاهان و نیوار در حوضه ی آبخیز تهیه شد. نتایج این تحقیق نشان دادند که ترکیب شبیه‌سازی توزیعی و سامانه ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) بسیار سودمند بوده است. گبرسکل و همکاران (۲۰۰۲)، در حوضه ی آبخیز آرایت در لوگزامبورگ، با استفاده از سامانه ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) و شبیه WetSpa با داده‌های ساعتی بارندگی در

یکی از پیچیده‌ترین فرایندهای آشناسی، فرایندهای بارش- رواناب است که از فراسنجهای مختلف فیزیکی و آشناسی تأثیر می‌پذیرد. شبیه سازی فرایند بارش- رواناب، و پیش‌بینی بده ی رود یک اقدامی مهم در مدیریت و مهار کردن سیلابها، طراحی سازه‌های آبی در حوضه‌های آبخیز و مدیریت خشکسالی می‌باشد (سلاجقه و همکاران، ۱۳۸۸؛ کریمی، ۱۳۹۴). محدودیت‌های مختلف نظیر کافی نبودن ایستگاههای آبنسجی در آبراهه‌های رتبه ی پایین، و هزینه‌بر بودن جمع‌آوری آمار و اطلاعات مشاهده‌ای، استفاده از شبیه‌های آشناسی را در برآورد آب نمای سیل ایجاب می‌نماید (صادقی و همکاران، ۱۳۸۴). شبیه‌های آشناسی پیچیده‌ای توسعه داده شده است که به داده‌ها و اطلاعات اندازه‌گیری شده فراوانی نیاز دارند، که در بسیاری از حوضه‌های آبخیز از جمله ایران، چنین آماری وجود ندارد، و عامل مزبور کاربرد این شبیه‌ها را با مشکل مواجه ساخته است؛ بنابراین، در انتخاب شبیه مناسب، باید به مؤلفه‌هایی مانند توزیعی یا یکپارچه بودن، فیزیکی یا تجربی بودن ساختار آن، ساده یا پیچیده بودن، و در دسترس بودن یا نبودن داده‌های مورد نیاز به عنوان ورودی شبیه و یا برای واسنجی توجه داشت (زینی‌وند، ۱۳۸۹). رشد و پیشرفت امکانات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری باعث تحول شگرفی در ارائه ی شبیه‌های برنامه های رایانه ای جدیدی گردیده است که بیش از گذشته قادر به شبیه‌سازی کنشهای عناصر حوضه در مقابل ورودی شبیه بارش می‌باشد. از طرف دیگر، توسعه ی نرم‌افزاری مربوط به سامانه ی اطلاعات جغرافیایی این امکان را به کاربر می‌دهد که نقش تمام متغیرهای مکانی در شبیه را نمایان کند؛ به همین دلیل، تلفیق GIS و شبیه‌های ریاضی می‌تواند هم در تهیه ورودیهای شبیه، و هم در تجزیه و تحلیل خروجیها نقش مؤثری داشته باشد (آذری، ۱۳۸۵). یکی از این شبیه‌ها، برنامه ی آشناسی توزیعی WetSpa برای شبیه‌سازی فرایندهای آشناسی است. WetSpa یک شبیه پیوسته آشناسی- فیزیکی است که قابلیت پیش‌بینی سیلاب و شبیه‌سازی تراز آبی، فرسایش و انتقال رسوب، کیفیت آب و مدیریت آبخیز در مقیاس حوضه ی آبخیز،

کارولینا واقع در ایالات متحده ی امریکا و با استفاده از شبیه WetSpa انجام داده و به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری اراضی از جنگلهای طبیعی به مراتع و چراگاههای متوسط و ضعیف ارتباط معنی‌داری با کاهش جریان پایه دارد. یعقوبی و همکاران (۱۳۸۹) شبیه را در حوضه ی آبخیز چهل‌چای گلستان جهت تهیه ی نقشه ی ضریب رواناب آزمون نمودند. نتایج آنها نشان دادند که با اصلاح و بهبود کاربری اراضی در این مناطق می‌توان تولید رواناب را کاهش داد. کبیر و همکاران (۲۰۱۱) در حوضه ی آبخیز گرگان‌رود، توانایی شبیه‌سازی جریان رود را با کاربرد شبیه WetSpa پیش‌بینی کرده و معیار ارزیابی ناش - ساتکلیف را برای برآورد بده ی روزانه ۷۱ تا ۷۶ درصد به دست آوردند. نتایج، قابلیت بالای شبیه را در برآورد مؤلفه‌های آبشناسی، و در نتیجه شبیه‌سازی دقیقتر تراز آبی نشان داد. متکان و همکاران (۱۳۹۰) در حوضه ی آبخیز مرک، استان کرمانشاه، توانایی برنامه را در شبیه‌سازی جریان روزانه ی رود، و تحلیل اثرات تغییر کاربری بهینه بر آن، بررسی کردند، که معیار ارزیابی ناش - ساتکلیف با دقتی معادل ۷۷٪ به دست آمد. همچنین شبیه‌سازی جریان رود تحت کاربری بهینه نشان داد که آب نمای جریان رود با تأخیر به اوج خود رسیده و در مقایسه با آب نمای کاربری فعلی دیرتر فروکش می‌کند. به علاوه، بده ی اوج آب نما نیز بعد از تغییر کاربری بهینه، پایینتر آمده است. مرادی پور و همکاران (۱۳۹۰) در حوضه ی آبخیز طالقان توانایی برنامه ی WetSpa را در شبیه‌سازی توزیعی مکانی سیل بررسی کرده معیار ارزیابی ناش - ساتکلیف را برای برآورد رواناب با گام زمانی روزانه، ۸۴/۸۵ درصد به دست آوردند. نتایج نشان دادند که با توجه به عوامل های آبشناسی توزیعی مکانی حوضه و خروجی مربوطه، شبیه قابلیت تجزیه و تحلیل اثرات پستی و بلندی، بافت خاک و کاربری اراضی را در رفتار آبشناسی آبخیز دارد.

با توجه به مطالب گفته شده، هدف از این تحقیق، شبیه‌سازی بارش - رواناب و تحلیل اثرات کاربری اراضی بر آن با

۶ سال، بده ی رود را برآورد کردند؛ نتایج تحقیق آنها نشان دادند که شبیه دارای کارایی بالایی در تخمین بده بوده است. لیو و همکاران (۲۰۰۳) در حوزه ی آبخیز آرزایت در لوگزامبورگ شبیه مزبور را با ۳۰ ماه داده های ساعتی آزمون کرده و نتیجه گرفتند که این شبیه از توانایی بالایی برای بررسی تغییر کاربری اراضی یا پوشش خاک بر رفتار آبشناسی رود برخوردار است. همچنین تحلیل حساسیت شبیه نشان داد که فراوانی سیلاب و ضریب زبری آبراهه بیشترین تأثیر را بر آب نمای خروجی آبخیز می‌گذارند. دی‌وورد و همکاران (۲۰۰۶)، در مطالعه‌ای که در مناطق شهری بروکسل (بلژیک) انجام دادند، از برنامه ی WetSpa برای شبیه‌سازی توزیعی مکانی مشخصه‌های آبشناسی حوضه و پیش‌بینی آب نماها، بویژه بده های اوج استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که بین درصد سطوح نفوذناپذیر (آسفالت و مناطق شهری) و نحوه ی توزیع مکانی آنها، و بده های اوج شبیه‌سازی شده، رابطه ای وجود دارد. علاوه بر آن، بیشترین بده ها برای نمایشنامه های کاملاً توزیعی سطوح غیر قابل نفوذ، و کمترین آنها برای نمایشنامه های غیرتوزیعی، شبیه‌سازی گردید. صفری و همکاران (۲۰۱۲) شبیه WetSpa را در چند حوضه ی آبخیز در ایالات متحده ی امریکا برای شبیه سازی جریان رود واسنجی کردند؛ نتایج آنها از خوب تا خیلی خوب تغییر داشت. سپس با ثابت نگهداشتن مقادیر فراسنجهای به دست آمده از حوضه های اصلی، اقدام به شبیه سازی جریان رود در زیرحوضه های آبخیزها کردند که نتایج از ضعیف تا خیلی خوب تغییر نمودند؛ یکسان نبودن نتایج به تغییرات محلی و شرایط متفاوت آبشناسی نسبت داده شدند. زینی‌وند و دسمت (۲۰۰۹) شبیه مزبور را در حوضه ی آبخیز سد لتیان واقع در کوههای البرز در شمال ایران جهت شبیه‌سازی فرسایش خاک و انتقال رسوب آزمون کردند، که معیار ناش - ساتکلیف برای بده ی ۸۵٪ به دست آمد؛ نشان داد که برنامه در شبیه سازی آب نما از دقت بالایی برخوردار است معیار مزبور برای مواد معلق ۶۵٪ به دست آمد، که نشان دهنده ی تطابق قابل قبول بین مواد معلق مشاهده گردیده و شبیه سازی شده می‌باشد. پرایس و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای که در شمال غربی

زیاد، حذف، و نهایتاً ۷ ایستگاه بارانسنجی، ۲ ایستگاه دما سنجی و ۲ ایستگاه تبخیر سنجی انتخاب گردیدند (شکل ۱).

