

ارزیابی کارایی مدل KINEROS2 برای شبیه سازی هیدروگراف سیلاب (مطالعه موردی حوزه آبخیز زیارت)

عیسی ملائی فر*، واحد بردی شیخ، عبدالرضا بهره مند، حسن فرامرزی^۴

تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۸

چکیده

مدل KINEROS2، یک مدل هیدرولوژیکی توزیعی فرسایش- رواناب و از نوع فیزیکی بوده که در سازمان کشاورزی امریکا و سرویس تحقیقات کشاورزی جهت تشریح فرآیندهای برگاب، نفوذ، رواناب سطحی و فرسایش حوزه آبخیز پایه گذاری شده است. داده های اصلی مورد نیاز مدل شامل نقشه های DEM، کاربری اراضی و داده های بارش بوده و قابلیت شبیه سازی هیدروگراف های سیلاب با گام زمانی دقیقه را دارد. برای ارزیابی کارایی مدل، تعداد ۸ واقعه سیلاب و بارش متناظر حوزه آبخیز زیارت انتخاب و به دو دسته ۴ تایی تقسیم، که از دسته اول جهت اجرا و واسنجی و از دسته دوم جهت اعتبارسنجی مدل استفاده گردید. جهت انجام واسنجی از روش دستی و از روش یک پارامتر در هر بار جهت بررسی آنالیز حساسیت پارامترها استفاده گردید. پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، ضریب مانینگ، میانگین حرکت موینگی، ظرفیت برگاب مورد واسنجی قرار گرفتند. به منظور ارزیابی کارایی مدل در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از شاخص های ضریب ناش- ساتکلیف، درصد خطا در دبی اوج، معیار جمعی، ضریب تبیین و ضریب تبیین وزنی استفاده گردید. که برای دوره واسنجی متوسط ضریب ناش- ساتکلیف ۰/۶۶۵ و برای مرحله اعتبارسنجی ۰/۷۹۷ به دست آمد. نتایج ارزیابی مدل در محدوده مورد مطالعه نشان داد که مدل KINEROS2 مولفه های هیدرولوژیکی را با دقت قابل قبول برآورد می نماید.

واژه های کلیدی: سیل، مدل KINEROS2، حوزه آبخیز.

-
- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گروه آبخیزداری، گرگان، ایران.
* نویسنده مسئول: Email: Mollaefar.issa@gmail.com
 - ۲- دانشیار دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
 - ۳- دانشیار دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
 - ۴- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

مقدمه

شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب در حوزه آبخیز از نظر درک بهتر مسائل هیدرولوژیکی، مدیریت منابع آب، مهندسی رودخانه، طراحی سازه‌های کنترل سیل و ذخیره سیلاب اهمیت ویژه‌ای دارد. در این راستا مدل‌های بسیاری جهت شبیه‌سازی فرآیندهای حوزه آبخیز وجود دارد که مدل‌های توزیعی از آن جمله می‌باشند. امروزه برآورد بارش- رواناب با مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی و با استفاده از تکنیک سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌صورت گسترده امکان‌پذیر است (۳۳). مدل‌های هیدرولوژیکی بارش- رواناب برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل از ابزارهای مناسب در مدیریت بهتر سیلاب به‌ویژه در مناطق فاقد آمار است (۱۸). مدل KINEROS2 یک مدل هیدرولوژیکی، جهت شبیه‌سازی میزان فرسایش و روندیابی رواناب سطحی است. این مدل در سال ۱۹۶۰، در سازمان کشاورزی امریکا، مرکز تحقیقات جنوب شرق و سرویس تحقیقات کشاورزی پایه‌گذاری شد (۳۱).

در مطالعه‌ای ولهیزر و همکاران، با استفاده از مقادیر آزمایشگاهی، مدل را اصلاح و برآورد میزان فرسایش حاصل از رواناب سطحی و انتقال رسوب را نیز به آن افزودند و آن را با عنوان KINEROS، منتشر کردند (۳۲). الگوریتم نفوذ مدل KINEROS، بر اساس معادلات نفوذ پارلانژ، تعیین شد (۲۳). اسمیت و همکاران، از معادلات نفوذ اسمیت و پارلانژ،

