مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره بیست و ششم، زمستان ۱۳۹۹
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴
تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۱۱
صفحات: ۴۲ - ۲۱

مقاله (علمی پژوهشی)

ارزیابی توزیع مکانی پهنه‌های خطر سیلخیزی در حوضه آبخیز قورچای رامیان با استفاده از مدل KINEROS2

واحدبردی شیخ*[۱]، علی احمدی[۲]، چوقی بایرام کمکی[۳]

۱*. دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. استادیار، گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

مدل‌سازی توزیعی مکانی فرآیند بارش – رواناب در حوضه‌های آبخیز با توجه به کمی سازی مقادیر مولفه های گوناگون هیدرولوژیکی در هر نقطه از حوضه آبخیز ابزار مناسبی را برای مدیریت منابع آب، مهندسی رودخانه، طراحی سازه‌های کنترل سیل و شبیه سازی سناریوهای مختلف مدیریت حوضه آبخیز اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش، از مدل KINEROS2، برای ارزیابی توزیع مکانی مقادیر مولفه های فرآیند بارش - رواناب جهت شناسایی پتانسیل تولید رواناب سطحی و پهنه‌های سیل‌خیز در حوضه آبخیز قورچای رامیان در شرق استان گلستان با مساحتی بالغ بر ۲۵۴ کیلومترمربع استفاده شده است. برای ارزیابی کارایی مدل، تعداد شش واقعه سیلاب و بارش متناظر حوضه آبخیز که دارای داده های ثبت شده بودند انتخاب و به دو دسته سه‌تایی تقسیم شد. از دسته اول جهت اجرا و واسنجی و از دسته دوم جهت اعتبارسنجی مدل استفاده گردید. کاربری غالب آین آبخیز جنگل های هیرکانی و اراضی زراعی شیبدار می باشد. شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب با گام زمانی ساعتی انجام شد. نتایج ارزیابی کارآیی مدل در حوضه آبخیز قورچای رامیان نشان داد که مدل KINEROS2 از بین مؤلفه‌های هیدرولوژیکی، دبی اوج و زمان تا اوج هیدروگراف سیل را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند ولی در برآورد حجم سیل کارآیی خوبی ندارد. نقشه خروجی عمق رواناب شبیه سازی شده نشان می دهد که مناطق مختلف حوضه آبخیز دارای پتانسیل متفاوت سیلخیزی می باشند. بطوریکه بخش های میانی حوضه که دچار تغییرات کاربری اراضی گسترده ای از جنگل به اراضی زراعی شیبدار شده اند دارای خطر سیلخیزی بالا می باشند و بخش بالادست حوضه آبخیز علیرغم شیب زیاد پتانسیل سیلخیزی کمی دارد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی، شبیه‌سازی بارش - رواناب، مدل هیدرولوژیکی، هیدروگراف سیل، کاربری اراضی.

---

*- واحدبردی شیخ (نویسنده مسئول)

Email: sheikh@gau.ac.ir

مقدمه

سیلاب یکی از اصلی ترین بلایای طبیعی شناخته شده در جهان است که خسارات زیادی را به جوامع انسانی، تأسیسات، مراکز صنعتی و اراضی کشاورزی به ویژه در مجاورت رودخانه‌ها تحمیل می‌کند، ولی نکته‌ی نگران کننده، روند افزایشی تلفات سیلاب در جهان در دهه‌های اخیر است که بیشتر به دلیل دخالت‌های بشر در طبیعت و برهم زدن تعادل آن می‌باشد (مزیدی و کوشکی، ۱۳۹۲). امروزه اعمال روش‌های مدیریتی برای کاهش خطرات سیل، نیازمند انجام تحقیقات، شناسایی و کمّی سازی فرآیندهای موثر بر وقوع سیل می باشد. گاهی سیل‌ها اثرات ویرانگر بر زندگی، سکونتگاه‌ها و فعالیت‌های انسانی دارند؛ به همین دلیل مطالعه پیرامون اثرات مخرب سیل، حائز اهمیت می‌باشد (ایزدی و همکاران، ۱۳۹۰). بررسی‌ها نشان می‌دهد که فراوانی وقوع سیل های ناگهانی در شرق استان گلستان بیشتر می باشد (مهندسین مشاور ساز آب استان گلستان، ۱۳۹۵). حوضه آبخیز رامیان که آبراهه اصلی آن رودخانه قورچای به طول ۳۹ کیلومتر می‌باشد و شهر رامیان در خروجی آن واقع شده است بطور متناوب دچار وقایع بارش – رواناب شدید می شود. یک نمونه از آنها، رویداد بارشی است که اخیراً در حوضه مذکور روی داده است. این واقعه بارش در تاریخ ۱۳۹۵/۱/۲۷ شروع و در تاریخ ۱۳۹۵/۱/۲۹ خاتمه یافت و سیلابی با دبی اوج ۱۶۰ مترمکعب بر ثانیه را در پی داشت و خسارت های زیادی را ببار آورد. انجام پروژه‌های آبخیزداری و کنترل سیل مستلزم داشتن اطلاعات نسبتاً دقیق از حداکثر سیلاب قابل وقوع است. لذا پیش‌بینی سیلاب می‌تواند در کنترل و استفاده‌ی بهینه از آن نقش مؤثری داشته باشد. لذا سعی شده است با شبیه‌سازی بارش- رواناب با استفاده از مدل KINEROS2، در حوضه آبخیز قورچای رامیان پهنه‌های سیل‌خیز شناسایی و اولویت بندی گردند تا در صورت تصمیم گیری برای برنامه ریزی بمنظور کاهش شدت سیلاب ها، بتوان با تمرکز بر کانونهای بحرانی سیلخیزی با حداقل هزینه و زمان بهترین اثربخشی را فراهم نمود.

مرور پیشینه علمی کاربرد و ارزیابی مدل KINEROS2 در مناطق مختلف جهان می دهد که کارآیی این مدل در شبیه سازی وقایع بارش – رواناب، برآورد دبی سیلاب خروجی و فرسایش و رسوب حوضه های آبخیز در مطالعات متعدد اثبات شده است. از جمله تحقیقات قبلی در زمینه کاربرد مدل KINEROS2 در داخل کشور می توان به مطالعات آقایی دانشور و خانجانی (۱۳۸۶) برای شبیه سازی سیلاب و رسوب در حوضه آبخیز چشمه عروس کرمان، نام آور (۱۳۹۰) برای شبیه سازی رواناب در حوضه آبخیز کامه، ملائی فر (۱۳۹۲) و ملائی فر و همکاران (۱۳۹۷) برای ارزیابی کارآیی مدل در شبیه سازی هیدروگراف های سیلاب در حوضه آبخیز زیارت گلستان و معماریان و همکاران (۱۳۹۷) در زمینه بهینه سازی پارامترهای مدل KINEROS2 با استفاده از الگوریتم PSO برای شبیه سازی رخداد سیل در حوضه آبخیز تمر استان گلستان اشاره نمود. از جمله تحقیقات انجام شده در مورد کاربرد این مدل در سایر کشورهای دنیا می توان به مطالعات آقایی دانشور و خانجانی (۱۳۸۴) برای شبیه سازی هیدروگراف سیلاب در حوضه آبخیز والنات گالچ[1] آمریکا، اسمیت و همکاران (۱۹۹۹) برای ارزیابی و مقایسه کارآیی این مدل و تعدادی مدل رخداد محور دیگر در حوضه آبخیز کاتسوپ هلند، زیگلر[2] (۲۰۰۱) برای شبیه سازی فرسایش خاک و تولید رسوب در جاده های خاکی کوهستانی در کشور تایلند، هانتوش و کالین[3] (۲۰۰۵) بمنظور ارزیابی حساسیت و عدم قطعیت

---

[1] Walnut Gulch
[2] Ziegler
[3] Hantush and Kalin

کاربرد مدل KINEROS2 در آبخیزهای زراعی کوچک، القریشی[1] و همکاران (۲۰۰۸) برای ارزیابی کاربرد این مدل در شبیه سازی وقایع بارش – رواناب در آبخیزهای خشک کشور عمان، معماریان[2] و همکاران (۲۰۱۳) جهت شبیه سازی هیدروگراف سیل و رسوب در حوضه آبخیز هولولانگات[3] مالزی، زوهیرا[4] و همکاران (۲۰۱۵) برای شناسایی مکان‌های نفوذپذیر به منظور تغذیه مصنوعی در حوضه آبخیز سادین[5] در کشور تونس، کورگانکار[6] و همکاران (۲۰۱۸) برای مدلسازی هیدرولوژی شهری و زیرساخت های سبز در آریزونای آمریکا و آن[7] و همکاران (۲۰۱۹) به منظور شبیه سازی تلفات نیتروژن در دامنه های شیبدار مناطق خشک و نیمه خشک کشور چین اشاره نمود. بررسی نتایج مطالعات بالا در خصوص آنالیز حساسیت مدل به پارامترهای مختلف آن نشان می دهد که اگرچه در مناطق مختلف ترتیب پارامترها از نظر میزان حساسیت متفاوت است ولی مدل حساسیت بالایی به پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت پیشین و ضریب مانینگ در شبیه سازی هیدروگراف سیل دارد.

حوضه آبخیز قورچای رامیان به علت وقوع بارندگی‌های شدید و مجموعه‌ای از عوامل طبیعی و انسانی از قبیل شیب زیاد منطقه، تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی، بهره‌برداری بی رویه از مراتع، افزایش جمعیت انسانی، عدم رعایت اصول صحیح کشاورزی، بهره‌برداری از معادن و ایجاد خطوط ارتباطی بدون در نظر گرفتن اصول فنی در جاده‌سازی، توسعه مناطق مسکونی و ساخت‌وساز غیراصولی بخصوص در حریم رودخانه و همچنین شرایط اقلیمی حاکم بر حوضه در سال‌های اخیر سبب وقوع سیلاب‌های شدید و به بار آوردن خسارات مالی در منطقه شده است. از طرف دیگر، با توجه به شرایط و احتمال تکرار خسارت‌های مالی و حتی احتمال وقوع تلفات جانی، شناخت وضعیت هیدرولوژیکی این منطقه ضروری است. به همین خاطر به منظور اعمال اقدامات حفاظت آب‌وخاک، کنترل فرسایش، بالا بردن میزان درآمد، جلوگیری از بروز سیلاب‌های ویرانگر و آلوده شدن آب‌ها یا به عبارت دیگر دستیابی به اهداف مهم آبخیزداری در منطقه، انجام مطالعات مختلف از قبیل پهنه بندی سیل‌خیزی و بررسی شرایط مختلف حاکم بر حوضه در راستای رسیدن به توسعه پایدار لازم و ضروری می‌باشد (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان ۱۳۸۹). بنابراین در این مطالعه سعی شده است با استفاده از مدل KINEROS2، به بررسی رفتار بارش – رواناب و همچنین شناسایی و ارزیابی پهنه‌های سیل‌خیز در حوضه آبخیز قورچای رامیان پرداخته شود.