در این تحقیق پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات پایه‌ی هواشناسی، و اطمینان از صحت آنها، دوره‌ی آماری مشترک برای داده‌ها تعیین شد، با این توضیح که دوره‌ی آماری مشترک، یعنی دوره‌ی ای که در آن تمام داده‌های آماری مورد نیاز وجود داشته باشند، که در نهایت این دوره از ۲۳ سپتامبر سال ۲۰۰۳ تا ۲۲ سپتامبر ۲۰۱۰ تعیین گردید.

روش پژوهش

مراحل انجام تحقیق در شکل شماره ۸ نشان داده شده است. طبق این شکل، اولین مرحله، تهیه و جمع‌آوری داده‌های خام مورد نیاز و فرایند اصلاح و ویرایش آنها می‌باشد، که نهایتاً منجر به شبیه‌سازی فرایندهای حوضه‌ی آبخیز می‌شود. سپس نتایج شبیه‌سازی با استفاده از معیارهای ارزیابی، از جمله معیار ناش - ساتکلیف مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. فرایند واسنجی شامل بررسی و مقایسه‌ی بده‌ی شبیه‌سازی شده پس از اجرای شبیه‌ی بده‌ی مشاهداتی است. شبیه‌ی با تنظیم ورودیهای آن (فراسنجهای عمومی) و ارزیابی خروجیها واسنجی می‌گردد (کومار شرسا و همکاران، ۲۰۰۷). فراسنجهای عمومی شبیه عبارتند از:

عامل مقیاس برای محاسبات جریان زیرسطحی^۱ (Ki)، ضریب افت آبهای زیرزمینی^۲ (Kg)، ذخیره‌ی اولیه آبهای زیرزمینی^۳ (G_0)، ضریب درجه‌ی روز-دما^۴ (K_snow)، ضریب درجه‌ی روز-باران^۵ (K_rain)، مؤلفه‌ی رواناب سطحی برای شدت بارندگی نزدیک صفر^۶ (K_run)، شدت بارندگی مربوط به توان ۱ رواناب سطحی^۷ (P_max)، عامل تصحیح برای تبخیر - تعرق

استفاده از شبیه WetSpa، و بررسی دقت آن در پیش-بینی رواناب حاصل از بارش می‌باشد. در همین راستا، حوضه‌ی آبخیز گل‌گل در استان ایلام، به دلیل داشتن آمار و اطلاعات کافی، برای تحقیق مزبور انتخاب گردید.

مواد و روشها

منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز گل‌گل یکی از زیرحوضه‌های حوضه‌ی سد ایلام می‌باشد. مساحت آن حدود ۲۵۲ کیلومتر مربع بوده و در محدوده‌ی جغرافیایی ۲۷° ۴۶' تا ۳۹° ۴۶' طول شرقی و ۲۴° ۳۳' تا ۳۹° ۳۳' عرض شمالی واقع است. میانگین بارندگی سالانه‌ی منطقه ۴۵۰ میلی‌متر بوده و عمدتاً به صورت باران است. میانگین دمای سالانه‌ی منطقه ۱۱ درجه‌ی سانتیگراد بوده و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۷۲۱ متر است (شکل ۱).

داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده به ترتیب زیر می‌باشند:

۱- سه نقشه‌ی پایه شامل: شبیه‌ی رقومی ارتفاعی (DEM) که از نقشه‌ی پستی و بلندی ۱:۲۵۰۰۰ و با دقت ۱۰ متر تهیه شد، نقشه‌ی بافت خاک منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ با توجه به معیارهای موجود تهیه گردید، و نقشه‌ی کاربری اراضی مربوط به سالهای ۱۹۸۸، ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ با استفاده از تصاویرسنجنده‌ی ETM+ ماهواره‌ی لندست با کاربرد روش طبقه‌بندی نظارت شده و ماشین بردار-پشتیبان تهیه شد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰، ۲۷) (شکل‌های ۲ تا ۷). جهت ارزیابی درستی نقشه‌های کاربری تولید شده از صحت کلی و ضریب کاپا استفاده گردید (گالتون، ۱۸۹۲؛ اسمیتون، ۱۹۸۵) (جدول ۱).

۲- داده‌های اقلیمی: برای منطقه‌ی مورد مطالعه از داده‌های اقلیمی یک دوره‌ی آماری ۷ ساله (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰) شامل ۸ ایستگاه بارانسنجی، ۳ ایستگاه دماسنجی و ۳ ایستگاه تبخیرسنجی استفاده شد (جدول شماره ۲).

برای اطمینان از دسترسی به آمار و اطلاعات اقلیمی کافی و دقیق، یک حریم جغرافیایی بیشتر از مرز حوضه در نظر گرفته شد که در نهایت، با استفاده از روش چندضلعی تیسن پلی‌گون و مرز حوضه، ایستگاههای مؤثر جهت استفاده در شبیه‌ی مشخص، ایستگاههای دور و با فاصله‌ی

¹ interflow scaling factor

² groundwater recession coefficient

³ initial active groundwater storage

⁴ melt-rate factor

⁵ rainfall melt-rate factor

⁶ moisture or surface runoff exponent

⁷ maximum rainfall intensity

جدول ۱- صحت کلی و ضریب کاپا برای کاربری های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳.

سال کاربری	صحت کلی	ضریب کاپا
۱۹۸۸	٪۷۷/۷۵	۰/۶۴۲
۲۰۰۳	٪۸۰/۷	۰/۶۸۳۴
۲۰۰۷	٪۸۹/۲۲	۰/۸۱۸۵
۲۰۱۳	٪۹۱/۶	۰/۸۵۵۴

جدول ۲- مشخصات ایستگاه های بارانسنجی، دما و تبخیر سنجی

نوع ایستگاه	نام ایستگاه	طول (UTM)	عرض (UTM)	ارتفاع از سطح دریا
ایستگاه های تبخیر	گل گل سفلی	۶۳۷۷۳۶	۳۷۰۳۸۲۶	۱۱۴۰
	فرودگاه ایلام	۶۳۳۰۱۳	۳۷۱۶۸۷۹	۱۳۳۷
سنجی و دما سنجی	دارتوت	۶۵۲۸۶۰	۳۷۳۳۶۱۸	۹۶۰
	گل گل	۶۳۷۷۳۶	۳۷۰۳۸۲۶	۱۱۴۰
	قلندر	۶۵۱۰۱۰	۳۷۲۳۹۶۶	۱۰۴۵
	زیفل	۶۵۶۲۲۲	۳۷۰۴۴۰۸	۱۳۴۰
ایستگاه باران سنجی	ارکواز	۶۴۸۴۷۸	۳۶۹۵۸۱۹	۱۲۹۰
	قجر	۶۳۸۷۶۸	۳۷۱۵۵۵۴	۱۴۸۰
	طولاب	۶۴۷۰۴۹	۳۷۱۳۸۸۶	۱۶۰۰
	میشخاص	۶۴۲۸۰۴	۳۷۰۸۶۳۶	۱۲۵۰

برای واسنجی آن جهت شبیه سازی فرسایش و مواد معلق نیاز به بهینه کردن دارند تا نتیجه مطلوب به دست آید.