در این مدل استفاده نمودند (۲۸). با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری، نسخه جدید این مدل در سال ۲۰۰۲، با عنوان KINEROS2 ارائه شد. در مطالعه‌ای آقایانی دانشور و همکاران، با اجرای مدل KINEROS2، در حوزه آبخیز چشمه عروس کرمان مقادیر دبی سیلاب‌ها و رسوب انتقالی حاصل از بارش یک ساعته با دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰ سال را برآورد نمودند. دقت مدل در برآورد دبی سیلاب‌ها به‌طور متوسط ۹۳ درصد برآورد گردید (۲). در تحقیقی با عنوان، تلفیق ارزیابی محیط و مدل‌سازی هیدرولوژیکی برای آنالیز تغییر پوشش زمین توسط میلر و همکاران، از مدل KINEROS2، برای بررسی تغییر واکنش هیدرولوژیکی حوزه آبخیز استفاده نمودند. بررسی نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که اختلاف هیدروگراف‌ها در وقایع سیلابی کوچک‌تر، بیشتر از وقایع سیلابی بزرگ‌تر است. بدین صورت که شدت واکنش هیدرولوژیکی حوزه آبخیز در اثر تغییرات آبخیز به‌ویژه پوشش زمین، برای وقایع سیلابی کوچک‌تر شدیدتر از وقایع سیلابی بزرگ‌تر می‌باشد (۲۰). تاج‌بخش و همکاران، در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی کارایی مدل KINEROS برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوزه‌های نیمه‌خشک در حوزه آبخیز بار واقع در استان خراسان رضوی نشان دادند که مدل توانایی قابل قبول در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی

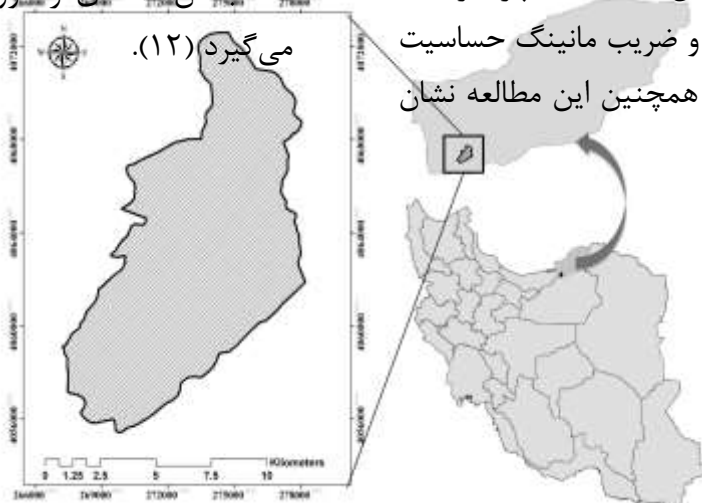
لانگات با بارش متوسط ۲۴۵۳ میلی متر در مالزی توسط معماریان و همکاران، طی مطالعه‌ای با عنوان آنالیز هیدرولوژیکی داد که مدل حساسیت کمتری نسبت به شرایط پیشین رطوبت خاک دارد (۳).

مواد و روش‌ها

مشخصات و موقعیت منطقه مورد مطالعه

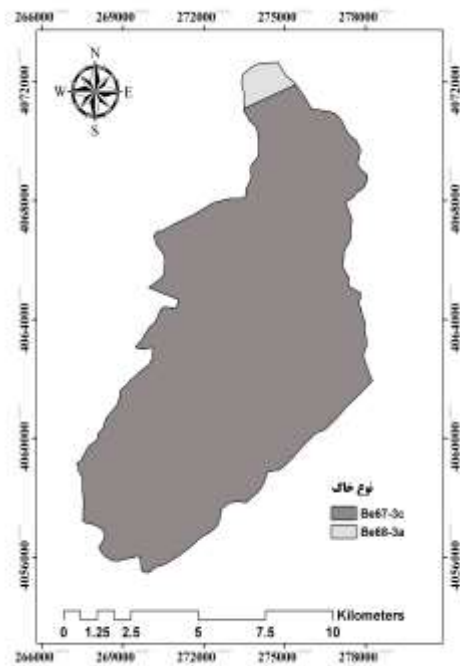
حوزه آبخیز زیارت با مساحت ۹۵/۱۵ کیلومترمربع در شهرستان گرگان استان گلستان و بین مختصات ۵۴ درجه، ۲۳ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۵۴ درجه، ۳۱ دقیقه و ۱۱ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه و ۲۲ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است. بلندترین ارتفاعات مربوط به جنوبی‌ترین بخش حوزه با ارتفاع ۳۰۲۰ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه مربوط به بخش شمالی و خروجی حوزه با ارتفاع ۵۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. همچنین از نظر دسته‌بندی هیدرولوژیکی، خاک بخش عمده‌ای از حوزه در گروه C قرار