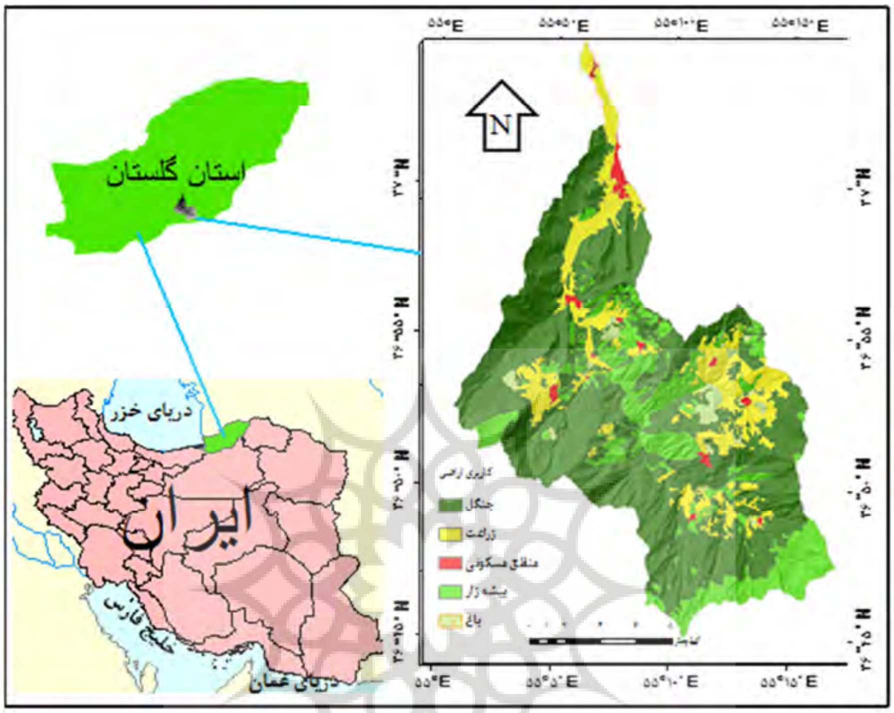
داده ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه این تحقیق حوضه آبخیز قورچای با مساحتی بالغ بر ۲۵۴ کیلومترمربع در محدوده شهرستان آزادشهر استان گلستان است. رودخانه قورچای از سرشاخه‌های مهم رودخانه گرگانرود می‌باشد و طول آن ۳۹ کیلومتر است. حداقل ارتفاع ۱۰۵ متر از سطح دریا است که در خروجی حوضه آبخیز در محل ایستگاه هیدرومتری رامیان واقع شده است. حداکثر ارتفاع ۲۸۳۱ متر و میانگین ارتفاع ۱۴۶۸ متر می‌باشد. شیب متوسط حوضه آبخیز ۴۰/۷۹

---

[1] Al-Qurashi
[2] Memarian
[3] Hulu Langat
[4] Zouheira
[5] Saadine
[6] Korgaonkar
[7] An

درصد است. شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز قورچای در استان گلستان و همچنین جداول ۱ و ۲ بترتیب مشخصات فیزیوگرافی و مساحت کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد .


استان گلستان
دریای خزر
ایران
خلیج فارس
دریای عمان
N
کاربری اراضی
جنگل
زراعت
مناطق مسکونی
بیشه زار
باغ
کیلومتر
۵۵°E
۵۵°۵'E
۵۵°۱۰'E
۵۵°۱۵'E
۳۷°N
۳۶°۵۵'N
۳۶°۵۰'N
۳۶°۴۵'N

شکل۱: موقعیت حوضه آبخیز قورچای در کشور و استان گلستان

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه آبخیز قورچای رامیان

ویژگی	مساحت (km^2)	محیط (km)	طول آبراهه اصلی (km)	ارتفاع حداکثر (m)	ارتفاع حداقل (m)	ارتفاع متوسط (m)	شیب متوسط حوضه (%)	شیب متوسط رودخانه اصلی (%)	طول کل آبراهه-ها (km)	تراکم آبراهه‌ها (km/km^2)
مقدار	۲۵۴	۹۸	۳۹	۲۸۳۱	۱۰۵	۱۲۷۱/۸	۴۰/۷۹	۷/۵۳	۴۵۵	۱/۸

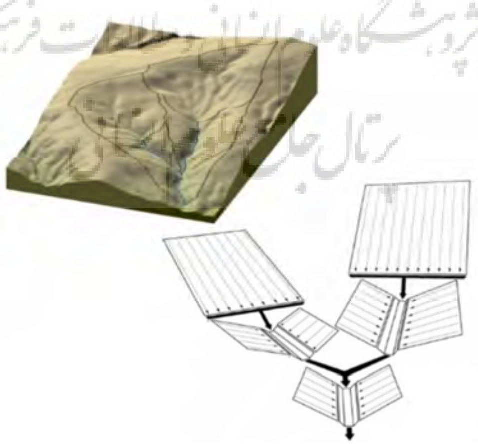
جدول ۲: مساحت کاربری‌های اراضی حوضه آبخیز قورچای رامیان

نوع کاربری	جنگل	بیشه زار	زراعت	باغ	منطقه مسکونی	جمع
مساحت (km^2)	۱۵۷	۴۹	۳۹	۵	۴	۲۵۴

الف – معرفی مدل KINEROS2

مدل KINEROS2 دارای چهار مؤلفه اصلی نفوذ (مبتنی بر الگوریتم هدایت هیدرولیکی اشباع)، روندیابی جریان سطحی دامنه ای (مبتنی بر الگوریتم موج سینماتیکی)، روندیابی جریان آبراهه ای (مبتنی بر الگوریتم موج

سینماتیکی) و فرسایش و رسوب (مبتنی بر الگوریتم قدرت کنش و حمل) است. مدل KINEROS2 یک مدل توزیعی فیزیکی رویداد- محور است که حوضهدر سال ۱۹۶۰، در سازمان کشاورزی امریکا[۱]، مرکز تحقیقات جنوب شرق[۲] و سرویس تحقیقات کشاورزی[۳] پایه‌گذاری شد و توسط ولهیزر[۴] و همکاران (۱۹۷۰ و ۱۹۹۰) حوضه و اسمیت[۵] و همکاران (۱۹۹۵) توسعه داده شد. در مدل KINEROS2، مراحلی از سیکل هیدرولوژی شامل بارندگی، گیرش، نفوذ، جریان سطحی و کانال، فرسایش و رسوب مورد بررسی قرار گرفته و از معادلات آن‌ها استفاده شده است. در این مدل، مقادیر عمق یا شدت بارندگی بر روی هریک از اجزاء، به‌طور یکنواخت و در هر جزء متفاوت در نظر گرفته شده و تغییرات مکانی و زمانی بارندگی به‌وسیله انترپولاسیون بین چند ایستگاه اعمال می‌شود. اثر گیرش به وسیله دو پارامتر عمق گیرش و درصد پوشش گیاهی، در این مدل کنترل می‌شود (آقایی دانشور و خان جانی، ۱۳۸۴). مدل KINEROS2 یک مدل شبیه‌سازی توزیعی دینامیک است که در آن، حوضه آبخیز به صورت صفحات و کانال‌هایی نمایش داده می‌شود. از آنجا که سطوح جریان سطحی لزوماً مسطح نیستند، توپوگرافی طبیعی پیچیده باید به صورت سطوح خطی تجزیه گردد. به عنوان مثال، جریان همگرا می‌تواند با صفحات آبشاری با عرض در حال کاهش، شبیه‌سازی گردد. مقطع دامنه‌ای با شیب نامنظم می‌تواند به صورت مجموعه‌ای از صفحات آبشاری در نظر گرفته شود که هر صفحه برای هر قطعه شیب مشخص، است. در این مدل حوضه آبخیز به زیر حوضه‌های تقسیم می‌شود و هرکدام از این زیر حوضه‌ها به سطوح جریان سطحی متشابه و قطعات کانال شبیه‌سازی می‌شوند. سطوح جریان سطحی به شکل مستطیل و به صورت صاف و منظم با پارامترهای ورودی یکنواخت انتخاب می‌شوند (شکل ۲). پارامترهای مدل ممکن است از جزئی به جزء دیگر تغییر کنند، اما در هر جزء خصوصیات یکنواخت فرض می‌شود. این خصوصیات شامل مشخصات هیدرولیکی خاک، نوع بارندگی، توپوگرافی، شکل ژئومتریک زمین و ...... می‌باشد. مقیاس‌های مکانی که این مدل برای آن‌ها توسعه پیدا کرد از پلات (کمتر از ۱۰ مترمربع) تا حوضه‌های آبخیز بزرگ در حدود ۱۰۰۰ کیلومترمربع، تغییر می‌کند.



شکل ۲: شبیه‌سازی حوضه آبخیز به سطوح جریان سطحی همگن و شبکه کانال‌ها در مدل KINEROS2

---

[1] U.S Department of Agricultural (USDA)
[2] Southwest Watershed Research Service (ARS)
[3] Agricultural Research Service (ARS)
[4] Woolhiser
[5] Smith

این مدل در حوضه‌های آبخیزی که جریان غالب در آن به صورت جریان سطحی است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل، یک مدل توزیعی- فیزیکی است و بر اساس معادلات پایه جریان، نفوذ و انتقال رسوب پایه‌گذاری شده است. معادله جریان بر اساس معادلات St-Venant با استفاده از تقریب موج سینماتیکی معادلات پیوستگی و مومنتم حاصل شده است. معادلات جریان در دو حالت جریان سطحی و جریان در کانال بررسی می‌شود (سمینز و همکاران، ۲۰۰۴). برای محاسبه نفوذ و رواناب سطحی از معادله اسمیت – پالانژ استفاده می شود (پارلانژ و همکاران، ۱۹۸۲) که مبتنی بر رویکرد نفوذ هورتونی است. این مدل نمی‌تواند جریان زیرقشری، زیرسطحی یا زیرزمینی را شبیه‌سازی نماید. مدل KINEROS2 از طریق ابزار AGWA[1] که به عنوان یک الحاقیه به نرم‌افزار ArcGIS اضافه می‌گردد، اجرا می‌شود. هنگامی که کار با ابزار AGWA آغاز می‌شود، برنامه، کاربر را به صورت گام به گام از طریق تغییر داده‌های GIS به صورت نتایج شبیه‌سازی، هدایت می‌کند.

ب – داده ها

داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل KINEROS2 شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه جهت جریان، نقشه جهت تجمعی جریان، نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک‌شناسی سازمان فائو و نیز داده‌های تعدادی رویداد بارش و رواناب متناظر است. همچنین جدول مراجعه‌ای مربوط به کاربری‌های اراضی مختلف در منطقه مورد مطالعه تهیه و هم‌زمان با نقشه کاربری اراضی به مدل معرفی می‌گردد. اطلاعات موردنیاز برای تهیه جدول مراجعه‌ای شامل ضریب مانینگ، ظرفیت برگاب، درصد سطح نفوذناپذیر و سطح پوشش گیاهی به ازای هر کاربری اراضی است که بر اساس اطلاعات موجود از منطقه و با بررسی سوابق پژوهشی موجود، مقادیر اولیه برای این پارامترها تعیین می‌گردد.

علاوه بر نقشه ها و جداول مراجعه ای پارامترها، داده های متناظر وقایع بارش – رواناب نیز توسط کاربر مدل وارد مدل می شود. داده های بارش بعنوان متغیر ورودی و داده های دبی مشاهده ای برای واسنجی و اعتبارسنجی و همچنین ارزیابی کارآیی مدل لازم است. برای این منظور آمار سیلاب ایستگاه هیدرومتری رامیان و آمار بارش متناظر ایستگاه باران سنجی رامیان در دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۹۶ به ترتیب از شرکت آب منطقه‌ای و اداره کل هواشناسی استان گلستان تهیه گردید. پس از بررسی و پردازش داده‌ها تعداد شش واقعه متناظر بارش - رواناب نسبتاً مناسب استخراج گردید. شایان ذکر است تعداد وقایع سیلابی ثبت شده در این دوره بسیار بیشتر از شش واقعه می‌باشد. اما متأسفانه برای اکثر این وقایع سیلابی، هایتوگراف بارش ثبت شده وجود نداشت و یا تاریخ و زمان رگبار و سیلاب ثبت شده هماهنگی نداشتند. بنابراین در این حوضه آبخیز نیز مثل حوضه‌های آبخیز دیگر استان نواقص آماری و کیفیت نامناسب داده‌ها کاملاً مشهود است. رویدادهای بارش – رواناب متناظر استخراج شده به دو دسته تقسیم شدند. دسته اول با سه واقعه جهت اجرا و واسنجی مدل و دسته دوم با سه واقعه جهت اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی، مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات وقایع انتخاب شده در جدول۳، درج گردیده است.