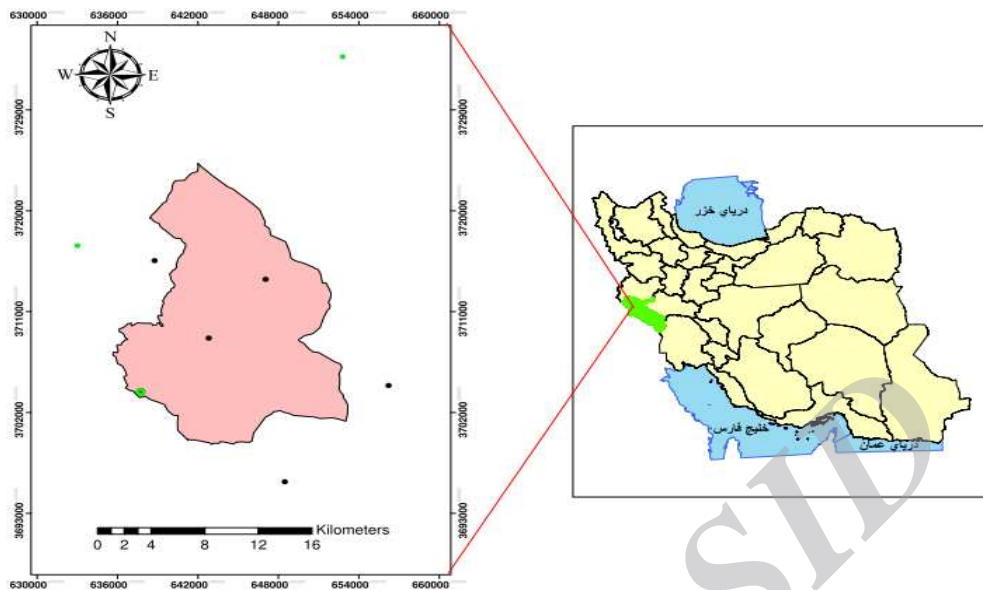
بالقوه ۱ (K_{ep})، مقدار رطوبت نسبی اولیه ۲ (K_{ss})، بیشترین ذخیره ی آب زیرزمینی ۳ (G_{max})، دمای پایه ی ذوب برف ۴ (T_0)، عامل فرساینده گی باران K_{det} و قابلیت فرسایشی جریان سطحی F_k . دو فرانسج آخر مربوط به بخش فرسایش و مواد معلق شبیه می باشند که

¹ correction factor for PET

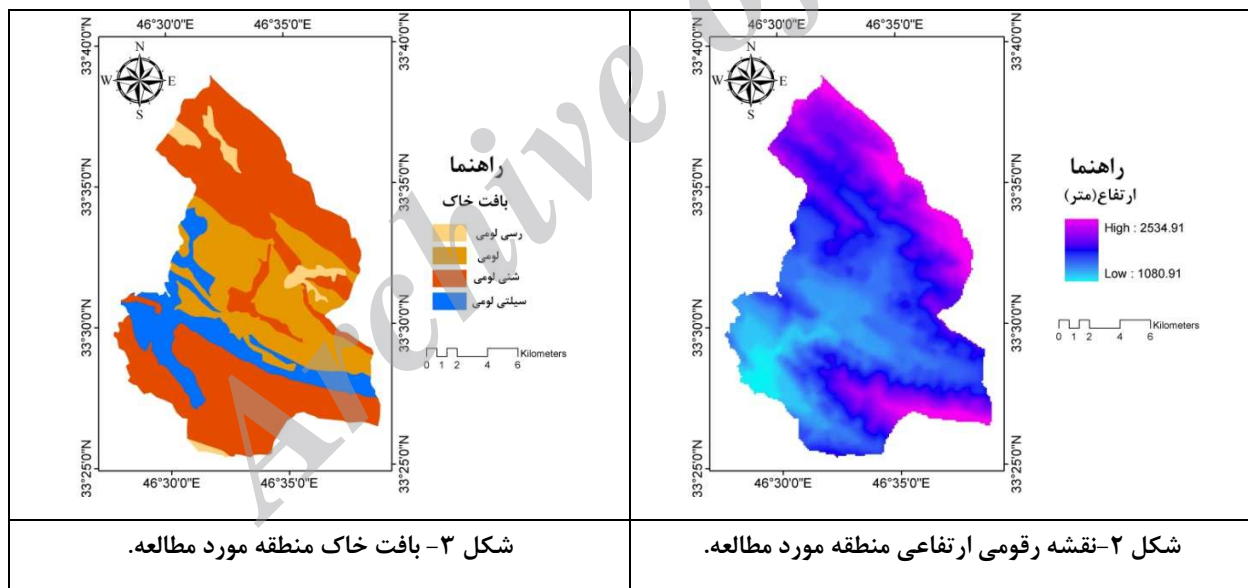
² initial soil moisture

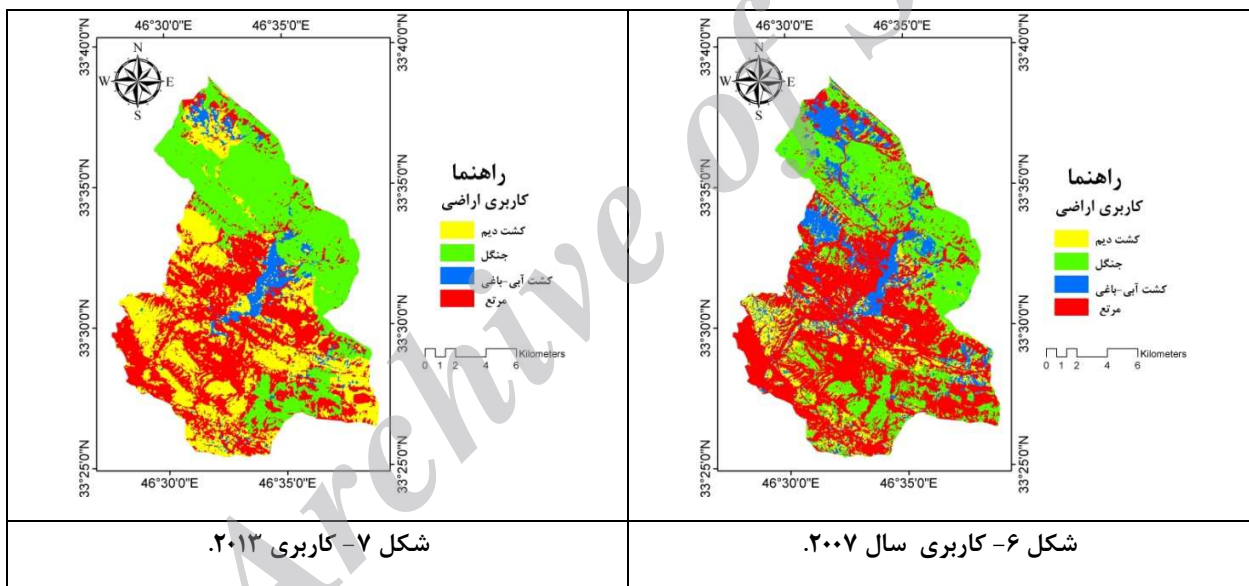
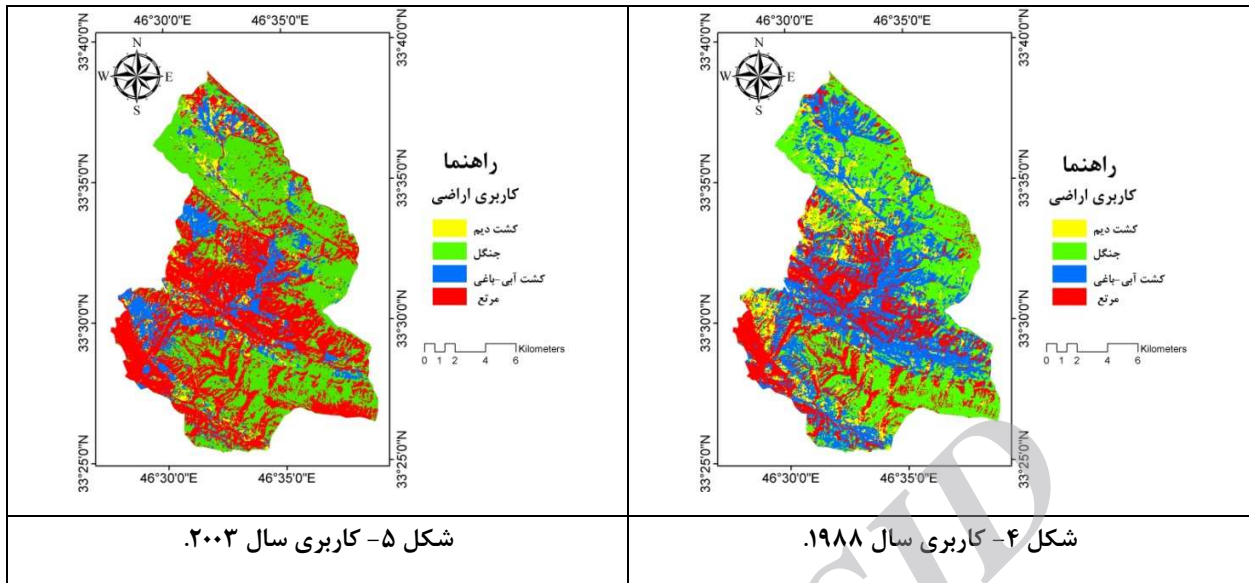
³ maximum active groundwater storage