حوزه مورد مطالعه را دارد (۲۹). کارایی مدل KINEROS2، در حوزه گرمسیری و توسعه یافته هالو لانگات واقع در حوزه رودخانه حوزه‌های آبخیز مناطق گرمسیری با استفاده از مدل KINEROS2، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای واسنجی مدل از سه واقعه با شدت و مدت‌های متفاوت و جهت اعتبارسنجی مدل نیز از دو واقعه بارش استفاده شد نتایج واسنجی تطابق خیلی خوب برای رواناب و رسوب شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان دادند (۱۹). اعتبارسنجی مدل KINEROS2، توسط زیگلر، نشان داد که این مدل برای پیش‌بینی هیدروگراف دبی در قطعات اراضی کوچک مقیاس و در شیب‌های مختلف و خاک با شرایط مرطوب می‌تواند قابل اعتماد باشد (۳۵). القریشی و همکاران، با اجرای مدل KINEROS2 در حوزه‌های مناطق خشک عمان و انجام آنالیز حساسیت تقریباً برای تمام پارامترهای مدل نشان دادند که پارامترهای هدایت هیدرولیکی و ضریب مانینگ حساسیت قابل توجهی دارند. همچنین این مطالعه نشان



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز زیارت در استان و کشور

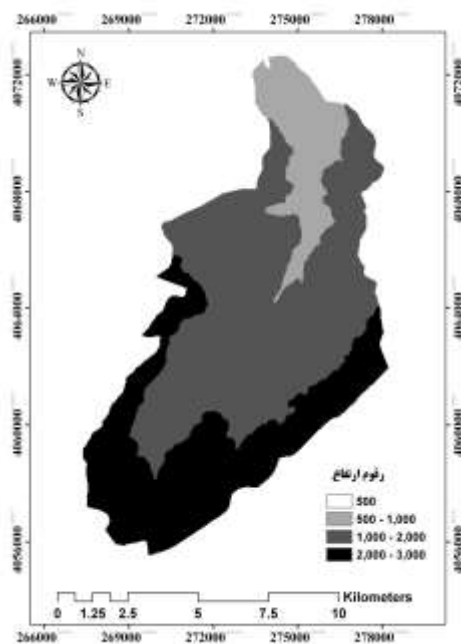
USDA SURRGO, STATSGO و یا FAO می‌باشد. لذا با توجه به اینکه دو نقشه اول برای محدوده مورد مطالعه وجود ندارد ناگزیر از نقشه خاک با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰۰ ارائه شده توسط FAO، استفاده شد (شکل ۳). با توجه به این نقشه مشخص گردید که حوزه مورد مطالعه شامل دو نوع خاک Be67-3c و Be66-3a می‌باشد. مشخصات هر دو خاک به شرح جدول ۱، ارائه شده است.



شکل ۳. نقشه خاک حوزه آبخیز زیارت

خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز زیارت

با استفاده از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ موجود در محیط نرم‌افزار ArcGIS، مرز هیدرولوژیکی حوزه آبخیز با توجه به موقعیت ایستگاه هیدرومتری نهارخوران در خروجی حوزه تعیین و شبکه آبراهه‌های حوزه استخراج گردید.



شکل ۲. نقشه مدل رقومی ارتفاع حوزه آبخیز زیارت

خاکشناسی

جدول ۱. مشخصات خاک‌های Be66- و Be67-3c و Be66-3a

نام خاک	نوع خاک	بافت خاک	شیب منطقه
			خاک

داده‌های خاکشناسی قابل استفاده در مدل KINEROS2، شامل نقشه خاک USDA

زیاد (بیش از ۳۰٪)	ریزدانه	Eutric Cambisols	Be67-3c
کم (کمتر از ۸٪)	ریزدانه	Eutric Cambisols	Be68-3a

معرفی و تشریح مدل KINEROS

در مدل KINEROS، مراحل از چرخه 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 هر یک از اجزاء، به طور یکنواخت و در هر جزء متفاوت در نظر گرفته شده و تغییرات مکانی و زمانی بارندگی

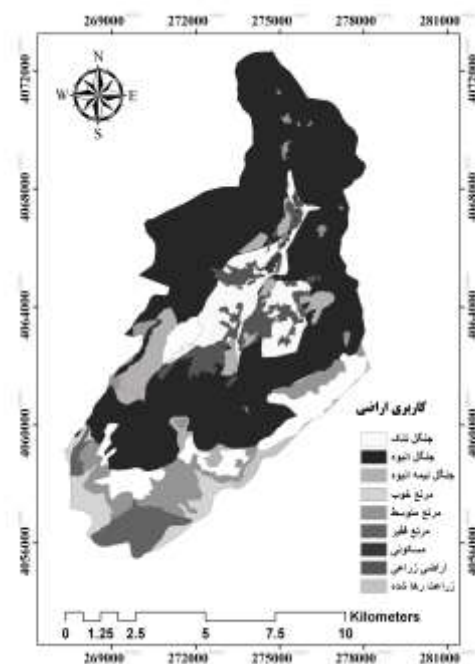


به وسیله انترپولاسیون بین چند ایستگاه اعمال می‌شود. اثر گیرش به وسیله دو پارامتر عمق گیرش و درصد پوشش گیاهی، دز این سطوح جانبی مدل کنترل می‌شود (۲، گانال‌ها