---

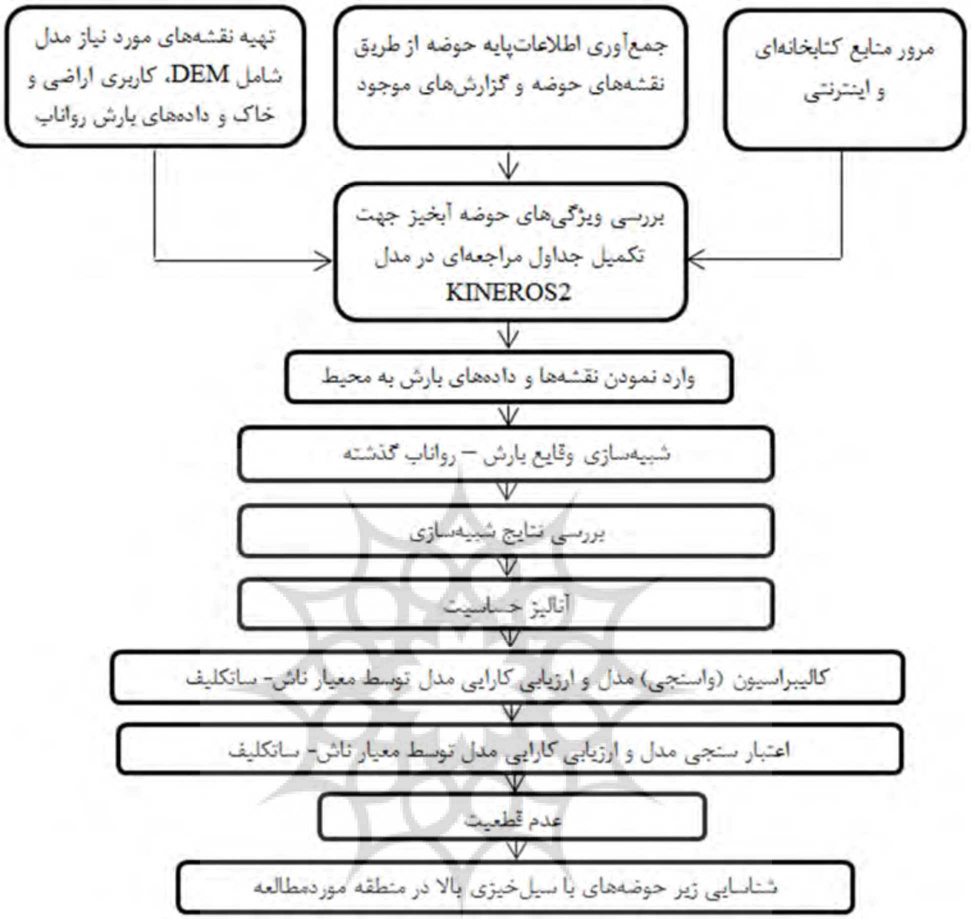
[1] Automated Geospatial Watershed Assessment

جدول ۳: مشخصات وقایع انتخاب شده جهت اجرا، واسنجی و اعتبارسنجی مدل

دسته وقایع	تاریخ رویداد	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	زمان تا اوج (ساعت)	مقدار بارندگی ایستگاه رامیان (میلی‌متر)
مرحله واسنجی	۱۳۹۵/۱/۲۹	۱۵۹	۱۵	۱۰۶/۸
	۱۳۹۲/۱۲/۱۷	۲/۶	۷/۹	۱۰/۲
	۱۳۹۴/۱۰/۲۰	۴۶/۵	۱۶	۱۴/۴
مرحله اعتبارسنجی	۱۳۹۴/۱۲/۱۰	۸	۱۶	۴۶/۴
	۱۳۹۲/۱۲/۲۲	۳/۶۳	۱۷	۱۳/۲
	۱۳۹۶/۵/۲۰	۲۵۰	۱۷	۴۱/۵

ج – روش کار

مراحل انجام تحقیق در شکل ۳ بصورت خلاصه ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود بعد از جمع آوری آمار و اطلاعات پایه حوضه آبخیز مورد مطالعه و تهیه نقشه های مورد نیاز مدل، این اطلاعات و نقشه ها وارد مدل شد و مدل برای وقایع مختلف بارش – رواناب اجرا گردید و حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف ارزیابی شد. بعداز شناسایی پارامترهای حساس و بهینه سازی مقادیر آنها نتایج مدل با معیارهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و بعد از اطمینان از کارآیی مدل نسبت به شناسایی پهنه های سیلخیز حوضه آبخیز رامیان اقدام شد. برای تهیه نقشه های توزیعی متغیرها و پارامترهای مدل از جداول مراجعه ای و سه نقشه پایه مدل رقومی ارتفاع، کاربری اراضی و خاک بصورت شکل ۴ استفاده شد.


مرور منابع کتابخانه‌ای و اینترنتی
جمع‌آوری اطلاعات‌پایه حوضه از طریق نقشه‌های حوضه و گزارش‌های موجود
تهیه نقشه‌های مورد نیاز مدل شامل DEM، کاربری اراضی و خاک و داده‌های بارش رواناب
بررسی ویژگی‌های حوضه آبخیز جهت تکمیل جداول مراجعه‌ای در مدل KINEROS2
وارد نمودن نقشه‌ها و داده‌های بارش به محیط
شبیه‌سازی وقایع بارش – رواناب گذشته
بررسی نتایج شبیه‌سازی
آنالیز حساسیت
کالیبراسیون (واسنجی) مدل و ارزیابی کارایی مدل توسط معیار ناش- ساتکلیف
اعتبار سنجی مدل و ارزیابی کارایی مدل توسط معیار ناش- ساتکلیف
عدم قطعیت
شناسایی زیر حوضه‌های با سیل‌خیزی بالا در منطقه موردمطالعه

شکل ۳: نمودار جریانی انجام تحقیق

برای انجام آنالیز حساسیت روش "یک پارامتر در هر بار[1] " مورد استفاده قرار گرفت که ساده ترین و متعارف‌ترین روش برای این کار می‌باشد و محققین مختلفی از جمله وایت[2] و همکاران (۲۰۰۵)، جا[3] و همکاران (۲۰۰۷)، فایرریزن[4] و همکاران (۲۰۰۷)، شیخ و همکاران (۲۰۱۰) از این روش استفاده کرده‌اند. در روشOAT، در هر بار اجرای مدل یک پارامتر تغییر کرده و بقیه پارامترها ثابت می‌مانند و اثر آن تغییر بر تابع هدف، حساسیت پارامتر را مشخص می‌کنند. در این پژوهش قبل از مرحله واسنجی، آنالیز حساسیت انجام شد و حساسیت دو مؤلفه مدل شامل تغییرات دبی اوج و حجم سیل نسبت به پارامترهای مختلف ورودی مدل مورد آنالیز قرار گرفت. برای این کار از دو روش درصد تغییرات مطلق خروجی ها به ازای درصد تغییرات مقادیر پارامترها و رابطه حساسیت نسبی[5] زیر استفاده شد.

$$R_s = \left(\frac{\bar{P}}{\bar{O}}\right)\left(\frac{O_2-O_1}{P_2-P_1}\right) \qquad (۱)$$

---

[1] One Factor At a Time (OAT)
[2] White
[3] Jha
[4] Feyereisen
[5] Relative sensitivity

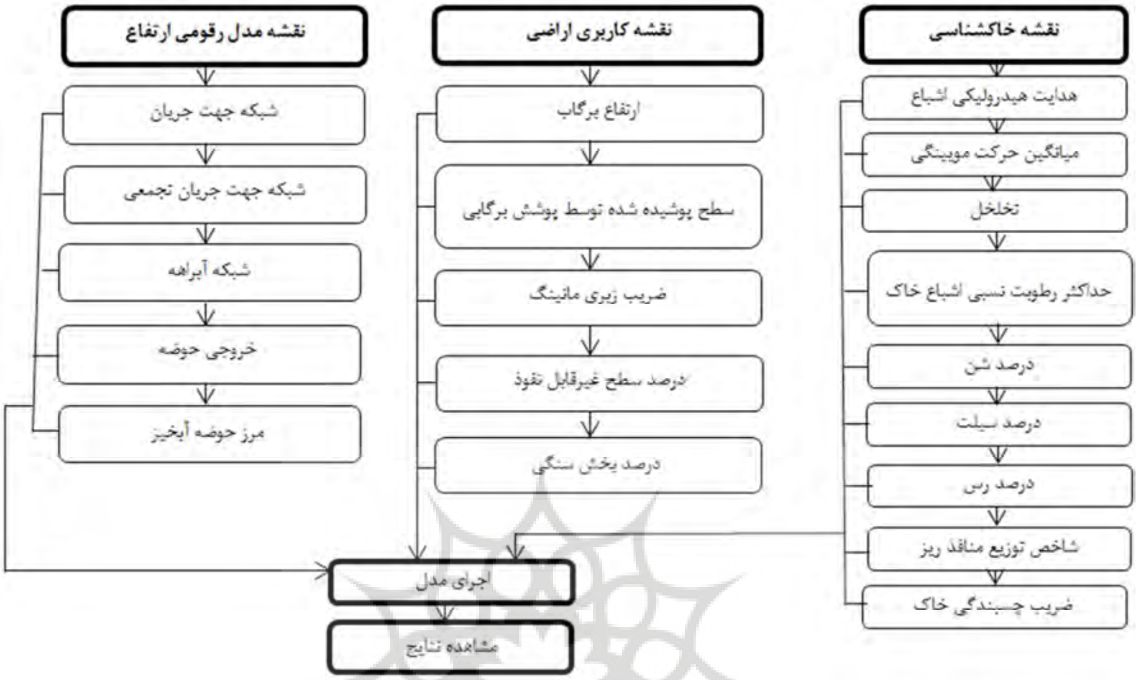
P_1 و P_2 دو مقدار متفاوت از پارامتر یا متغیر ورودی، O_1 و O_2 به ترتیب خروجی‌های مرتبط با P_1 و P_2 می‌باشند.

در این مطالعه پارامترهای ضریب زبری مانینگ کانال و سطح، هدایت هیدرولیکی اشباع کانال و سطح، ظرفیت برگاب، میانگین حرکت مویینگی[1] کانال و سطح، رطوبت اولیه خاک و ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی سطح[2] به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد مقدار اولیه کاهش و افزایش داده شدند و سپس تأثیر این تغییرات بر دبی اوج و حجم سیل بررسی گردید. برای تعیین مقادیر ورودی هر پارامتر، دامنه تغییر آن مشخص و در این دامنه چهار عدد با فاصله گام های مختلف انتخاب و پس از ارائه آن‌ها به مدل، شبیه‌سازی انجام شد. بر اساس بررسی‌های اولیه مدل و نتایج تحقیقات پیشین از قبیل ملائی‌فر (۱۳۹۲)، از بین پارامترهای ورودی مدل نه پارامتر برای انجام آنالیز حساسیت انتخاب شد (جدول۴). به منظور مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده به وسیله مدل و ارزیابی مدل در شبیه‌سازی جریان، داده‌های ساعتی جریان(مترمکعب بر ثانیه) از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری شد.

برای طراحی مدل باید از فرایندها، معادلات ریاضی و الگوریتم‌هایی که فرایندها را توصیف می‌کنند شناخت نسبتاً کاملی داشته باشیم زیرا اکثر مدل‌های هیدرولوژی نیاز به تطبیق و تعدیل پارامترهای کنترل کننده فرایندها دارند (به‌طور مثال نفوذ، تلفات اولیه باران و ذخیره رطوبت خاک) عملیات تطبیق پارامترها را جهت هماهنگی و سازگاری مدل در تولید داده‌هایی همانند پاسخ حوضه یا نمونه اصلی سیستم، تنظیم مدل یا کالیبره کردن آن می‌گویند. به عبارت دیگر هدف از واسنجی حداقل کردن اختلاف بین خروجی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده است و این کار ممکن است به‌وسیله اندازه‌گیری دقیق پارامترها و یا به‌وسیله روش‌های بهینه‌سازی انجام شود. همچنین در این تحقیق از روش واسنجی دستی استفاده شده است. برای ارزیابی کارایی مدل از شاخص‌های همچون ضریب ناش - ساتکلیف[3]، درصد خطا در دبی اوج[4]، انحراف مدل[5]، ضریب همبستگی اصلاح شده[6]، معیار جمعی[7]، ضریب تبیین، ضریب تبیین وزنی و میانگین حداقل مربعات خطا استفاده شده است.