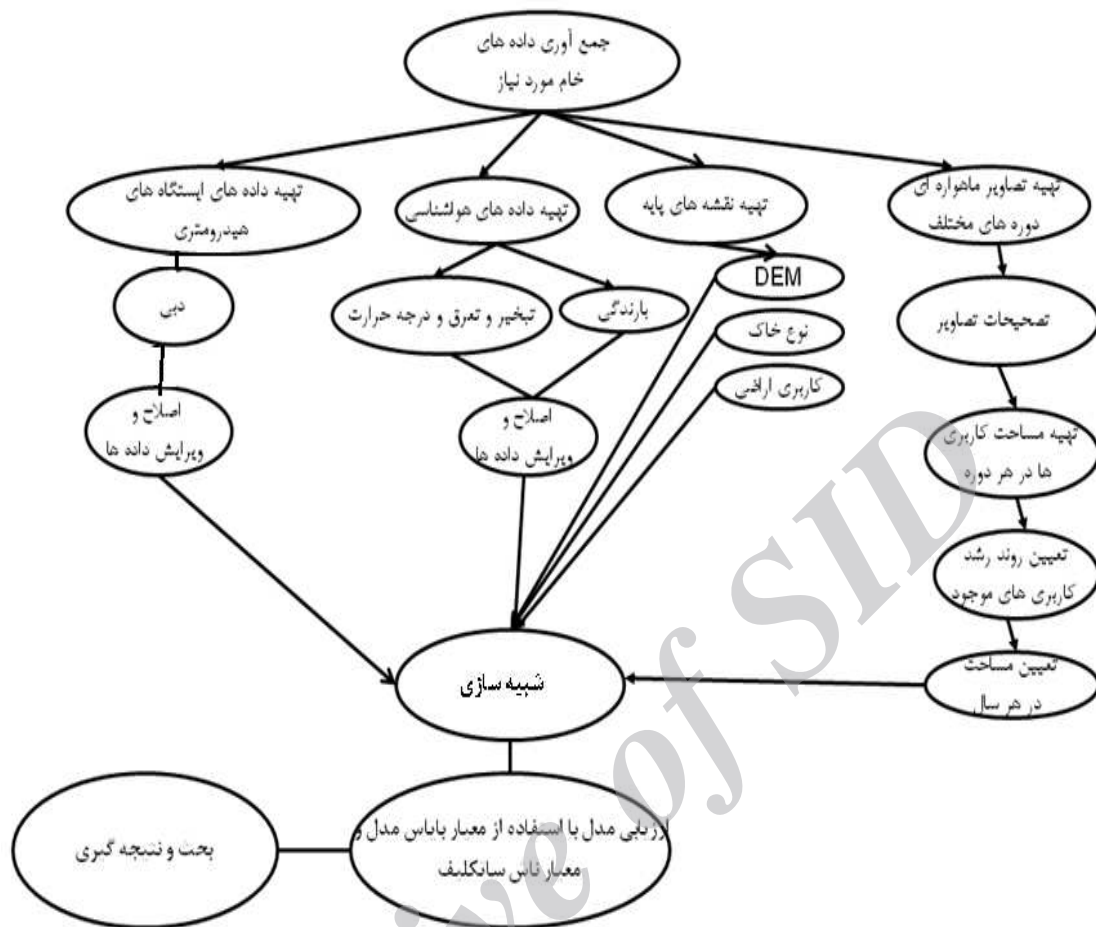
⁴ threshold melt temprature



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان ایلام و ایران.







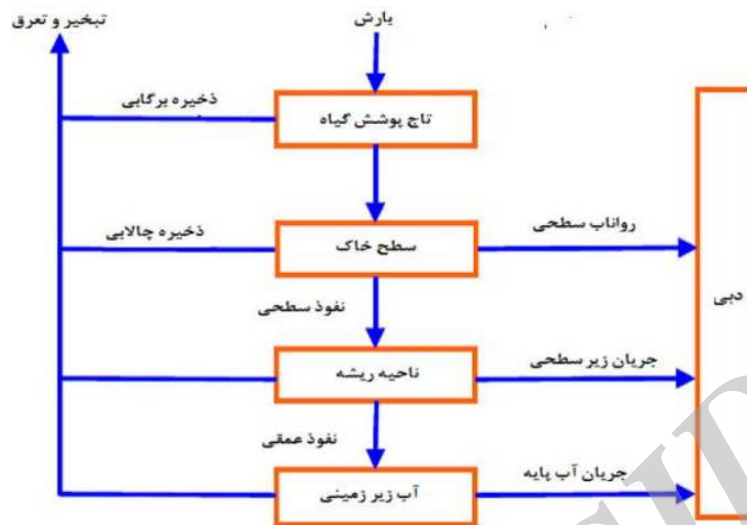
شکل ۸ - مراحل انجام تحقیق.

آبخیز با گامهای زمانی مختلف داراست (زینی‌وند و دسمت، ۲۰۰۹). از آن جا که شبیه بر اساس شبکه ی سلولی طراحی گردیده است، برای هر شبکه ی سلولی، ۴ لایه در جهت عمودی در نظر گرفته می‌شود (لیو و همکاران، ۲۰۰۴) که عبارتند از: لایه ی تاج پوشش، ریشه گاه ریشه، مناطق انتقال و اشباع. شبیه در هر شبکه ی سلولی با توجه به (اندازه ی بارش، دما و تبخیر - تعرق، مقدار ذخیره ی برگابی گیاهان، ذخیره ی چالابی، میزان نفوذ و رواناب تولیدی را شبیه‌سازی می‌نماید. ساختار مفهومی شبیه WetSpa در شکل ۹ نشان داده شده است. شبیه ابتدا تعادل آب در ریشه گاه را محاسبه می‌کند، چه، این منطقه مهمترین بخش در نگهداشت آب است: و همچنین این بخش مهار کننده ی حجم رواناب سطحی و زیرسطحی، تبخیر - تعرق و بده ی آب زیرزمینی است. در توصیف

شبیه WetSpa

شبیه WetSpa (انتقال آب و کارمایه بین خاک، گیاه و نیوار) اولین بار به وسیله ی وانگ و همکاران (۱۹۹۷)، و برای پیش‌بینی سیل در مقیاس زمانی ساعتی به وسیله ی دسمت و همکاران (۲۰۰۰) و لیو و همکاران (۲۰۰۳) توسعه یافت، و در نهایت پیمانته ی فرسایش و انتقال رسوب این شبیه در سال ۱۳۸۸ به وسیله ی زینی‌وند (۲۰۰۹)، و زینی‌وند و دسمت (۲۰۰۹) به شبیه مزبور اضافه گردید. برنامه ی WetSpa یک شبیه پیوسته آشناسی - غالباً فیزیکی است که قابلیت پیش‌بینی سیلاب و شبیه‌سازی تراز آبی، فرسایش و انتقال رسوب، کیفیت آب و مدیریت آبخیز را در مقیاس شبکه ی سلولی، زیرحوضه و حوضه ی

فرایندهای آشناسی شبیه، از ترکیب روابط فیزیکی و



شکل ۹- ساختار مفهومی شبیه WetSpa در مقیاس پیکسل.