خروجی

کاربری اراضی

نقشه کاربری اراضی منطقه توسط اداره کل



منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان تهیه شده است، که با وضعیت موجود کاربری حوزه انطباق داده، پس از تصحیح نقشه، نتایج بشرح شکل ۴، نقشه کاربری حوزه آبخیز زیارت ارائه گردید.

شکل ۴. نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز زیارت

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در داخل و اطراف حوزه آبخیز زیارت

ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع	مختصات عرض طول
آبگیر	باران‌سنجی	۹۵۰	۲۷۴۲۷۹
نهارخوران	باران‌سنجی	۵۰۰	۴۰۶۴۶۰۷
نهارخوران	هیدرومتری	۳۳۰	۲۷۴۶۶۶
زیارت	هیدرومتری	۹۰۰	۴۰۷۱۷۶۵
			۲۷۳۸۸۶
			۴۰۷۱۹۱۲

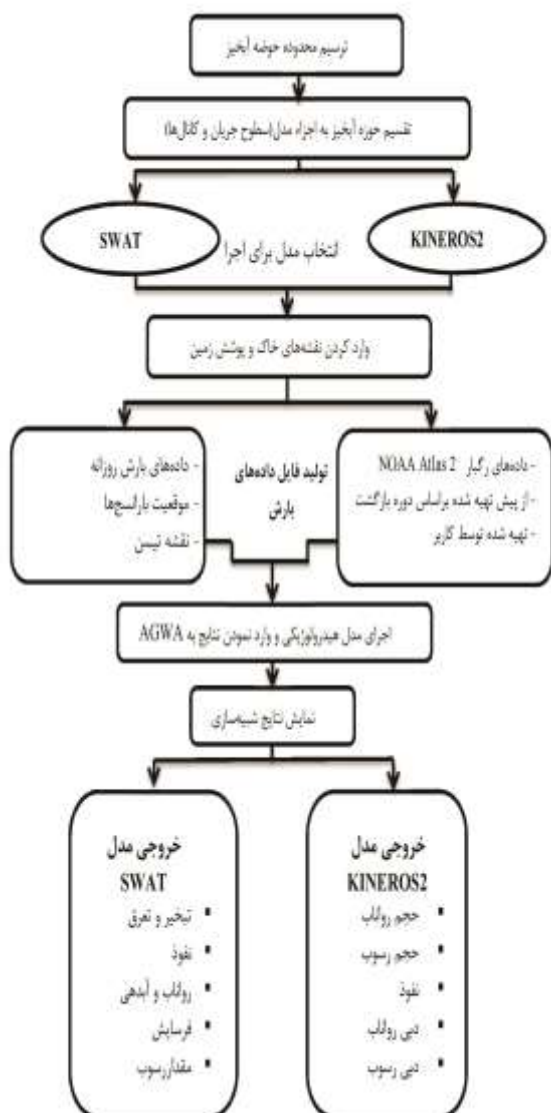
۱- ترسیم حوضه و تفکیک آن به اجزا مدل (سطوح جریان سطحی متشابه و شبکه کانال-ها).

۲- پارامتره کردن داده‌های خاک و داده‌های پوشش زمین.

۳- تهیه فایل ورودی بارش.

۴- وارد کردن فایل‌های ورودی و اجرای مدل

۵- نمایش نتایج (۲۷).



شکل ۵. شبیه‌سازی حوزه آبخیز به سطوح جریان سطحی همگن و شبکه کانال‌ها در مدل KINEROS2

معادلات مدل

معادله جریان بر اساس معادلات St-Venant با استفاده از تقریب موج سینماتیکی معادلات پیوستگی و مومنتم حاصل شده است. معادله جریان در دو حالت جریان سطحی و جریان در کانال‌ها بررسی می‌شود (۱، ۲، ۲۷).

پدیده نفوذ در مدل KINEROS2 از معادله نفوذ پارلانژ ۱۹۸۲، محاسبه شده است (۱ و ۲).