---

[1] Mean capillary drive
[2] Coefficient of variation of KS
[3] Nash-Sutcliffe coefficient
[4] Percent error in peak
[5] Model Bias
[6] Modified Correlation Coefficient
[7] Aggregated measure


نقشه خاکشناسی
هدایت هیدرولیکی اشباع
میانگین حرکت مویینگی
تخلخل
حداکثر رطوبت نسبی اشباع خاک
درصد شن
درصد سیلت
درصد رس
شاخص توزیع منافذ ریز
ضریب چسبندگی خاک
نقشه کاربری اراضی
ارتفاع برگاب
سطح پوشیده شده توسط پوشش برگابی
ضریب زبری مانینگ
درصد سطح غیرقابل نفوذ
درصد پخش سنگی
نقشه مدل رقومی ارتفاع
شبکه جهت جریان
شبکه جهت جریان تجمعی
شبکه آبراهه
خروجی حوضه
مرز حوضه آبخیز
اجرای مدل
مشاهده نتایج

شکل ۴: مراحل تهیه نقشه پارامترهای توزیعی مدل KINEROS2 بر اساس سه نقشه پایه

جدول ۴: پارامترهای انتخاب شده برای آنالیز حساسیت

نام پارامتر	شرح پارامتر	واحد
Channel - Ks	هدایت هیدرولیکی کانال	mm/hr
Plane - Ks	هدایت هیدرولیکی دامنه	mm/hr
Channel - G	میانگین حرکت مویینگی کانال	mm
Plane - G	میانگین حرکت مویینگی دامنه	mm
Channel - n	ضریب زبری کانال	-
Plane - n	ضریب زبری دامنه	-
SI	رطوبت پیشین	mm
Ks-CV	ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی سطح	-
In	ظرفیت برگاب	mm

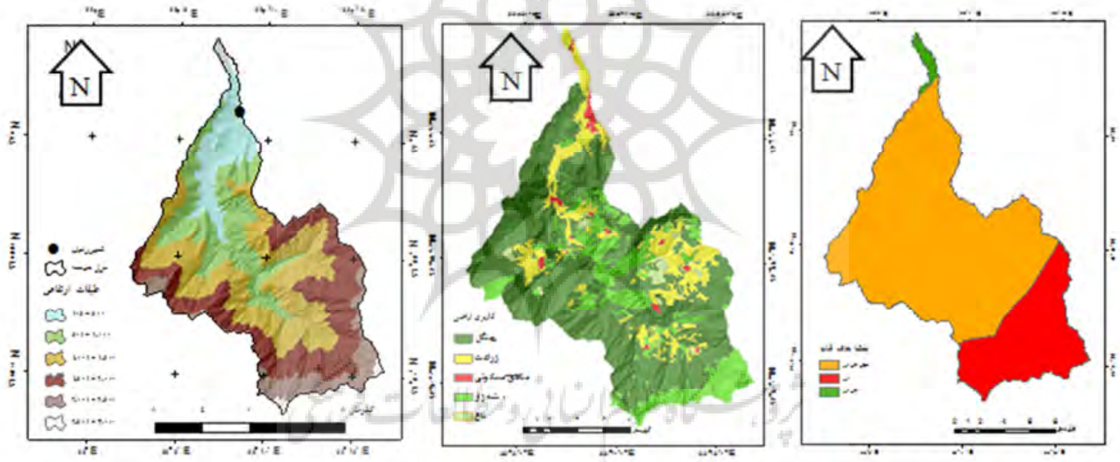
یافته های تحقیق

بعد از ورود نقشه های پایه (شکل ۵)، در مرحله اول نقشه‌های جهت جریان و شبکه جریان تجمعی و مرز هیدرولوژیک حوضه آبخیز[1] توسط برنامه الحاقی AGWA2 بر روی نرم افزار ArcGIS تولید شد. سپس در مرحله گسسته سازی[2]، حوضه آبخیز به ۵۳ سطح جریان همگن (شکل۶) و ۲۱ کانال (شکل۷)، تفکیک گردید. مرحله سوم

---

[1] Delineate Watershed
[2] Discretize Watershed

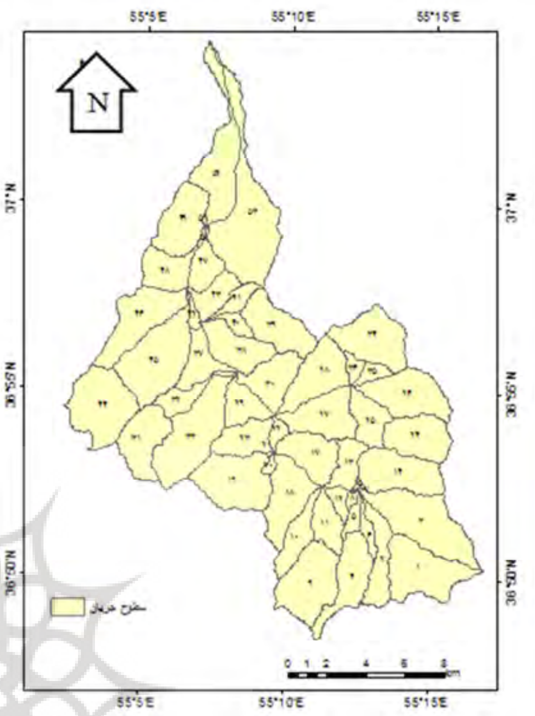
یا تعریف پارامترها[1] ابتدا پارامترهای کانال یا شبکه زهکشی تعریف و سپس با توجه به نقشه خاک و نقشه کاربری اراضی جدول مراجعه‌ای تهیه و به مدل معرفی شد. با توجه به اینکه وقایع بارش - رواناب مورد مطالعه در سه فصل مختلف (بهار، تابستان، زمستان) حادث شده‌اند (جدول ۳)، برای هر فصل مقادیر پارامترها و متغیرهای اولیه پویا بصورت جداگانه تعیین شد. جدول ۵ مقادیر این متغیرها و پارامترها را برای این سه فصل نشان می دهد. در این جدول درصد پوشش بر اساس شاخص NDVI از طریق تصاویر ماهواره‌ای برای هر فصل به‌صورت جداگانه دانلود و محاسبه شد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲). همچنین ظرفیت برگاب و ضریب مانینگ از طریق جدول‌های ارائه شده در راهنمای مدل به دست آمد. مقادیر سایر پارامترها برای فصول مختلف ثابت در نظر گرفته شدند. در مرحله چهارم فایل بارش[2] برای هر رگبار به مدل معرفی شد. مرحله بعدی که مرحله شبیه‌سازی[3] نام دارد برای هر رگبار بصورت جداگانه انجام گرفت و در مرحله آخر نتایج مدل[4] مشاهده گردید. لازم به ذکر است نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و طبقات شیب در فرمت رستری و با اندازه سلول‌های ۳۰ در ۳۰ متر تهیه شدند و در مدل مورد استفاده قرار گرفتند.



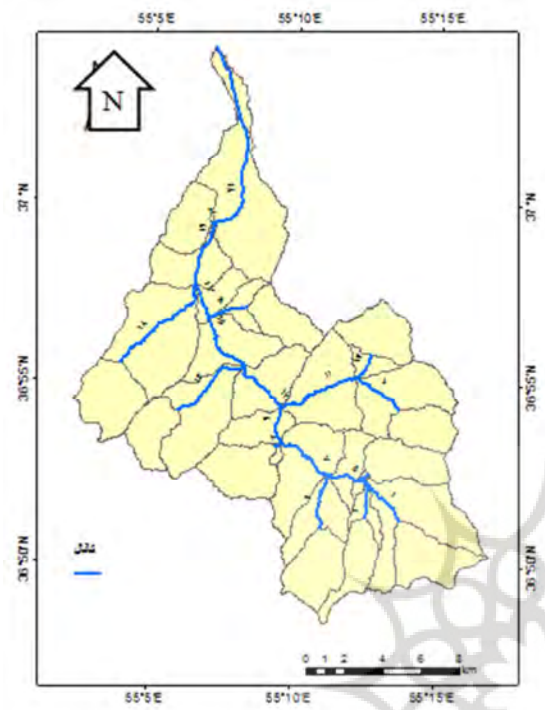
شکل۵: نقشه های مدل رقومی ارتفاع، خاک و کاربری اراضی حوضه آبخیز رامیان

---

[1] Parameterization Options
[2] Precipitation Options
[3] Simulation Options
[4] View Results


N
55°5'E
55°10'E
55°15'E
37°N
36°55'N
36°50'N
سطوح جریان
0 1 2 4 6 8 km

شکل۶: نقشه سطوح جریان تولید شده توسط مدل KINEROS2


N
55°5'E
55°10'E
55°15'E
37°N
36°55'N
36°50'N
کانال
0 1 2 4 6 8 km

شکل۷: نقشه شبکه کانال تولید شده توسط مدل KINEROS2

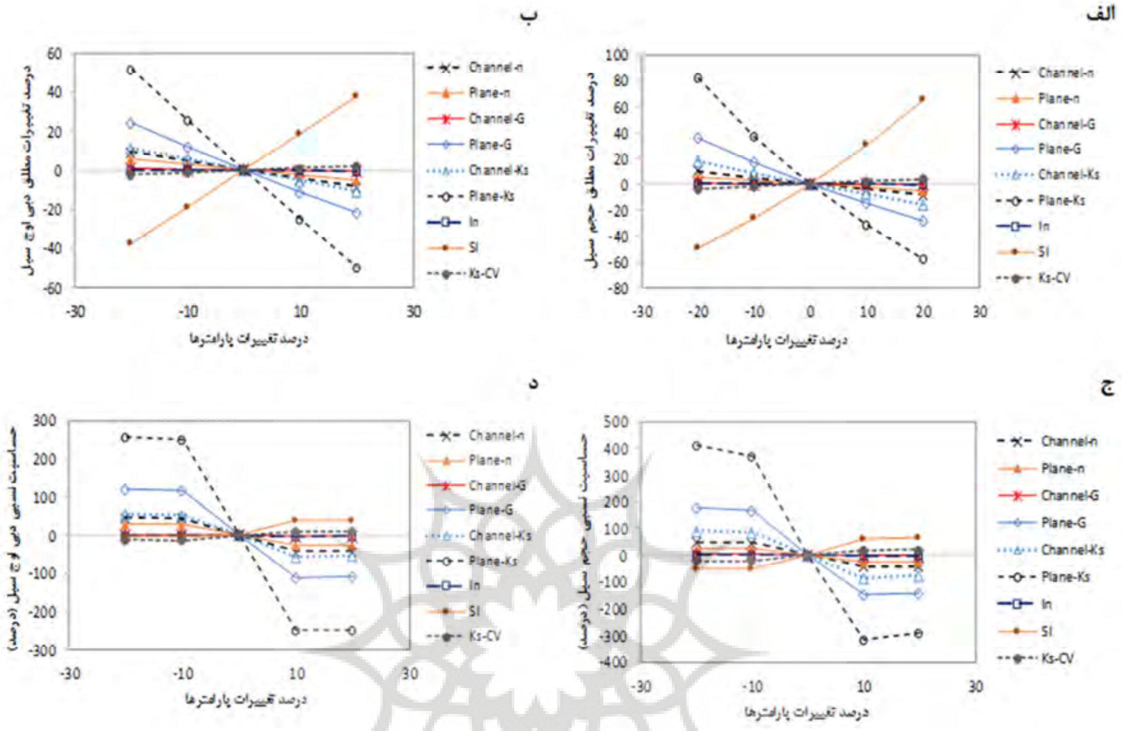
جدول۵: مقادیر اولیه برخی پارامترها برای استفاده در جدول مراجعه‌ای مدل

کاربری اراضی	گروه هیدرولوژیکی خاک				درصد پوشش			ظرفیت برگاب (mm)			ضریب مانینگ		
	A	B	C	D	بهار	تابستان	زمستان	بهار	تابستان	زمستان	بهار	تابستان	زمستان
جنگل	۳۶	۶۰	۷۳	۷۹	۶۵	۸۱	۵۲	۱/۳۵	۱/۵	۱/۰۵	۰/۸	۰/۸	۰/۸
بیشه‌زار	۴۹	۶۹	۷۹	۸۴	۴۳	۵۱	۳۰	۱/۵	۱/۵	۱	۰/۴	۰/۴۲	۰/۳
زراعت	۶۶	۷۷	۸۵	۸۹	۵۵	۴۴	۲۹	۱/۷۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۶	۰/۴	۰/۰۵
شهر	۷۷	۸۵	۹۰	۹۲	۱۰	۱۰	۸	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
باغ	۶۶	۷۷	۸۵	۸۹	۳۲	۴۰	۲۵	۱/۳	۱/۴	۱/۰۱	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۰۴

نتایج و بحث

الف - آنالیز حساست مدل

در شکل ۸ میزان حساسیت مطلق و نسبی حجم و دبی اوج سیل به ازای ۱۰± و ۲۰± تغییرات در مقادیر نه پارامتر شامل هدایت هیدرولیکی اشباع سطح و کانال، ضریب مانینگ سطح و کانال، میانگین حرکت موییگی سطح و کانال، ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع سطح، ظرفیت برگاب و رطوبت پیشین خاک نشان داده شده است.