به صورت تابعی از محتوای رطوبتی خاک و اندازه‌ی هدایت آبی اشباع بیان می‌گردد. همچنین، میزان جریان زیرسطحی نیز بر اساس قانون دارسی و معادلات موج جنبشی محاسبه می‌گردد. به این علت که جریان آب زیرزمینی بسیار آهسته‌تر از حرکت آن در سطح و نزدیک به سطح می‌باشد، جریان آب زیرزمینی به صورت یک مخزن خطی یکپارچه در مقیاس زیرحوضه تعریف می‌گردد. در این شبیه می‌توان بطور اختیاری از روش مخزن غیر خطی نیز استفاده نمود. جریان آب سطحی و زیرسطحی ابتدا در هر شبکه‌ی سلولی به سوی نهر اصلی روندیابی می‌شود و در خروجی هر زیر حوضه به آب زیرزمینی می‌پیوندد؛ سپس کل جریان به سمت خروجی کل حوضه روندیابی می‌گردد. روندیابی جریان سطحی و جریان آبراهه با استفاده از روش معادلات تقریب موج پخشی سنت ونانت انجام می‌گیرد (رابطه‌ی ۳).

(۳)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = d \frac{\partial^2 Q}{\partial X^2} - C \frac{\partial Q}{\partial X}$$

که در آن Q بده بر حسب متر مکعب بر ثانیه، t زمان، X مسافت در جهت جریان، C سرعت موج جنبشی در پیکسل می‌باشد. برای تعیین تابع پاسخ جریان در انتهای

محاسبه‌ی تعادل آب در ریشه‌گاه برای هر شبکه‌ی سلولی مطابق رابطه‌ی شماره ۱ صورت می‌گیرد (زینی وند، ۲۰۰۹):

(۱)

$$D \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = P - I - S - E - F - R$$

که در آن D [L] عمق ریشه، $\Delta \theta$ [L³L⁻³] تغییرات رطوبتی خاک، Δt [T] فواصل زمانی، P [LT⁻¹] بارش، $I = I_a + D_a$ [lt⁻¹] تلفات اولیه شامل ذخیره‌های برگابی و چالایی در گام زمانی، S [LT⁻¹] رواناب سطحی یا بارش مزاد، E [LT⁻¹] تبخیر - تعرق، R [LT⁻¹] نرخ نفوذ عمقی از ریشه‌گاه و F [LT⁻¹] نرخ جریان زیر سطحی در زمان می‌باشد.

در این شبیه بارش مزاد با استفاده از روش ضریب رواناب مبتنی بر رطوبت خاک و بر مبنای خصوصیات هر شبکه شامل شیب، کاربری، نوع خاک، اندازه‌ی بارش و رطوبت پیشین خاک محاسبه می‌گردد (رابطه‌ی ۲):

$$V = C (P - I) (\theta / \theta_s)^\alpha \quad (۲)$$

که در آن θS ضریب تخلخل خاک، C ضریب توان رواناب و α ضریبی است که نماینده‌ی شدت بارندگی بر اندازه‌ی بارش مزاد می‌باشد. میزان نفوذ عمقی به خارج از ریشه‌گاه

ی ۹ تعریف می‌شود، نشان دهنده ی دقت شبیه‌سازی برنامه بوده و شامل معیار واریانس باقی مانده‌ها می‌شود. این معیار از مقادیر منفی تا ۱ تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک شود نشان دهنده ی تناسب بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد (Nash و Sutcliffe, ۱۹۷۰, ۲۸۵):

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{s_i} - Q_{o_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{o_i} - \bar{Q}_o)^2} \quad (۶)$$

معیار ناش-ساتکلیف برای جریانهای کم (NSL)
این معیار لگاریتم ناش-ساتکلیف (رابطه ی ۷) است که برای جریانهای کم مناسب می باشد. در واقع، با این معیار کیفیت شبیه‌سازی جریانهای کم ارزیابی می‌گردد و بهترین مقدار آن ۱ است (زینی وند، ۲۰۰۹).

$$NSL = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [\ln(Q_{s_i} + \varepsilon) - \ln(Q_{o_i} + \varepsilon)]^2}{\sum_{i=1}^N [\ln(Q_{o_i} + \varepsilon) - \ln(\bar{Q}_o + \varepsilon)]^2} \quad (۷)$$

معیار ناش-ساتکلیف برای جریانهای زیاد (NSH)
این معیار نیز همان ناش-ساتکلیف است که برای جریانهای زیاد سازگار شده است، به این صورت که وزن بیشتری را به جریانهای بیشتر (زیادتر) اختصاص می‌دهد (رابطه ی ۸). بهترین معیار این مقدار نیز ۱ است (زینی وند، ۲۰۰۹).

$$NSH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{o_i} + \bar{Q}_o)(Q_{s_i} - Q_{o_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{o_i} + \bar{Q}_o)(Q_{o_i} - \bar{Q}_o)^2} \quad (۸)$$

که در آنها، Q_{s_i} بده ی شبیه‌سازی شده و Q_{o_i} بده ی مشاهداتی در گام زمانی i (m^3/s)، \bar{Q}_o نشان دهنده ی میانگین بده ی مشاهداتی و N تعداد گامهای زمانی است. ε مقدار قراردادی جزئی جهت اجتناب از مقدار صفر در مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است.

مسیر از رابطه ی ۴ که یک تابع پاسخ خطی سنت ونانت می‌باشد استفاده می‌گردد:

$$U(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi t^3/t_0^3}} \exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2 t/t_0}\right]$$

که در آن $U(t)$ تابع پاسخ مسیر جریان برای تعیین آب نمای واحد لحظه‌ای جریان بوده و روندیابی مسیر جریان تا خروجی حوضه را ممکن می‌سازد، t_0 زمان جریان و σ انحراف معیار زمان جریان می‌باشد که هر یک بر طبق رابطه ی محاسبه می‌شوند. در نهایت آب نماهای رواناب مستقیم در خروجی حوضه، یا هر نقطه در پایین‌دست، که جریان به هم می‌پیوندد، از رابطه ی زیر (رابطه ی پیچشی جریان) محاسبه می‌گردد:

$$Q(t) = \int A \int_0^t V(\tau) U(T - \tau) d_z d_A$$

که در آن $Q(t)$ اندازه ی بده ی خروجی، $U(t)$ تابع پاسخ مسیر جریان، τ تأخیر زمانی و V حجم رواناب خروجی می‌باشد.

شبیه‌سازی جریان روزانه با نقشه ی کاربری ۲۰۰۷

به منظور اجرای شبیه توزیعی WetSpa نقشه‌های خاک و کاربری اراضی به صورت نقشه‌های رستری با دقت اندازه ی سلول ۲۵ متری درآمدند. در گام بعدی، برای شبیه‌سازی جریان رود با استفاده از سه نقشه ی مرجع (شبیه رقومی ارتفاعی (DEM)، بافت خاک و کاربری اراضی) و جداول پایه ی شبیه، اقدام به تهیه ی سایر نقشه‌های مربوط به فراسنجهای فیزیکی و آبشناسی مورد نیاز (۳۰ نقشه) گردید و در پایگاه اطلاعاتی طرح ذخیره شد. سپس از آمار دوره ی ۲۳ سپتامبر ۲۰۰۳ تا ۲۲ سپتامبر ۲۰۰۹ برای واسنجی شبیه، و از آمار ۲۳ سپتامبر ۲۰۰۹ تا ۲۲ سپتامبر ۲۰۱۰ جهت اعتبار سنجی آن استفاده شد.

ارزیابی کارایی شبیه WetSpa

برای ارزیابی نتایج خروجی شبیه از معیارهای آماری زیر استفاده می‌شود.

معیار ناش-ساتکلیف (NS)

ناش - ساتکلیف (۱۹۷۰) یک ضریب بی بعد به نام کارایی شبیه (NS) را ارائه دادند. این معیار که به صورت رابطه

واسنجی و اعتبارسنجی شبیه

در شبیه WetSpa تعداد ۱۱ فراسنج عمومی وجود دارد که در واسنجی آن مورد استفاده قرار می‌گیرند، به این صورت که با انتخاب بخشی از دوره‌ی آماره به عنوان دوره‌ی واسنجی، با تغییر دادن مؤلفه‌های اصلی شبیه، اقدام به اجرای آن به دفعات متعدد می‌شود. در پایان هر دوره‌ی اجرای شبیه، اگر نتایج رضایت بخش نبودند، یعنی بده مطابق معیارها و شاخصهای آماری به صورت مناسبی شبیه‌سازی نشده باشد، دوباره اقدام به تغییر و بهینه‌سازی ۱۱ فراسنج شبیه نموده و آن را مجدداً اجرا می‌کنند تا به نتیجه‌ی قابل قبول برسند. سپس با استفاده از مقادیر فراسنجهای به دست آمده در دوره‌ی واسنجی، و استفاده از مابقی آماره به عنوان دوره‌ی اعتبارسنجی، اقدام به شبیه‌سازی جریان روزانه می‌گردد. چنانچه نتایج این دوره نزدیک به نتایج دوره‌ی واسنجی باشند، نتایج شبیه قابل اعتبار است. برای آشنایی بیشتر با جزئیات فراسنجهای، دامنه‌ی تغییرات آنها، و روشهای واسنجی شبیه، می‌توان به لیو و همکاران (۲۰۰۴)، زینی‌وند (۲۰۰۹)، متکان و همکاران (۱۳۹۰)، مرادی پور و همکاران (۱۳۹۰) و صفری و همکاران (۲۰۱۲) مراجعه کرد.