AGWA2

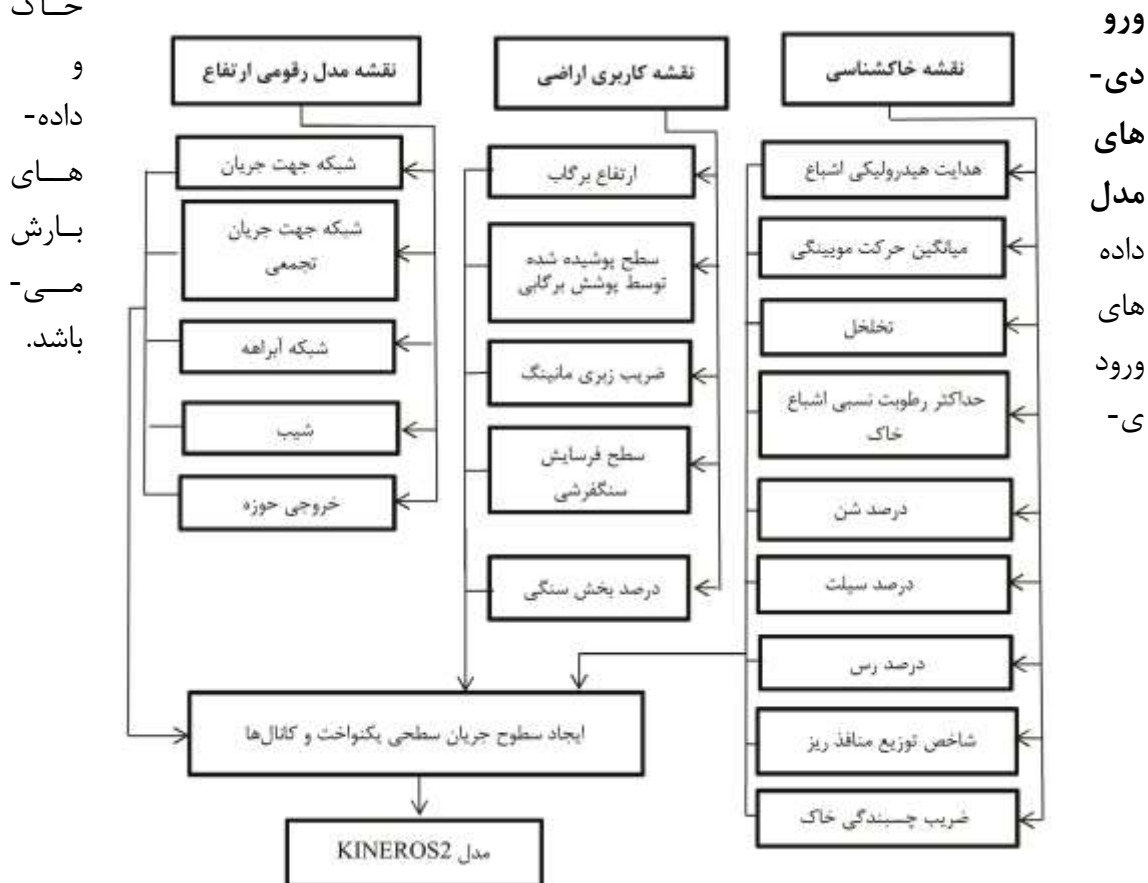
یک سیستم آنالیز چند منظوره برای مطالعه حوزه‌های آبخیز و یک برنامه الحاقی برای سیستم اطلاعات جغرافیایی است و قابل نصب بر روی نرم‌افزار ArcGIS، می‌باشد. این ابزار برای اجرای مدل‌های هیدرولوژیکی، با همکاری سرویس تحقیقات کشاورزی مرکز جنوب شرقی آمریکا، و نمایندگی حفاظت جهانی، تهیه و توسعه یافته است. نمایش نتایج مدل به صورت بصری و جدول توسط AGWA2، امکان شناسایی مناطق حساس و بحرانی را برای مدیران جهت برنامه‌ریزی و تمرکز فعالیت‌های مدیریتی فراهم می‌نماید (۱۹).

ابزار AGWA2، در پنج مرحله اصلی به شرح زیر اجرا می‌گردد:

شکل ۶. مراحل اجرای مدل KINEROS2 توسط

ابزار AGWA2

های در مدل KINEROS2، شامل نقشه مدل
رقومی ارتفاع، نقشه کاربری اراضی حوزه، نقشه
خاک



شکل ۷. مراحل تهیه نقشه های پارامترهای توزیعی مدل بر اساس سه نقشه پایه

جمع آوری آمار و اطلاعات سیل های مشاهده شده

به منظور شبیه سازی و واسنجی نمودن هیدروگراف سیل و ارزیابی دقت آن، نیاز به هیدروگراف سیل های مشاهده شده و هایتوگراف بارش متناظر آن ها در حوزه مورد مطالعه می باشد. بدین منظور آمار و اطلاعات موجود از ایستگاه های باران سنجی و هیدرومتری حوزه آبخیز زیارت جمع آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. هیدروگراف

وقایع سیلابی استخراج گردید، سپس داده های بارش متناظر هر یک از هیدروگراف های موجود از آمار ایستگاه های باران سنجی نهارخوران و زیارت استخراج گردید.