شکل ۸: نتایج آنالیز حساسیت مدل به پارامترهای آن. درصد تغیرات مطلق حجم (الف) و دبی اوج (ب) سیل و حساسیت نسبی حجم (ج) و دبی اوج (د) سیل.

همانطور که مشاهده می شود آنالیز حساسیت به هر دو روش نشان می دهد که مدل KINEROS2 بیشترین حساسیت را به پارامتر هدایت هیدرولیکی اشباع سطح از نظر هر دو خروجی حجم و دبی اوج سیل نشان می دهد اما ترتیب اولویت سایر پارامترها در دو روش متفاوت است. به طوریکه در روش درصد تغییرات مطلق، برای هر دو خروجی حجم و دبی اوج سیل، مدل حساسیت بیشتری را نسبت به رطوبت پیشین خاک و میانگین حرکت موئینگی سطح نشان می دهد اما در روش حساسیت نسبی، حساس ترین پارامترها بعد از هدایت هیدرولیکی اشباع سطح، به ترتیب میانگین حرکت موئینگی سطح و هدایت هیدرولیکی اشباع کانال می باشد. مطابق هر دو روش و برای هر دو متغیر خروجی، مدل KINEROS2 کمترین حساسیت را نسبت به پارامترهای ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع و ظرفیت برگاب نشان داد. مقایسه نتایج به دست آمده با تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که نتایج این تحقیق با نتایج به دست آمده از پژوهش هانتوش و کالین (۲۰۰۵)، مطابقت کامل دارد زیرا این محققان نشان داده اند که خروجی‌های مدل KINEROS2 بیشترین حساسیت را به هدایت هیدرولیکی اشباع و رطوبت پیشین نشان می دهند. همچنین نتایج کار نام آور (۱۳۹۰)، نشان داده است که حساس‌ترین پارامتر مدل، رطوبت پیشین خاک است، نتایج تحقیقات ملائی‌فر (۱۳۹۲)، نشان می‌دهد که هدایت هیدرولیکی اشباع و ظرفیت برگاب به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر حساسیت را در این مدل ایجاد می‌کنند. در تحقیقات معماریان و همکاران (۲۰۱۳) و

القریشی و همکاران (۲۰۰۸)، مدل حساسیت بالایی به پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع و ضریب زبری مانینگ نشان داده است اگرچه در پژوهش القریشی و همکاران (۲۰۰۸)، گزارش شده است که مدل KINEROS2 حساسیت کمی نسبت به رطوبت اولیه نشان می دهد.

ب - واسنجی و اعتبارسنجی مدل

در این مطالعه جهت انجام واسنجی از روش واسنجی دستی استفاده گردید. واسنجی مدل با استفاده از ۷ پارامتر مدل شامل هدایت هیدرولیکی کانال و سطح، میانگین حرکت مویینگی کانال و سطح، ضریب مانینگ کانال و سطح و ظرفیت برگاب انجام شد. اگرچه مدل حساسیت زیادی نسبت به رطوبت پیشین خاک نشان می دهد اما مقدار آن تابع زمان است و تغییرات شدید زمانی و مکانی دارد. بنابراین اگرچه در صورت بهینه سازی آن، نتایج مدل در دوره واسنجی بسیار بهبود می یابد اما استفاده از این مقادیر بهینه برای دوره اعتبارسنجی منطقی نخواهد بود. زیرا مقدار این پارامتر برای هر رخداد کاملا متفاوت خواهد بود. جدول ۶، مقادیر اولیه و بهینه شده این پارامترها را برای رخدادهای (فصول) مختلف نشان می‌دهد. مقادیر رطوبت اولیه خاک با توجه به زمان رویداد و بارندگی ۵ روز قبل تعیین شد. نتایج واسنجی در شکل ۹ و جدول ۷، نمایش داده شده است و جدول ۸، مؤلفه‌های بیلان را برای رگبارهای مرحله واسنجی نشان می‌دهد.

جدول۶: مقادیر اولیه و بهینه شده پارامترها برای رگبارهای مرحله واسنجی

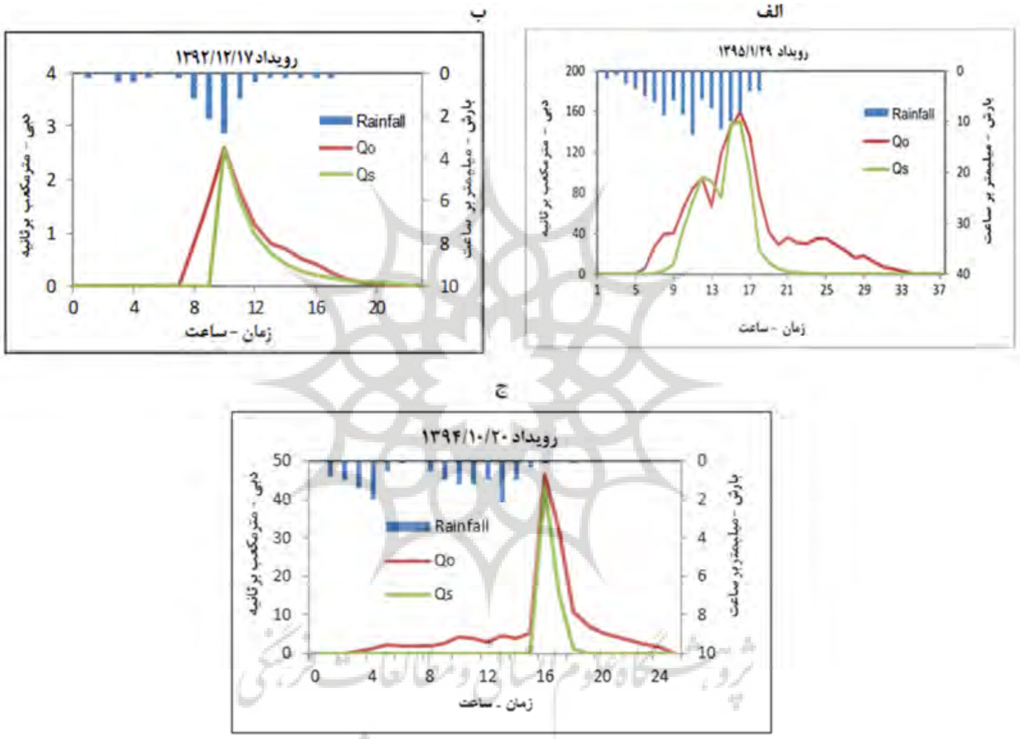
پارامترها	۱۳۹۵/۱/۲۹		۱۳۹۲/۱۲/۱۷		۱۳۹۴/۱۰/۲۰	
	اولیه	بهینه شده	اولیه	بهینه شده	اولیه	بهینه شده
هدایت هیدرولیکی سطح (میلی‌متر بر ساعت)	۳,۵۳۵	۲,۷	۳,۵۳۵	۲,۷	۳,۵۳۵	۲,۷
هدایت هیدرولیکی کانال (میلی‌متر بر ساعت)	۷۴	۲۸,۸	۷۴	۲۸,۸	۷۴	۲۸,۸
ضریب مانینگ سطح	۰,۳۹	۰,۵۴۶	۰,۱۶۹	۰,۱۱۵	۰,۱۶۹	۰,۱۱۵
ضریب مانینگ کانال	۰,۲	۰,۱۵	۰,۲	۰,۱۵	۰,۲	۰,۱۵
میانگین حرکت مویینگی سطح (میلی‌متر)	۲۹۱,۷۵	۱۸۰,۱۲	۲۹۱,۷۵	۱۸۰,۱۲	۲۹۱,۷۵	۱۸۰,۱۲
میانگین حرکت مویینگی کانال (میلی‌متر)	۱۰۱	۱۲۳	۱۰۱	۱۲۳	۱۰۱	۱۲۳
ظرفیت برگاب (میلی‌متر)	۱,۲۱	۲,۱	۰,۴۷	۱,۳	۰,۴۷	۱,۳

جدول ۷: نتایج واسنجی مدل KINEROS2 برای رویدادهای مرحله واسنجی

رویداد	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)		زمان تا اوج (ساعت)		حجم سیل (مترمکعب)	
	مشاهداتی	شبیه‌سازی	مشاهداتی	شبیه‌سازی	مشاهداتی	شبیه‌سازی
۱۳۹۵/۱/۲۹	۱۵۹	۱۵۰,۴۶۸	۱۷	۱۷	۱۴۱۱,۹	۸۳۱,۸۳۴
۱۳۹۲/۱۲/۱۷	۲,۵۹	۲,۵۷۷	۱۲	۱۲	۱۰,۹۵۶	۷,۲
۱۳۹۴/۱۰/۲۰	۴۶,۵۵	۴۳,۶۷	۱۸	۱۸	۱۵۱,۷۶	۶۰,۶۴

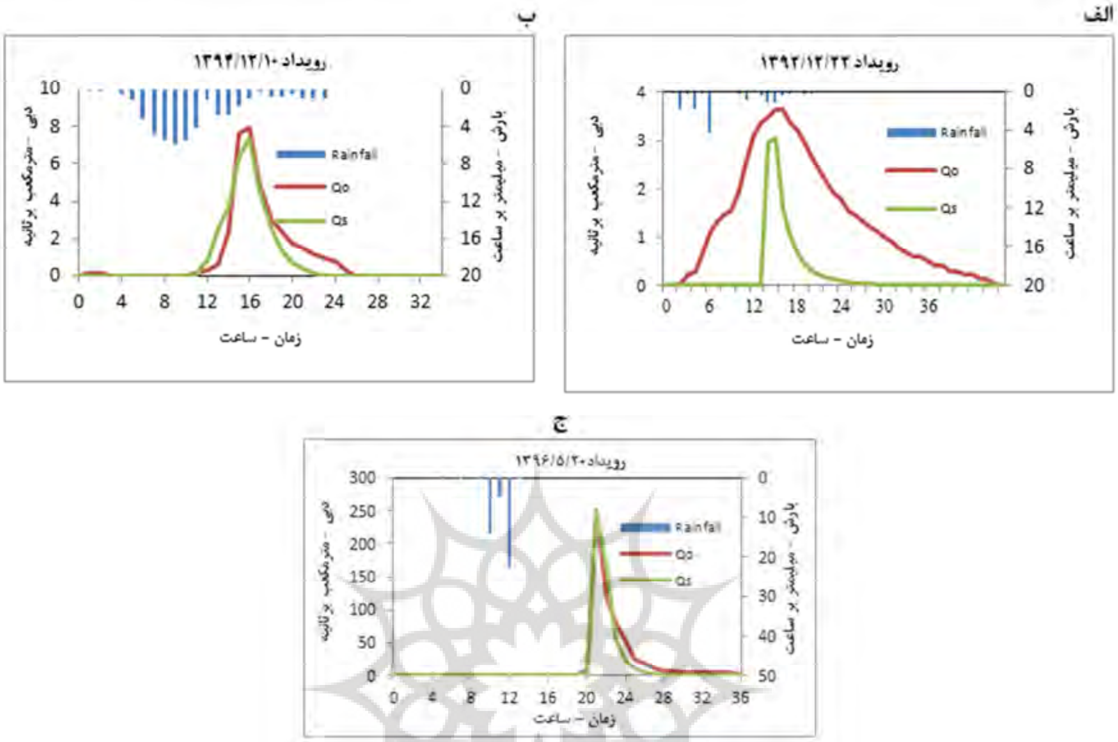
جدول ۸: مؤلفه‌های بیلان برای رگبارهای مرحله واسنجی

رویداد	مقدار بارش (mm)	نفوذ (mm)	ربایش برگی (mm)	رواناب سطحی(mm)
۱۳۹۵/۱/۲۹	۱۰۶٫۸	۹۶٫۵	۰٫۴۴	۹٫۸۶
۱۳۹۲/۱۲/۱۷	۱۰٫۲	۱۰	۰٫۱	۰٫۰۹۱۵
۱۳۹۴/۱۰/۲۰	۱۴٫۴	۱۳٫۶	۰٫۱۱	۰٫۶۹



شکل ۹: هیدروگراف های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده رویدادهای سیل در دوره واسنجی

پس از فرآیند واسنجی مدل هیدرولوژیکی، به منظور اعتبارسنجی مدل از تعداد ۳ رویداد دیگر استفاده و مدل اجرا گردید. نتایج اعتبارسنجی مدل در شکل ۱۰ و جدول ۹، نمایش داده شده است و جدول ۱۰، نیز مؤلفه‌های بیلان را برای رگبارهای مرحله اعتبارسنجی نشان می‌دهد. شایان ذکر است مقادیر پارامترهای هر رگبار در دوره اعتبارسنجی با توجه به فصل وقوع آنها و با توجه به مقادیر واسنجی شده آنها برای رگبارهای واسنجی در فصل مربوطه انتخاب شدند.