نتایج و بحث

مقادیر بهینه شده‌ی فراسنجهای عمومی شبیه در جدول شماره ۳ نشان داده شده‌اند. با توجه به این مقادیر، اندازه‌ی شاخصهای ارزیابی شبیه در مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی در جدول شماره ۴ ارائه گردیده‌اند. این نتایج با توجه به شبیه‌سازی برنامه با استفاده از آماره بارندگی، دما، تبخیر و بده‌ی روزانه ۲۳ سپتامبر ۲۰۰۳ تا ۲۲ سپتامبر ۲۰۰۹ برای واسنجی و، ۲۳ سپتامبر ۲۰۰۹ تا ۲۲ سپتامبر ۲۰۱۰ برای اعتبارسنجی، به دست آمده‌اند.

نتایج حاصل از اجرای شبیه برای کاربری ۲۰۰۷

در این مطالعه به منظور شبیه‌سازی جریان روزانه‌ی رود، ابتدا تمامی مؤلفه‌های تراز آبی نظیر بارش، ذوب برف، ذخیره برگابی، ذخیره چالابی، رواناب سطحی، نفوذ پذیری، تبخیر - تعرق، نفوذ عمقی، جریان زیرسطحی و جریان آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده، و بعد از روندیابی جریان از تک

تک سلولها تا خروجی حوضه، بده‌ی روزانه‌ی رود در خروجی تمام زیرحوضه‌ها و خروجی کل حوضه در گام زمانی روزانه به دست آمد. آب نمای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در شکل شماره ۱۰ عرضه گردیده‌اند.

نتایج اجرای شبیه با تغییر نقشه‌ی کاربری

در ابتدا برای اجرای شبیه و صحت آن از نقشه‌ی کاربری سال ۲۰۰۷ استفاده شد در این مرحله با تغییر نقشه‌ی کاربری و ثابت گرفتن سایر فراسنجهای، اقدام به اجرای شبیه و مشاهده نتایج شد. ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری تهیه شده نشان می‌دهد که صحت نقشه‌ی کاربری اراضی در سال ۲۰۱۳ بیشتر از سالهای دیگر می‌باشد. علت این اختلاف را می‌توان مربوط به نمونه‌های تعلیمی، که مربوط به سالهای اخیر می‌باشند، دانست.

نتایج حاصل از تغییر کاربری نشان دادند که اراضی جنگلی و کشت آبی-باغی از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ روند کاهشی را به ترتیب به میزان ۳۳۲۲/۵۰۲ و ۳۹۳۴/۳۸۶ هکتار، و اراضی مرتعی و کشت دیم روند افزایشی را به ترتیب به میزان ۳۹۴۲/۹۹ و ۳۳۱۳/۹ هکتار نشان می‌دهند (شکل ۱۱).

تحلیل آماری

جهت بررسی وجود تغییرات معنی‌دار بده‌های شبیه‌سازی شده با کاربرد برنامه در سالهای ۱۹۸۸، ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ به واسطه‌ی تغییر نقشه‌ی کاربری اراضی به عنوان یکی از ورودیهای اصلی و اجباری شبیه، ابتدا بهنجار بودن داده‌ها با استفاده از آزمون بهنجاری Kolmogrov-Smirnov بررسی گردید. جهت بررسی

وجود تغییرات در بده‌های شبیه‌سازی شده، به واسطه‌ی تغییر نقشه‌ی کاربری، داده‌های هر دو سال به صورت جفتی با استفاده از آزمون t جفتی مورد تحلیل قرار گرفتند (بی‌همتا و زارع چاهوکی، ۱۳۸۹، ۱۳۶). نتایج نشان دادند

که اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪ بین داده‌های دبی شبیه‌سازی شده به واسطه‌ی تغییر نقشه‌ی کاربری از ۲۰۰۳ به ۲۰۱۳ وجود دارد، به طوری که میانگین بده‌ی سالانه، به واسطه‌ی تغییرات کاربری اراضی از ۱/۱۱۸ متر مکعب بر ثانیه در سال ۲۰۰۳ به ۱/۱۳۴ متر مکعب بر ثانیه در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته است (جدول ۵).

جدول ۳- فراسنج های عمومی بهینه شده در واسنجی شبیه

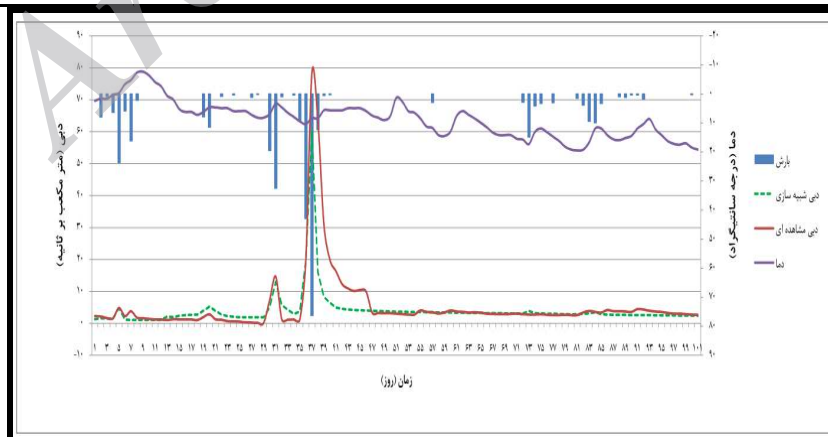
ki	Kg	K _{ss}	K _{ep}	g0	g _{max}	T0	k _{snow}	k _{rain}	k _{run}	
۱/۹۵	۰/۰۰۰۰۰۹	۱/۸۵	۰/۵۶	۶۵	۲۹۴۵	۰/۰	۲/۶	۰/۰۰۰۰۱۲	۲/۴۹	-
				۱۵۵						

جدول ۴- شاخص های ارزیابی شبیه در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی.

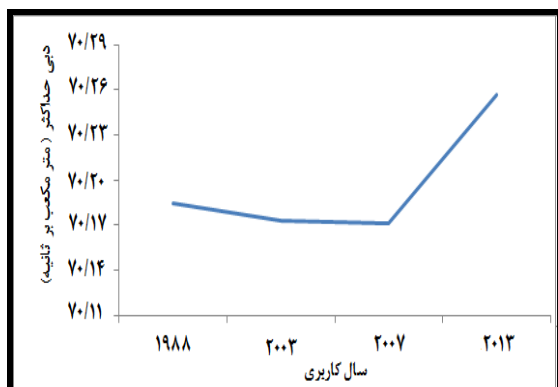
اعتبارسنجی (%)	واسنجی (%)	معیار ارزیابی
۰/۵۷۳	۰/۶۰۳	ناش-ساتکلیف (NS)
۰/۴۱	۰/۳۴۱	ناش-ساتکلیف برای جریان های کم (NSL)
۰/۸۰۱	۰/۷۸۹	ناش-ساتکلیف برای جریان های زیاد (NSH)

جدول ۵- نتایج آنالیز آزمون t جفتی جهت بررسی تأثیر تغییرات کاربری بر تغییر دبی.