نتایج حاصل از بررسی آمار سیلاب ها تعداد ۸ رویداد جهت اجرای واسنجی و اعتبارسنجی مدل طبق جدول ۳ انتخاب شد.

جدول ۳. مشخصات وقایع انتخاب شده جهت اجرای واسنجی و اعتبارسنجی مدل

پارامتر	رویداد	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	زمان تا اوج (ساعت)	بارندگی ۵ روز قبل نهارخوران (میلی متر)	بارندگی ۵ روز قبل زیارت (میلی متر)	مقدار بارندگی ایستگاه زیارت (میلی متر)	مقدار بارندگی ایستگاه نهارخوران (میلی متر)
مرحله واسنجی	۸۸/۸/۱۶	۱/۵۱۲	۶	۲۶/۴۰	۲۴/۸۰	۱۹/۹۰	۲۴/۲۰
	۸۹/۴/۱	۲۳/۷	۳	۴/۲۰	۴/۸۰	۲۵/۰۰	۲۸/۳۰
	۹۰/۵/۱۹	۱/۴	۳	۲۴/۶۰	۶/۷۰	۲۲/۵۰	۳۰/۹۰
	۹۰/۶/۵	۲/۹۳۴	۵	۱۶/۲۰	۱۰/۶۰	۲۱/۹۰	۶۰/۵۰
مرحله اعتبارسنجی	۸۶/۳/۲۹	۲۳/۷۶	۲	۱۳/۹۰	۲/۵۰	۳۲/۳۰	۵۵/۲۰
	۸۶/۱۲/۴	۲/۶۱۲	۵/۳	۳/۸۰	۱۰/۳۰	۱۰/۲۰	۱۱/۴۰
	۹۰/۵/۱۹	۳/۰۹۱	۱	۲۴/۶۰	۶/۷۰	۲۲/۵۰	۳۰/۹۰
	۹۱/۶/۱۲	۱۰/۷۴	۲	۰	۰	۰	۷۰/۲۰

نتایج حاصل از آماده سازی نقشه های مراجعه ای برای نقشه پوشش شامل جنگل

کلاس	کاربری اراضی	گروه های هیدرولوژیکی				درصد پوشش	ظرفیت برگاب	ضریب مانینگ
		D	C	B	A			
۱	جنگل انبوه	۷۹	۷۳	۶۰	۳۶	۶۰	۱/۲۵	۰/۱۵
۲	جنگل نیمه انبوه	۸۰	۷۵	۶۴	۴۵	۴۰	۱/۱۵	۰/۰۷
۳	جنگل تنک	۸۳	۷۷	۶۸	۵۰	۲۵	۱	۰/۰۵
۴	مرتع خوب	۸۰	۷۷	۶۳	۳۹	۵۰	۲	۰/۱۵
۵	مرتع متوسط	۸۴	۷۹	۶۹	۵۵	۳۵	۱/۸۰	۰/۱۰
۶	مرتع ضعیف	۸۹	۸۶	۷۹	۶۸	۱۵	۱	۰/۰۵
۷	کشاورزی	۸۹	۸۵	۷۷	۶۶	۵۰	۲/۸۰	۰/۰۵
۸	مناطق مسکونی	۹۲	۸۵	۸۰	۷۰	۳۰	۰/۱۰	۰/۰۳۵

مقدماتی

انبوه، جنگل نیمه انبوه، جنگل تنک، مرتع خوب، مرتع متوسط، مرتع فقیر، کشاورزی و مناطق مسکونی تهیه گردید (جدول ۴)، پس از آن مقادیر اولیه پارامترها، با استفاده از داده های خاکشناسی و داده های پوشش زمین توسط ابزار AGWA2 محاسبه گردید (جدول ۵).