شکل۱۰: هیدروگراف های مشاهداتی و شبیه‌سازی رویدادهای دوره اعتبارسنجی

جدول۹: نتایج اعتبارسنجی مدل KINEROS2 با رویدادهای مرحله اعتبارسنجی

رویداد	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)		زمان تا اوج (ساعت)		حجم سیل (مترمکعب)	
	مشاهداتی	شبیه‌سازی	مشاهداتی	شبیه‌سازی	مشاهداتی	شبیه‌سازی
۱۳۹۲/۱۲/۲۲	۳٫۶۳	۳٫۰۴	۱۷	۱۷	۶۲٫۵	۱۰٫۸
۱۳۹۴/۱۲/۱۰	۷٫۹۶	۷٫۴۱	۱۸	۱۸	۳۶٫۱۵	۳٫۷۲
۱۳۹۶/۵/۲۰	۲۴۹	۲۴۸	۲۳	۲۳	۶۰۹٫۹	۵۱۹

جدول ۱۰: مؤلفه‌های بیلان برای رگبارهای مرحله اعتبارسنجی

رویداد	مقدار بارش (mm)	نفوذ (mm)	ربایش برگی (mm)	رواناب سطحی(mm)
۱۳۹۲/۱۲/۲۲	۱۳٫۲	۱۲٫۹۲	۰٫۱۳	۰٫۱۵
۱۳۹۴/۱۲/۱۰	۴۷٫۴	۴۷٫۰۲	۰٫۰۹	۰٫۲۹
۱۳۹۶/۵/۲۰	۴۱٫۵۷	۳۴٫۴۴	۰٫۶۵	۶٫۴۸

به منظور ارزیابی کمی کارایی مدل در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از ۹ شاخص استفاده گردید که مقادیر آن‌ها در جدول۱۱، نشان داده شده است.

جدول ۱۱: ارزیابی کارایی مدل با استفاده از شاخص‌های کارایی در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی

شاخص کارایی	مرحله واسنجی	مرحله اعتبارسنجی
ضریب ناش – ساتکلیف	۰,۷۲۳	۰,۶
درصد خطا در دبی اوج	۴	۷,۸۹
ضریب همبستگی	۰,۹۰۶	۰,۸۴۶
ضریب همبستگی اصلاح شده	۰,۸۲۲	۰,۷۱۲
انحراف مدل	۰,۴۵	-۰,۳۷
ضریب جمعی	۰,۶۹۸	۰,۵۹
ضریب تبیین	۰,۸۲۳	۰,۷۴
ضریب تبیین وزنی	۰,۶۰۳	۰,۵۷۳
میانگین حداقل مربعات خطا	۲,۷۶	۴,۱

مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در هر دو دوره نشان می دهد که در اکثر رویدادها تطابق هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نسبتا خوب است. در تعداد زیادی از مطالعات قبلی انجام شده با استفاده از مدل KINEROS2 نیز گزارش شده است که این مدل توانایی قابل قبولی در شبیه سازی رفتار کلی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز دارد (ملائی‌فر، ۱۳۹۲؛ معماریان و همکاران، ۲۰۱۳؛ آقایی دانشور و خانجانی، ۱۳۸۴؛ هانتوش و کالین، ۲۰۰۵ و زیگلر، ۲۰۰۱). البته گزارشاتی نیز مبنی بر عدم کارآیی مدل در مناطق خشک وجود دارد (القریشی و همکاران، ۲۰۰۸). در خصوص رویداد مورخ ۱۳۹۲/۱۲/۲۲، که دارای کمترین میزان تطابق بین حجم و دبی اوج هیدروگراف بوده و حجم هیدروگراف شبیه‌سازی شده خیلی کمتر از هیدروگراف مشاهداتی است با توجه به شیب زیاد شاخه صعودی هیدروگراف بنظر می رسد که اکثر حجم بارش به رواناب تبدیل شده است. بررسی دقیق‌تر و ملاحظه داده‌های بارش نشان داد که رطوبت پیشین خاک در ۵ ساعت قبل از بارش به دلیل بارندگی های قبلی بالا بوده و این موضوع باعث شده است اکثر بارش به رواناب تبدیل شود و شیب شاخه صعودی زیاد شود. همانطور که مشاهده می شود دبی اوج این رخداد بالا نیست و رواناب مشاهداتی ناشی از جریان های زیرقشری است که مدل قادر به شبیه‌سازی این مولفه نمی‌باشد، بنابراین تطابق خوبی بین هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی وجود ندارد. همانطورکه نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد بدلیل غالب بودن پوشش جنگلی در این حوضه آبخیز، مقدار میانگین عمق رواناب سطحی خیلی کم بدست آمده است (جداول ۸ و ۱۰). مقدار متوسط ضریب ناش- ساتکلیف برای رخدادهای مرحله واسنجی برابر ۰/۷۲۳ و برای مرحله اعتبارسنجی ۰/۶ می‌باشد که بیانگر کارآیی قابل قبول مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوضه آبخیز قورچای رامیان می‌باشد. در خصوص شاخص معیار جمعی که میزان تفاوت‌هایی از قبیل اندازه، شکل و حجم بین هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد مقادیر متوسط آن در مرحله واسنجی برابر ۰/۶۹۸ و در مرحله اعتبارسنجی برابر ۰/۵۹ به دست آمده است. نتایج مدل نشان داد که هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی از لحاظ حجم سیلاب تطابق خوبی ندارند. در حالی که مدل توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی مقدار دبی اوج و زمان تا اوج هیدروگراف دارد. بر اساس نتایج، متوسط خطای شبیه‌سازی دبی اوج برای رخدادهای واسنجی ۴ درصد و در وقایع اعتبارسنجی برابر ۷/۸۹ درصد می‌باشد. لذا کارآیی مدل در برآورد

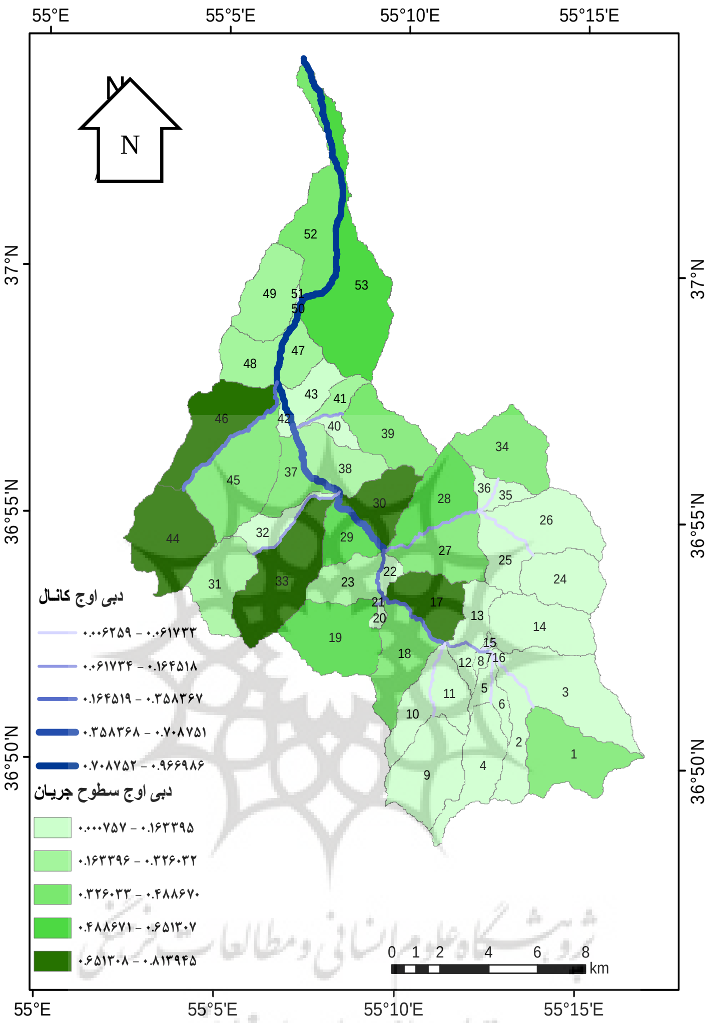
دبی اوج سیلاب بسیار خوب ارزیابی می گردد که با نتایج نام آور (۱۳۹۰)، ملائی‌فر (۱۳۹۲) و آقایی دانشور و خانجانی (۱۳۸۶) مطابقت دارد. بررسی دقیق‌تر نشان می‌دهد که کارایی و دقت مدل در برآورد دبی اوج سیلاب‌ها، در وقایع سیلابی بزرگ‌تر، بیشتر از وقایع سیلابی کوچک می‌باشد بطوریکه در رویداد ۱۳۹۶/۵/۲۰ درصد خطا در دبی اوج برابر ۰/۵۷ می‌باشد در حالیکه در رویداد ۱۳۹۲/۱۲/۲۲ میزان خطای دبی اوج به رقم ۱۶ درصد نیز می رسد.

متوسط خطای حجم جریان در مرحله واسنجی برابر ۴۵/۱۱ درصد و در مرحله اعتبارسنجی ۳۷/۵ درصد می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله کارایی مدل در برآورد مقادیر حجم جریان بسیار ضعیف و غیر قابل قبول می‌باشد، که با نتایج ملائی‌فر (۱۳۹۲)، مطابقت دارد. در اکثر سیلاب‌ها مقادیر حجم سیلاب‌های محاسبه‌ای خیلی کمتر از مشاهداتی بوده است. با توجه به اینکه کاربری اراضی غالب حوضه آبخیز قورچای رامیان پوشش جنگلی می باشد جریان زیرقشری بخش زیادی از حجم جریان خروجی را تشکیل می دهد (جاویدان و بهره مند، ۱۳۹۴)، در حالیکه در مدل KINEROS2 این مولفه از جریان مورد محاسبه قرار نمی گیرد و تمرکز اصلی مدل بر شبیه سازی نفوذ و روندیابی جریان سطحی است. مطالعات پیشین شبیه سازی هیدرولوژیکی در حوضه های آبخیز مجاور نشان داده است که جریان زیرقشری بخش قابل توجهی از جریان خروجی آنها را تشکیل می دهد (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ کمانگر، ۱۳۹۱ و جاویدان و بهره مند، ۱۳۹۴).

ج - برآورد دبی سیلاب در هریک از زیر حوضه‌ها و کانال‌ها و شناسایی زیر حوضه‌های بحرانی و سیل‌خیز

با استفاده از مدل KINEROS2، می‌توان مقادیر دبی اوج را در هر یک از سطوح جریان و نیز کانال‌ها برای هر یک از رویدادها برآورد نمود. با توجه به اینکه مقادیر بارش – رواناب رخدادهای مورد مطالعه تفاوت زیادی داشتند بمنظور فراهم سازی امکان مقایسه و تلفیق نتایج این شش رخداد، استاندارد سازی مقادیر دبی اوج جریان در سطوح جریان بر مبنای صفر تا یک انجام گردید و نقشه تلفیقی مقایسه نسبی مقدار جریان در سطوح مختلف تهیه شد. شکل ۱۶، مقادیر نسبی دبی اوج سیلاب را در هر یک از سطوح و کانال‌ها برای میانگین تمام رگبارها نشان می‌دهد.