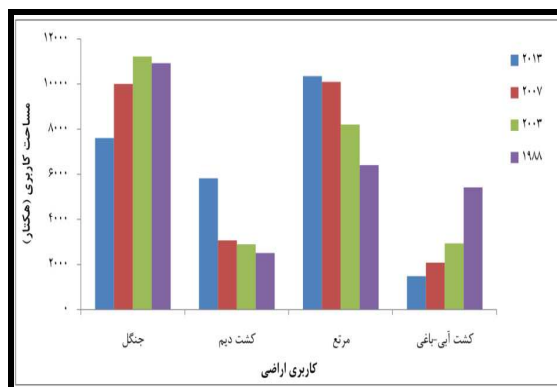
سال کاربری ها	میانگین	انحراف از معیار	مقدار t	درجه آزادی (df)	Sig
۱۹۸۸-۲۰۰۳	۰/۰۰۱۲۴	۰/۰۰۷۵۵	۸/۲۷۷	۲۵۵۶	۰/۰۰۰
۱۹۸۸-۲۰۰۷	-۰/۰۰۴۲۹	۰/۰۱۲۱۱	-۱۷/۹۳۱	۲۵۵۶	۰/۰۰۰
۱۹۸۸-۲۰۱۳	-۰/۰۱۵۱۱	۰/۰۲۵۲۱	-۳۰/۳۱۲	۲۵۵۶	۰/۰۰۰
۲۰۰۳-۲۰۰۷	۰/۰۰۵۵۳	۰/۰۱۱۸۰	۲۳/۶۷۹	۲۵۵۶	۰/۰۰۰
۲۰۰۳-۲۰۱۳	۰/۰۱۶۳۴	۰/۰۲۵۵۸	۳۲/۳۱۰	۲۵۵۶	۰/۰۰۰
۲۰۰۷-۲۰۱۳	۰/۰۱۰۸۲	۰/۰۱۷۳۹	۳۱/۴۶۳	۲۵۵۶	۰/۰۰۰



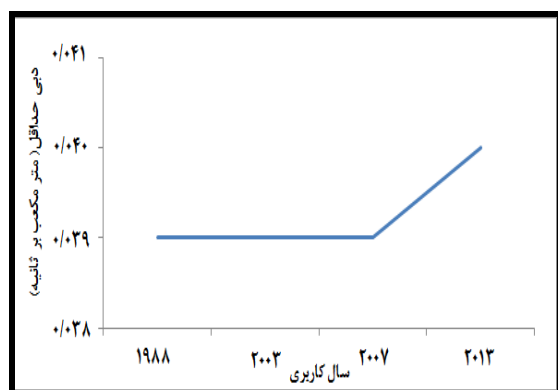
شکل ۱۰- قسمتی از هیدروگراف مشاهده ای و شبیه سازی شده توسط شبیه در دوره واسنجی.



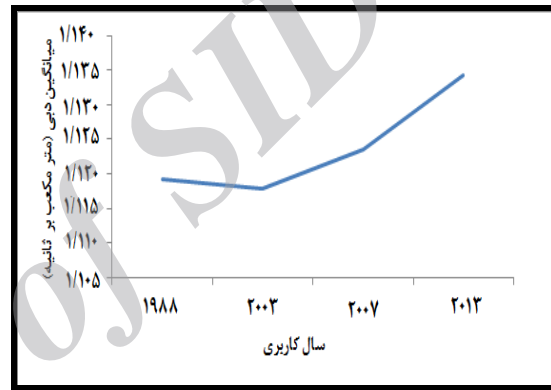
شکل ۱۴- تأثیر تغییر کاربری بر دبی‌های حداکثر.



شکل ۱۱- تغییر مساحت کاربری‌ها از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳.



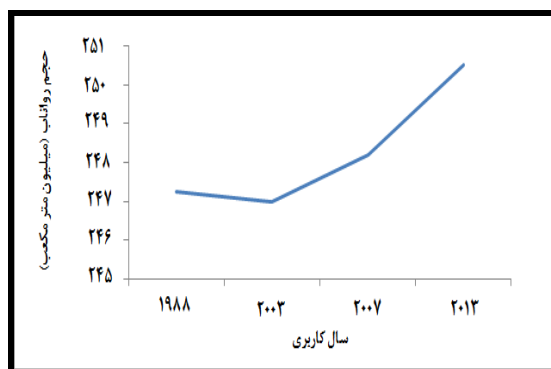
شکل ۱۵- تأثیر تغییر کاربری بر دبی حداقل.



شکل ۱۲- تغییرات میانگین دبی برای کاربری سال‌های

مختلف.

نتایج جدول شماره ۵ نشان دادند که، بطور کلی، تأثیر تغییر کاربری بر بده در همه‌ی دوره‌ی در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد، بطوری که تغییرات کاربری از ابتدا تا انتهای دوره‌ی مطالعاتی موجب افزایش ۱۵ لیتر در میانگین بده‌ی روزانه شده است (۱/۴۳ درصد). میانگین بده برای کاربری‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ به ترتیب ۱/۱۱۹، ۱/۱۱۸، ۱/۱۲۳ و ۱/۱۳۴ می‌باشد، که در کل روند افزایشی را نشان می‌دهد، که می‌توان علت آن را در تخریب جنگل و افزایش اراضی دیم دانست که موجب فزونی فرسایش، هدر رفتن خاک، تغییر در تراز آبی و افزایش خطر سیل می‌شوند (ازترک و همکاران، ۲۰۱۳؛ لی و همکاران، ۲۰۰۷) (شکل ۱۲). به عبارت دیگر، می‌توان گفت که میانگین بده‌ی روزانه به میزان ۱۶ لیتر در ثانیه به علت تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۹۸۸



شکل ۱۳- تغییرات حجم رواناب برای کاربری سال‌های

مختلف.

نداشتن گامهای زمانی کوتاه مدت، و همچنین غیر توزیعی بودن دقت بالایی را ندارند شبیه‌های توزیعی مکانی پیچیده نیز به علت نیاز به ورودیهای زیاد و گسترده، با توجه به این که در ایران غالباً چنین آماری وجود ندارد، در کشور قابل استفاده نمی‌باشند، اما شبیه WetSpa. به دلیل توزیعی بودن، دقت بالا به میزان اندازه‌ی سلولی، نیاز به ورودیهای کم و گام زمانی کوتاه مدت روزانه و حتی ساعتی از کارایی بسیار بالایی برای شبیه‌سازی تغییرات برخوردار می‌باشد. همچنین، به دلیل توزیعی بودن، شبیه برای تمام مؤلفه‌های آبشناسی و فیزیکی حوضه، خروجی را به صورت نقشه ارائه می‌دهد، که دید مدیریتی بسیار مناسبی را به مدیران حوضه برای تغییر کاربریها و مدیریت اراضی به صورت بهینه ارائه می‌کند.

منابع

- (۱) آذری، م. ۱۳۸۵. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب‌خیزداری. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی.
- (۲) برخورداری، ج. و خسروشاهی، م. ۱۳۸۶. بررسی اثر تغییرات پوشش اراضی و اقلیم بر جریان رودخانه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز میناب). مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی ۷۷: ۱۹۱-۱۹۹.
- (۳) بی‌همتا، م.ر. و زارع چاهوکی، م.ع. ۱۳۸۹. اصول آمار در علوم منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم.
- (۴) زینی‌وند، ح. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی توزیع مکانی فرسایش خاک و رسوب در مقیاس حوضه آبخیز. در مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۸ تا ۹ اردیبهشت ماه، نور، دانشگاه تربیت مدرس. ۲۶۲ ص.
- (۵) سلاجقه، ع.، فتح آبادی، ا.و مهدوی، م. ۱۳۸۸. بررسی کارایی روش‌های عصبی-فازی و شبیه‌های آماری در شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب. نشریه مترع و آب‌خیزداری، مجله منابع طبیعی ایران. ۶۲: ۶۵ تا ۷۹.
- (۶) صادقی، ح.ر.، مرادی، ح.ر.، مزین، م. و وفاخواه، م. ۱۳۸۴. کارایی روشهای مختلف تجزیه و تحلیل آماری در شبیه

تا ۲۰۱۳ افزایش یافته است، که این امر بیانگر افزایش رواناب خروجی یک سال به میزان ۵۰۴۵۷۶ متر مکعب می‌باشد. این نتیجه نشان می‌دهد که حجم مزبور از آب قبلاً به وسیله‌ی جنگل نفوذ داده شده و به تغذیه آبهای زیرزمینی کمک می‌کرده، اما اینک، به دلیل تخریب جنگل و افزایش دیمزارها، به صورت هرز آب از دسترس خارج می‌شود (ناگروهو و همکاران، ۲۰۱۳؛ ویجسکارا و همکاران، ۲۰۱۲).