با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه های جهت جریان و شبکه جریان تجمعی تهیه گردید. سپس حوزه آبخیز به کمک ابزار AGWA2 در محیط ArcGIS، به اجزاء مدل شامل تعداد ۴۲ سطح جریان مشابه و ۱۷ کانال تفکیک گردید. در ادامه جدول

جدول ۴. مقادیر اولیه برخی پارامترها در جدول مراجعه ای

جدول ۵. مقادیر متوسط اولیه برخی از پارامترهای مدل

پارامتر	واحد	مقادیر متوسط
حداکثر رطوبت اشباع خاک	درصد	۸۵
تخلخل خاک	Cm^3/Cm^3	۰/۳۵
رس	درصد	۳۴
سیلت	درصد	۳۰
شن	درصد	۳۶

شکل ۸. نقشه شبکه جریان تجمعی

نتایج حاصل از اجرای مدل

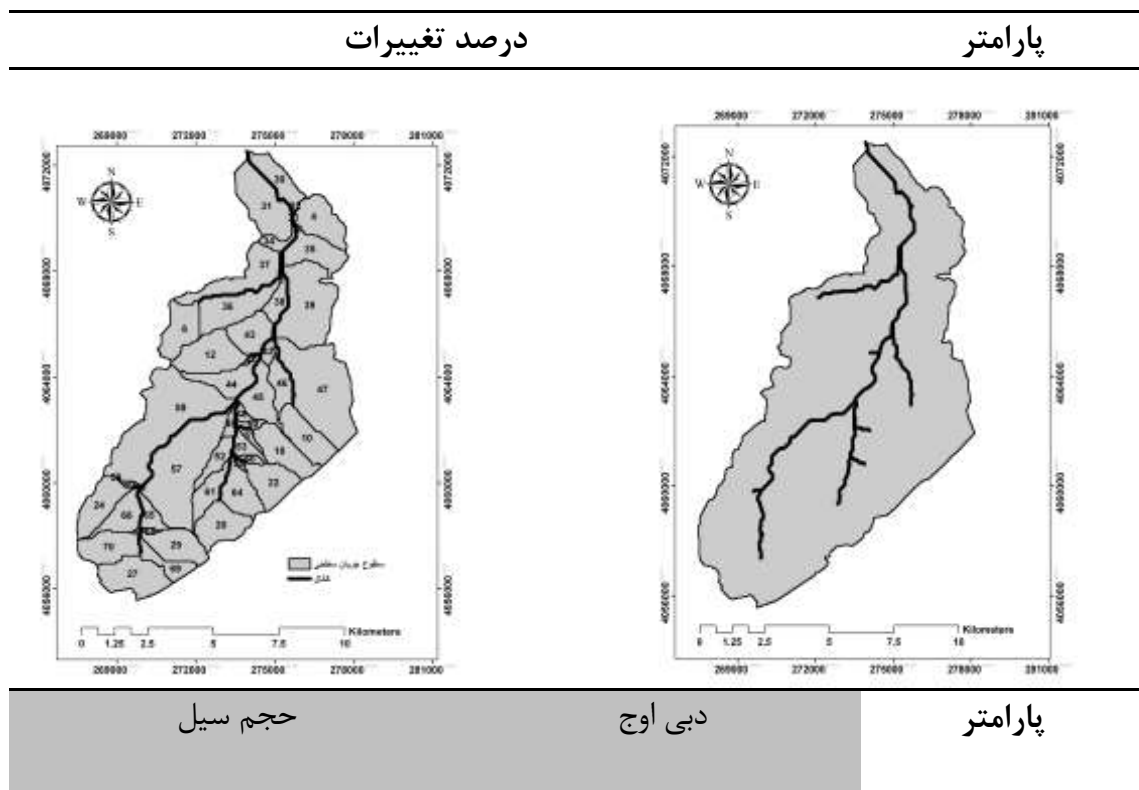
پس از تهیه نقشه‌های مقدماتی به کمک ابزار AGWA2، با استفاده از آمار لحظه‌ای بارش ثبت شده در ایستگاه‌های بارانسنجی نهارخوران و آبگیر زیارت، فایل ورودی بارش با فرمت pre، برای هر یک از رویدادها ایجاد شد. سپس مدل اجرا و رویدادهای دسته اول شبیه‌سازی و حساسیت مدل نسبت به هر یک از پارامترها مورد ارزیابی قرار گرفت.

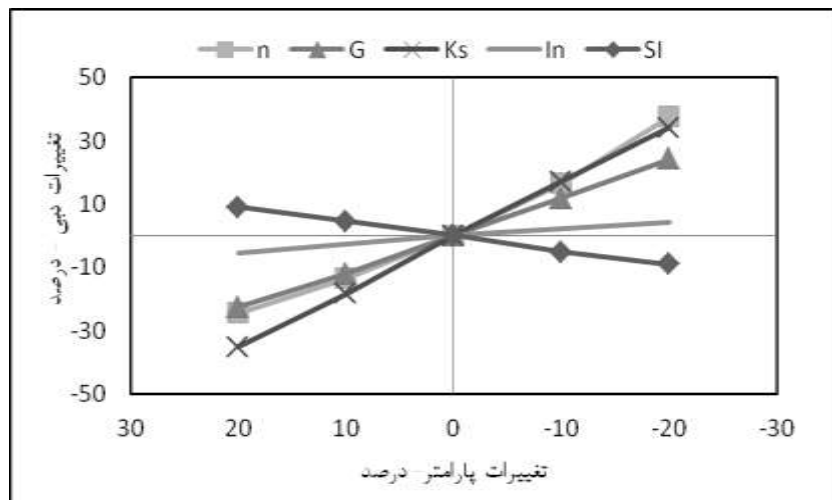
شکل ۹. تفکیک حوزه آبخیز زیارت به سطوح جریان سطحی و شبکه کانال‌ها