نقشه خروجی عمق رواناب شبیه سازی شده نشان می دهد که مناطق مختلف حوضه آبخیز دارای پتانسیل متفاوت سیلخیزی می باشند. بطوریکه بخش های میانی حوضه که در آنجا تغییرات کاربری اراضی گسترده ای از جنگل به اراضی زراعی شیبدار صورت گرفته است و بدلیل واقع شدن در اطراف مناطق مسکونی، پوشش جنگلی آنها تخریب یافته و تنک شده اند دارای خطر سیلخیزی بالا می باشند و بخش بالادست حوضه آبخیز علیرغم شیب زیاد پتانسیل سیلخیزی کمی دارد. میرزایی و همکاران (۱۳۹۷) در مدلسازی جریان در حوضه آبخیز عموقین استان اردبیل نشان دادند که سهم زیرحوضه های مختلف در سیلخیزی حوضه آبخیز فقط تابعی از مساحت آن نبوده بلکه عواملی همچون فیزیوگرافی، کاربری اراضی و موقعیت مکانی زیرحوضه ها در پتانسیل سیلخیزی موثر است. همتنطور که در شکل ۱۱ مشاهده می شود کمتر از ۲۰ درصد پهنه حوضه آبخیز قورچای رامیان دارای سیلخیزی بالا می باشد.


55°E
55°5'E
55°10'E
55°15'E
37°N
36°55'N
36°50'N
N
دبی اوج کانال
۰.۰۰۶۲۵۹ – ۰.۰۶۱۷۳۳
۰.۰۶۱۷۳۴ – ۰.۱۶۴۵۱۸
۰.۱۶۴۵۱۹ – ۰.۳۵۸۳۶۷
۰.۳۵۸۳۶۸ – ۰.۷۰۸۷۵۱
۰.۷۰۸۷۵۲ – ۰.۹۶۶۹۸۶
دبی اوج سطوح جریان
۰.۰۰۰۷۵۷ – ۰.۱۶۳۳۹۵
۰.۱۶۳۳۹۶ – ۰.۳۲۶۰۳۲
۰.۳۲۶۰۳۳ – ۰.۴۸۸۶۷۰
۰.۴۸۸۶۷۱ – ۰.۶۵۱۳۰۷
۰.۶۵۱۳۰۸ – ۰.۸۱۳۹۴۵
0 1 2 4 6 8
km

شکل ۱۱: نمایش میانگین دبی اوج نسبی سیلاب شش رویداد برای کانال‌ها و سطوح جریان

نتیجه گیری

شبیه‌سازی بارش رواناب فرآیند پیچیده‌ای است که عامل‌های زیادی در آن دخیل هستند. لذا پژوهشگران بنا به تجربیات و اهداف ، تعدادی از عامل‌های فرآیند بارش - رواناب را به عنوان عامل‌های اصلی در مدل‌سازی دخالت داده و برخی نیز تعدادی از عامل‌های کم اهمیت تر را نادیده گرفته یا حذف می‌کنند. مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز عموماً به دو گروه یکپارچه و توزیعی تقسیم می‌شوند. به علت تفاوت مدل‌های هیدرولوژیکی در استفاده از داده‌ها و روش‌های مختلف برای شبیه‌سازی جریان، شناسایی مدلی کارآمد که با توجه به اینکه بیشتر حوضه‌های آبخیز کشور فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی هستند، بتواند شبیه‌سازی را با حداقل داده‌های ورودی، در کوتاه‌ترین زمان و با کمترین هزینه به طور مطلوب انجام دهد، امری ضروری است

(رضازاده و همکاران، ۱۳۹۴). مدل KINEROS2، یکی از مدلهای هیدرولوژیکی توزیعی رخداد محور و فرآیند محور است که مقادیر حجم و دبی رواناب حاصله را برای تمامی قطعات سطوح جریان و بازه‌های شبکه آبراهه هم به صورت مقادیر عددی متنی و هم به‌صورت گرافیکی و بصری ارائه می‌نماید. این ویژگی مدل کمک می‌کند تا زیر حوضه‌ها یا سطوح جریان را از نظر سیل‌خیزی مقایسه نمود و بدین طریق زیرحوضه‌ها یا پهنه های بحرانی را تشخیص داد. با توجه به محدودیت منابع (مالی و انسانی) و زمان از یک سو و مساحت، تنوع و پیچیدگی بالای حوضه های آبخیز از سوی دیگر، استفاده از مدل های هیدرولوژی بعنوان ابزاری که مناطق، متغیرها و عوامل تاثیر گذار بر سیلخیزی را پهنه بندی و اولویت بندی می نماید برای مدیریت آبخیزها ضروری است. در واقع شناسایی این پهنه های بحرانی به مدیران حوضه آبخیز کمک می کند که برنامه ریزی و اقدامات خویش را در راستای کنترل یا کاهش پتانسیل سیلخیزی در این پهنه ها متمرکز نمایند و اثربخشی اجرای اقدامات را بهبود دهند. در نهایت اگرچه مدل KINEROS2 حجم سیل وقایع سیلابی حوضه آبخیز قورچای رامیان را بخوبی شبیه سازی نکرده است اما در برآورد دبی اوج سیل و زمان تا اوج سیل عملکرد خوبی داشته است که در مدیریت سیل، طراحی سازه های هیدرولیکی و سامانه های هشدار سیل بسیار با اهمیت است.

تشکر و قدردانی: از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که با حمایت پشتیبانی و مالی زمینه انجام این تحقیق را فراهم نمود سپاسگزاری می گردد.

منابع

آقایی دانشور فرنوش، خانجانی محمدجواد (۱۳۸۴)، ساختار مدل KINEROS2 در برآورد مقدار رواناب و رسوب در حوضه آبریز، مجموعه مقالات دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت آب و خاک، اسفند ۱۳۸۴، کرمان، ص ۸۶.

آقایی دانشور فرنوش، خانجانی محمدجواد (۱۳۸۶)، پیش‌بینی و برآورد دبی سیلاب خروجی و بار رسوب در سطح حوزه آبریز چشمه عروس کرمان با اجرای مدل KINEROS2، از طریق ابزار AGWA. مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، بهمن ۱۳۸۶، کرمان، ص ۱۴۳.

اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان (۱۳۸۹)، مطالعات تفصیلی و اجرایی حوزه آبخیز رامیان، گزارش هیدرلوژی حوزه آبخیز رامیان، صفحه ۲۱-۴۰.

ایزدی سعیده، جعفرپور زین العابدین، قادری، حیدر (۱۳۹۰)، تجزیه و تحلیل ژئومورفولوژیکی سیل در حوضه انتهایی رود کر با تاکید بر مدیریت سیل، فصلنامه جغرافیا، دوره ۵، شماره ۱۶، صص ۹۶ – ۸۳ .

جاویدان نرگس، بهره مند عبدالرضا (۱۳۹۴)، تفکیک مؤلفه های جریان سیل توسط مدل هیدرولوژیکی- توزیعی WetSpa در حوزه آبخیز زیارت- گرگان، نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۵، صص ۲۴۶ – ۲۳۳.

سلمانی حسین، محسنی ساروی محسن، روحانی حامد، سلاجقه علی (۱۳۹۱)، ارزیابی تغییر کاربری و تأثیر آن روی رژیم هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز قزاقلی استان گلستان، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره ۳، شماره ۶، صص ۶۰ – ۴۳.

رضازاده محمدسهیل، گنجعلی خانی معین، ذونعمت کرمانی محمد (۱۳۹۴)، مقایسه عملکرد مدل هیدرولوزیکی نیمه توزیعی SWAT و مدل یکپارچه HEC-HMS در شبیه‌سازی دبی جریان (مطالعه موردی: حوضه آب بخشا)، اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۴، صص ۴۷۹- ۴۶۷.

کمانگر خسرو (۱۳۹۱)، اثر سناریوهای رگبار بر روی هیدروگراف سیل با استفاده از هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک (مطالعه موردی: جعفرآباد گرگان استان گلستان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۹۱ ص.

ملائی فر عیسی (۱۳۹۲)، ارزیابی کارایی مدل KINEROS2، برای شبیه‌سازی هیدرو گراف سیلاب حوزه آبخیز زیارت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، ۸۰ صفحه.

ملائی فر عیسی، شیخ واحدبردی، بهره مند عبدالرضا، فرامرزی حسن (۱۳۹۷)، ارزیابی کارآیی مدل KINEROS2 برای شبیه سازی هیدروگراف سیلاب (مطالعه موردی حوزه آبخیز زیارت)، فصلنامه اکوسیستم های طبیعی ایران، سال نهم، شماره ۳، صص ۵۴ – ۳۳

مزیدی احمد، کوشکی سمیرا (۱۳۹۴)، شبیه‌سازی بارش – رواناب و تخمین سیل در حوزه آبریز خرم آباد با مدل HEC-HMC، فصلنامه جغرافیا و توسعه، دوره ۱۳، شماره ۴۱، صص ۱۰-۱.

معماریان هادی، پوررضا بلندی محسن، کومه، زینت (۱۳۹۷)، بهینه سازی پارامترهای مدل KINEROS2 با استفاده از الگوریتم PSO برای شبیه سازی رخداد سیل (مطالعه موردی: حوزه تمر استان گلستان)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. دوره ۹، شماره ۱۸، صص ۱۱۰ - ۹۱
.

مهندسین مشاور ساز آب استان گلستان (۱۳۹۵)، مطالعات بازبینی و بررسی اثرات طرح جامع سیل و توسعه و تدوین برنامه بلند مدت سیل در استان گلستان، ۱۰۲ ص.

میرزایی شهناز، اسمعلی عوری اباذر، مصطفی زاده رئوف، قربانی اردوان، میرزایی سجاد (۱۳۹۷)، مدل سازی جریان و تعیین سهم مشارکت زیر حوزه ها در هیدروگراف سیل در حوزه آبخیز عموقین، استان اردبیل، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۸، صص ۱۰۸ – ۸۹.

ناصرآبادی فواد، اسمعلی عوری اباذر، اکبری حسین، رستمیان، رخساره (۱۳۹۲)، تحلیل حساسیت مدل SWAT در حوزه آبخیز قره‌سو اردبیل، مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۵، شماره ۴، صص ۲۶۵ – ۲۵۵.

نام‌آور بهاره (۱۳۹۰)، پیش‌بینی رواناب در حوضه آبریز کامه با اجرای مدل KINEROS2، از طریق ابزار AGWA-GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۸۵ ص.

Al-Qurashi, A., McIntyre, N., Wheater, H., & Unrich, C., (2008), Application of the KINEROS2 rainfall-runoff model to an arid catchment in Oman. Journal of Hydrology. 355, 91-105.

An, M., Han, Y., Xu, L., Wang, X., & Pang, D., (2019). KINEROS2-based simulation of total nitrogen loss on slopes under rainfall events. CATENA, 17, 13-21. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.01.039.

Feyereisen, G.W., Strickland, T.C., Bosch, D.D., & Sullivan, D.G., (2007), Evaluation of SWAT manual calibration and input parameter sensitivity in the little river watershed. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(3), 843-855.

Hantush, M., & Kalin, L., (2005), Uncertainty and sensitivity analysis of runoff and sediment yield in a small agricultural watershed with KINEROS2. Journal – des Science Hydrologiques, 50(6), 1151.

Jha, M.K., Gassman, P.W., & Arnold, J.G., (2007), Water quality modeling for the Raccoon River watershed, using SWAT. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(2), 479−49.

Korgaonkar, Y., Guertin, D. P., Goodrich, D. C., Unkrich, C., Kepner, W. G., & Burns, I. S., (2018). Modeling urban hydrology and green infrastructure using the AGWA urban tool and the KINEROS2 model. Frontiers in Built Environment, 4. Doi:10.3389/fbuil.2018.00058

Memarian, H., Balasundram, S.K., Talib, J.B., Sung, C.T.B., Sood, M.A., & Abbaspour, K.C., (2013), KINEROS2 application for land-use cover change impact analysis at the Hulu Langat Basin, Malaysia. Water and Environment Journal, 27, 549-560. https://doi.org/10.1111/wej.12002.

Parlange, J.Y., Lisle, I., Braddock, R.D., & Smith, R.E., (1982), The three-parameters infiltration equation. Soil Science. 133(6), 337-41.

Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., & Saxton, K.E., (1982), Estimation of soil water properties. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 25(5), 1316-1320.

Safari, A.R., Smedt, F., & Moreda, F., (2012), WetSpa model application in the Distributed Model Intercomparison Project (DMIP2). Journal of Hydrology, 418, 78-89.