حجم رواناب هم بطور کلی روند افزایشی را نشان داد، که مقدار آن برای کاربری سالهای ۱۹۸۸، ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ در دوره‌ی مطالعاتی ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۹ به ترتیب برابر با ۲۴۷/۲۵، ۲۴۶/۹۸، ۲۴۸/۲ و ۲۵۰/۶ میلیون مترمکعب بود، یعنی تقریباً ۳ میلیون مترمکعب در طول دوره‌ی مطالعاتی به حجم رواناب خروجی اضافه شده است (کرنلیسن و همکاران، ۲۰۱۳؛ ناگروهو و همکاران، ۲۰۱۳؛ عباسی و همکاران، ۱۳۸۹) (شکل ۱۳).

همچنین، بیشترین بده هم در طول دوره‌ی مطالعاتی تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ روند افزایشی را داشته است، به این صورت که از ۷۰/۱۸۵ متر-مکعب بر ثانیه در سال ۱۹۸۸ به ۷۰/۲۵۷ مترمکعب بر ثانیه در سال ۲۰۱۳ رسیده است که تقریباً ۷۰ لیتر بده‌ی حداکثر افزایش یافته است، که نشان دهنده‌ی این مسأله است که کاربری اراضی تأثیر چندانی در تغییر بده‌های حداکثر منطقه ندارد (برخورداری و خسروشاهی، ۱۳۸۶) (شکل ۱۴).

نتایج نشان دادند که تغییر کاربری در منطقه‌ی مورد مطالعه، به دلیل این که بارندگی فصلی بوده و منطقه نسبتاً خشک و کم آب می‌باشد، تأثیر چندانی بر حداقل بده نداشته است، به صورتی که حداقل بده برای سالهای ۱۹۸۸، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷ برابر با ۰/۰۳۹ و برای سال ۲۰۱۳ برابر با ۰/۰۴ مترمکعب بر ثانیه بود، که نشان می‌دهد بده‌ی پایه منطقه زیاد تحت تأثیر کاربری نیست (شکل ۱۵).

در کشور ما، به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات کافی و نقص آماری در ایستگاههای هواشناسی، ضرورت شبیه‌سازی نواقص آماری و به دست آوردن روند تغییرات احساس می‌شود. شبیه‌های یکپارچه و تجربی، به دلیل

- and climate change on discharge in a tropical catchment. *Journal of Hydrology*.
- 14) De Smedt, F., Liu, Y. B., and Gebremeskel, S. 2000. Hydrologic modeling on a catchment scale using GIS and remote sensed land use information, In *Risk Analysis II*, Brebbia, C.A., Ed., WTI press: Southampton, Boston. P. 295-304.
- 15) De Voorde, T. V., Chormanski, J., Batelaan, O., and Canters, F. 2006. Multi-resolution impervious surface mapping for improved runoff estimation at catchment level. 1st EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing Humboldt-Universität zu Berlin, 2-3 March.
- 16) Galton, F. 1892. *Finger Prints* Macmillan, London. 246p.
- 17) Gebremeskel, S., Liu, Y. B., and De Smedt, F. 2002. GIS based distributed modeling for flood estimation, *Proceeding of the Twenty_Second Annual American Geophysical Union Hydrology Days*, 98-109.
- 18) Kabir, A., Mahdavi, M., Bahreman, A., and Noora, N. 2011. Application of a geographical information system (GIS) based hydrological model for flow prediction in Gorganrood River Basin, Iran, *African Journal of Agricultural Research*, 6: 35-45.
- 19) Li, K. Y., Coe, M. T., Ramankutty, N., and De Jong, R. 2007. Modeling the hydrological impact of land-use change in West Africa. *Journal of Hydrology* 337: 258– 268.
- 20) Liu, Y. B., Gebremeskel, S., De Smedt, F., Hoffman, L., and Pfister, L. 2003. A diffusive approach for flow routing in GIS based food modeling, *J. Hydrol.* 283, 91-106.
- 21) Liu, Y. B., Gebremeskel, F., De Smedt, S., Hoffmann, L., and Fister, S. 2004. Assessing land use impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach, *Environmental Modeling and Assessment* 18: 227–235.
- سازی بارش- رواناب. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*
گرگان: ۱۲: ۸۱-۹۰
- ۷) عباسی، م.، محسنی ساروی، م.، خیرخواه، م. م.، خلیقی سیگارودی، ش. رستمی‌زاد، ق. و حسینی، م. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر فعالیت های آبخیزداری در زمان تمرکز و شماره منحنی حوضه با بهره‌گیری از شبیه HEC-HMS (بررسی موردی حوضه آبخیز کن تهران). *مجله منابع طبیعی ایران* ۶۳: ۳۷۵-۳۸۵.
- ۸) کریمی، ص. ۱۳۹۴. شبیه سازی رواناب با استفاده از شبکه عصبی موجکی (مطالعه ی موردی: حوضه ی آبخیز رود خرسان ۳). *مجله مهندسی منابع آب*، ۸: ۱-۱۴.
- ۹) متکان، ع. ا. زینی‌وند، ح.، بیات، ب.، غفوری، ع.، و میرباقری، ب. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه و تحلیل اثرات تغییر کاربری بهینه روی آن با استفاده از شبیه WetSpa در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبریز مرک، استان کرمانشاه). *مجله سنجش از دور و GIS ایران*، سال سوم، شماره دوم.
- ۱۰) مرادی‌پور، ش.، بهره‌مند، ع. ر.، زینی‌وند، ح.، و نجفی-نژاد، ع. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی توزیعی _ مکانی سیل با شبیه هیدرولوژیکی WetSpa در حوضه آبخیز طالقان. *لوح فشرده مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری*. ۷ تا ۸ اردیبهشت، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۲۵۲ ص.
- ۱۱) یعقوبی، ف.، بهره‌مند، ع. ر.، و نورا، ن. ۱۳۸۹. تهیه نقشه ضریب پتانسیل رواناب حوضه چهل‌چای با استفاده از شبیه WetSpa. *در مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب*. ۸ تا ۹ اردیبهشت ماه، نور، دانشگاه تربیت مدرس. ۲۶۲ ص.
- ۱۲) یوسفی، ص.، مرادی، ح. ر.، حسینی، ح.، و میرزایی، س. ۱۳۹۰. آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی شهر مریوان با استفاده از داده‌های TM و ETM+ ماهواره لندست. *مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی* جلد ۲.
- 13) Cornelissen, T., Diekkruiger, B., and Giertz, S. 2013. A comparison of hydrological models for assessing the impact of land use

- 31) Zeinivand, H. 2009. Development of spatially distributed hydrological WetSpa Modules for snowmelt, soil erosion, and sediment transport. Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the award of the degree of Doctor in de ingenieurswetenschappen (Doctor in Engineering).
- 22) Nash, J. E., and Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part 1-A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10: 282-290.
- 23) Nugroho, P., Marsono, D., Sudira, P., and Suryatmojo, H. 2013. Impact of land-use changes on water balance, *Procedia Environmental Sciences* 17: 256 – 262.
- 24) Öztürk, M., Coptu, N., and Saysel, A. K. 2013. Modeling the impact of land use change on the hydrology of a rural watershed. *Journal of Hydrology* 497: 97–109.
- 25) Price, K. C. R., Jackson, A. J., Parker, T., Reitan, J., and Dowd, M. J. 2010. Effects of watershed land use and geomorphology on stream baseflows in the Southern Blue Ridge Mountains. Presented at Coweeta Long Term Ecological Research Program Summer Research Meeting, Otto, NC. June 28-29.
- 26) Safari, A., De Smedt F., and Moreda, F. 2009. WetSpa model application in the distributed model intercomparison project (DMIP2). *Journal of Hydrology*: 1-12.
- 27) Smeeton, N. C. 1985. Early history of the Kappa Statistic. *Biometrics* 41: 795.
- 28) Wang, Z., Batelaan, O., and De Smedt, F. 1997. A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa), *Physics and Chemistry of the Earth*. 21:189-193.
- 29) Wijesekara, G. N., Gupta, A., Valeo, C., Hasbani, J. G., Qiao, Y., Delaney, P., and Marceau, D. J. 2012. Assessing the impact of future land-use changes on hydrological processes in the Elbow River watershed in southern Alberta, Canada. *Journal of Hydrology* 412: 220–232.
- 30) Zeinivand, H., and De Smedt, F. 2009. Spatially distributed modeling of soil erosion and sediment transport at watershed scale, *World Environmental & Water Resources Congress (EWRI)*, 17-21 May, Kansas City, USA.