Semmens, D.J., Goodrich, D.C., Unkrich, C.L., & Smith, R.E., (2004), KINEROS2 modeling framework, Agricultural Research Service, ARS-77, U.S. Dept. of Agriculture, Tucson, Arizona.

Sheikh, V., van Loon, E.E., Hessel, R., & Jetten, V., (2010), Sensitivity of LISEM predicted catchment discharge to initial soil moisture content of soil profile, Journal of Hydrology, 393,174 - 185

Smith, R.E., Goodrich, D.C., & Quinton, J., (1995), Dynamic, distributed simulation of watershed erosion: the KINEROS2 and EUROSEM models. Journal of Soil and Water Conservation. 50(5), 517-20.

Smith, R.E., Goodrich, D.C., & Unkrich, C. L., (1999), Simulation of selected events on the Clatsop catchment by KINEROS2. A report for the GCTE conference on catchment-scale erosion models. Catena, 37, 457-574.

White, K.L., & Chaubey, I., (2005), Sensitivity analysis, calibration, and validation for a malt sit and multivariable SWAT model. Journal of the American Water Resources Association, 41(5), 1077- 1089.

Woolhiser, D.A., Hanson, C.L., & Kuhlman, A.R., (1970), Overland flow on rangeland watersheds. Journal of Hydrology. 9(2), 336-56.

Zhang, X., Liao, C., Li, J., & Sun, Q., (2013), Fractional vegetation cover estimation in arid and semi-arid environments using HJ-1 satellite hyperspectral data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21, 506 – 512. DOI:10.1016/j.jag.2012.07.003c

Ziegler, A.D., Giambelluca, T.W., & Sutherland, R. A., (2001), Erosion prediction on unpaved mountain roads in northern Thailand. Validation of dynamic erodibility modeling using KINEROS2. Hydrological Processes, 15, 337-358.

Zouheira, I.A., Lajili, L., & Zairi, M., (2015), Rainfall-runoff modeling for predictive infiltration and recharge areas for water management in the semi-arid basin: a case study from Saadine watershed, Tunisia. Arabian Journal of Geosciences, 9(1), pp. 19. DOI:10.1007/s12517-015-2049-3.

Research Article

Assessment of the spatial distribution of flood generation hotspots in the Ramian’s Ghoorchay watershed using KINEROS2 model

Vahedberdi Sheikh[1*], Ali Ahmadi[2], Choogi Bayram Komaki[3]

1*. Associate Professor., Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
2. MSc Student, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
3. Assistant Professor, Arid Zone Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

Received: 06-10-2019 Final Revised: 17-04-2020 Accepted: 01-08-2020

Abstract

Considering the ability for spatial quantification of various hydrological components, the distributed modeling of rainfall-runoff processes across the watersheds plays a key role in terms of water resources management, river engineering, flood control, and storage facilities as well as simulation of different watershed management scenarios. To this end, the Kinematic Runoff and erosion model, KINEROS2, has been used to assess the spatial distribution of rainfall-runoff processes components for the identification of surface runoff and flood generation hotspots across the Ramian’s Goorchay watershed with an area of about 254 km2 in the east of the Golestan Province. For evaluation of the model performance, 6 recorded rainfall-runoff events in the watershed were selected and divided into two sets of 3 events. The first set was used to run and calibrate the model and the second set was used to validate the model results. The mainland use types of the watershed are the Hyrcanian lush forest and rainfed agriculture on sloping lands. The rainfall-runoff simulations were carried out on an hourly basis. The results of the performance evaluation of the model indicated that the KINEROS2 model is good enough at simulating the hydrological components of peak discharge and time to peak of flood hydrographs. However, it rarely performs well at simulating flood volume. The spatially distributed simulated map of surface runoff depth shows that various locations of the watershed have different flood generation potential. Whereas, the middle section of the watershed, where extensive land use change from forest to agriculture has occurred, shows high flood generation hazard potential, while the upstream section of the watershed displays lower flood generation potential despite having steep slopes.

Keywords: Flood generation hazard zonation, Rainfall-runoff simulation, Hydrological model, Flood hydrograph, Land use.

---

[*] Corresponding Author Email: sheikh@gau.ac.ir

References

References (in Persian)

Aghaey Daneshvar, F., & Khanjani, M.J., (2005), KINEROS2 model structure for estimation of runoff and sediment in a river basin. Proceedings of 2nd National Conference on Watershed Management and Soil and Water Management, March 2006, Kerman, Iran, p. 8. [In Persian]

Aghaey Daneshvar, F., & Khanjani, M.J., (2007), Prediction and estimation of peak discharge and sediment load across the Kerman's Cheshmeh-Aroos watershed applying KINEROS2 model within AGWA tool, Proceedings of 9th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction, February 2007, Kerman, Iran, p.143. [In Persian]

Golestan Natural Resources and Watershed Management Directorate, (2010), Detailed Watershed Management Plan for Ramian watershed, Hydrology Report, pp.21- 40. [In Persian]

Golestan Province Sazab Consulting Engineers, (2016), A review and survey on effects of Integrated Flood Plan and development of long term flood management in Golestan Province, pp.102. [In Persian]

Izadi, S., Jafarpour, Z., & Qaderi, H., (2011), Geomorphological analysis of flood in downstream of Kor river with emphasis on flood management. Geography, 5(16), pp.83 -96. [In Persian]

Javidan, N., & Bahremand, A., (2016), Separate components of the flood flow using the distributed hydrological WetSpa model in Ziarat-Gorgan watershed, J. of Water and Soil Conservation, 22(5), pp. 233 – 246. [In Persian]

Kamangar, K., (2012), Effect of rainfall scenarios on flood hydrograph using Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph (Case study: Jafar-Abad watershed, Gorga, Golestan Province). MSc thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 91 p. [In Persian]

Namavar, B., (2011), Runoff prediction in the Kameh watershed applying KINEROS2 model using AGWA-GIS tool. MSc. Thesis in Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, 85 p. [In Persian]

Naserabadi, F., Esmali Ouri, A., Akbari, H., & Rostamian, R., (2014), A sensitivity analysis of SWAT model in Ghareh Su watershed, Ardabil, Watershed Engineering and Management, 5(4), pp.255 – 265. [In Persian]

Mazidi, A., & Kooshki, S., (2015), Simulation of Rainfall-Runoff Process and Estimate of Flood with HEC-HMSModel in Khorramabad Catchment Area, Geography and Development, 13(41), pp. 1 – 10. [In Persian]

Memarian, H., Pourreza Bilondi, M., & Koumeh, Z., (2018). Parameters optimization of KINEROS using Particle Swarm Optimization algorithm for single event rainfall-runoff simulation (Case study: Tamar watershed, Golestan, Iran), Journal of Watershed Management Research, 10(18), 91-110. [In Persian]

Mirzaei, S., Esmali Ouri, A., Mostafazadeh, R., Ghorbani, A., & Mirzaei, S., (2019), Flow modeling and determination of sub-watersheds contribution in flood hydrograph in Amoughin watershed, Ardabil province, Journal of Natural Environmental Hazards, 7(18), pp. 89 – 108. [In Persian]

Mollaeifar, I., (2013), Performance evaluation of the KINEROS2 model for simulation of flood hydrograph in the Ziarat watershed. MSc. Thesis in Watershed Management Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, 80 p. [In Persian]

Mollaeifar, I., Sheikh, V.B., Bahremand, A.R., & Faramarzi, H., (2018). Performance evaluation of the KINEROS2 model for simulation of flood hydrograph (Case study: the Ziarat watershed), Journal of Natural Ecosystems of Iran, 9(3), 33- 54. [In Persian]

Rezazadeh, M.S., Ganjalikhan, M., & Zounemat-Kermani, M., (2015), Comparing the performance of semi-distributed SWAT and lumped HEC-HMS hydrological models in simulating river discharge (Case study: Ab-Bakhsha Watershed), Ecohydrology, 2(4), pp. 467 – 479. [In Persian]

Salmani, H., Mohseni Saravi, M., Rouhani, H., & Salajeghe, A., (2012), Evaluation of Land Use Change and its Impact on the Hydrological Process in the Ghazaghli Watershed, Golestan Province, Watershed Management Research, 3(6), 43 – 60. [In Persian]

References (in English)

Al-Qurashi, A., McIntyre, N., Wheater, H., & Unrich, C., (2008), Application of the KINEROS2 rainfall-runoff model to an arid catchment in Oman. Journal of Hydrology. 355, 91-105.

An, M., Han, Y., Xu, L., Wang, X., & Pang, D., (2019). KINEROS2-based simulation of total nitrogen loss on slopes under rainfall events. CATENA, 17, 13-21. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.01.039.

Feyereisen, G.W., Strickland, T.C., Bosch, D.D., & Sullivan, D.G., (2007), Evaluation of SWAT manual calibration and input parameter sensitivity in the little river watershed. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(3), 843-855.

Hantush, M., & Kalin, L., (2005), Uncertainty and sensitivity analysis of runoff and sediment yield in a small agricultural watershed with KINEROS2. Journal – des Science Hydrologiques, 50(6), 1151.

Jha, M.K., Gassman, P.W., & Arnold, J.G., (2007), Water quality modeling for the Raccoon River watershed, using SWAT. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(2), 479−49.

Korgaonkar, Y., Guertin, D. P., Goodrich, D. C., Unkrich, C., Kepner, W. G., & Burns, I. S., (2018). Modeling urban hydrology and green infrastructure using the AGWA urban tool and the KINEROS2 model. Frontiers in Built Environment, 4. Doi:10.3389/fbuil.2018.00058

Memarian, H., Balasundram, S.K., Talib, J.B., Sung, C.T.B., Sood, M.A., & Abbaspour, K.C., (2013), KINEROS2 application for land-use cover change impact analysis at the Hulu Langat Basin, Malaysia. Water and Environment Journal, 27, 549-560. https://doi.org/10.1111/wej.12002.

Parlange, J.Y., Lisle, I., Braddock, R.D., & Smith, R.E., (1982), The three-parameters infiltration equation. Soil Science. 133(6), 337-41.

Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., & Saxton, K.E., (1982), Estimation of soil water properties. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 25(5), 1316-1320.

Safari, A.R., Smedt, F., & Moreda, F., (2012), WetSpa model application in the Distributed Model Intercomparison Project (DMIP2). Journal of Hydrology, 418, 78-89.

Semmens, D.J., Goodrich, D.C., Unkrich, C.L., & Smith, R.E., (2004), KINEROS2 modeling framework, Agricultural Research Service, ARS-77, U.S. Dept. of Agriculture, Tucson, Arizona.

Sheikh, V., van Loon, E.E., Hessel, R., & Jetten, V., (2010), Sensitivity of LISEM predicted catchment discharge to initial soil moisture content of soil profile, Journal of Hydrology, 393,174 - 185

Smith, R.E., Goodrich, D.C., & Quinton, J., (1995), Dynamic, distributed simulation of watershed erosion: the KINEROS2 and EUROSEM models. Journal of Soil and Water Conservation. 50(5), 517-20.

Smith, R.E., Goodrich, D.C., & Unkrich, C. L., (1999), Simulation of selected events on the Clatsop catchment by KINEROS2. A report for the GCTE conference on catchment-scale erosion models. Catena, 37, 457-574.

White, K.L., & Chaubey, I., (2005), Sensitivity analysis, calibration, and validation for a malt sit and multivariable SWAT model. Journal of the American Water Resources Association, 41(5), 1077- 1089.

Woolhiser, D.A., Hanson, C.L., & Kuhlman, A.R., (1970), Overland flow on rangeland watersheds. Journal of Hydrology. 9(2), 336-56.

Zhang, X., Liao, C., Li, J., & Sun, Q., (2013), Fractional vegetation cover estimation in arid and semi-arid environments using HJ-1 satellite hyperspectral data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21, 506 – 512. DOI:10.1016/j.jag.2012.07.003c

Ziegler, A.D., Giambelluca, T.W., & Sutherland, R. A., (2001), Erosion prediction on unpaved mountain roads in northern Thailand. Validation of dynamic erodibility modeling using KINEROS2. Hydrological Processes, 15, 337-358.

Zouheira, I.A., Lajili, L., & Zairi, M., (2015), Rainfall-runoff modeling for predictive infiltration and recharge areas for water management in the semi-arid basin: a case study from Saadine watershed, Tunisia. Arabian Journal of Geosciences, 9(1), pp. 19. DOI:10.1007/s12517-015-2049-3.