آنالیز حساسیت مدل

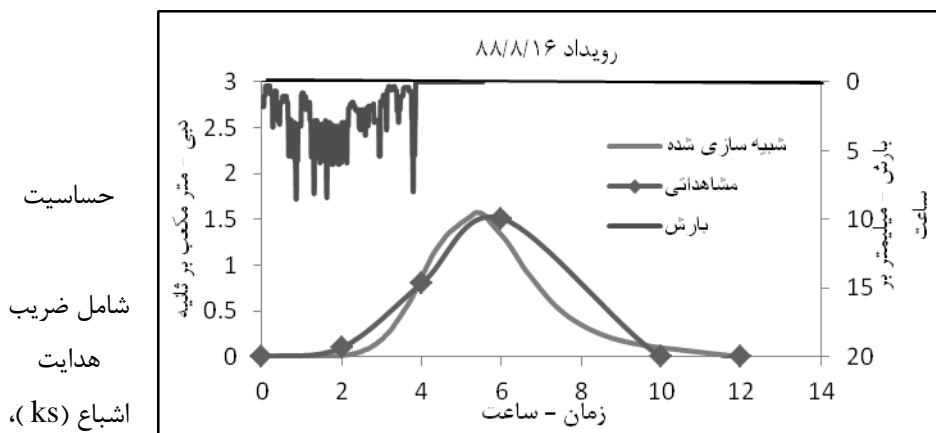
در این مطالعه پارامترهای ضریب مانینگ، هدایت هیدرولیکی اشباع، ظرفیت برگاب، میانگین حرکت موینگی و رطوبت اولیه خاک به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد مقدار اولیه کاهش و افزایش داده شدند و سپس حساسیت این پارامترها بر دبی اوج و حجم سیل بررسی گردید. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ و جدول ۶، نتایج آنالیز حساسیت را نشان می‌دهد.

جدول ۶. حساسیت پارامترهای مدل بر دبی اوج و حجم سیل



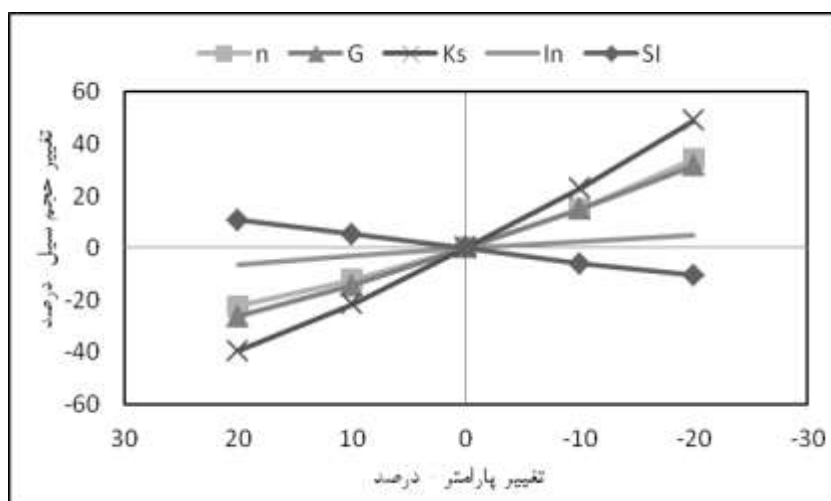


-۲۰	-۱۰	+۱۰	+۲۰	-۲۰	-۱۰	+۱۰	+۲۰	
۳۴/۰۱	۱۴/۹۸	-۱۲/۲۱	-۲۲/۲۳	۳۷/۵۸	۱۶/۵۹	۱۳/۵۲	-۲۴/۴۶	ضریب زبری مانینگ (n)
۳۱/۵۴	۱۴/۹۵	-۱۴/۴۷	-۲۶/۳۸	۲۴/۱۹	۱۱/۸۸	۱۲/۱۶	-۲۲/۷۰	میانگین حرکت موپینگی (G)
۴۸/۷۷	۲۲/۶۹	-۲۱/۶۴	-۳۹/۵۰	۳۴/۱۹	۱۷/۱۵	۱۸/۳۹	-۳۵/۱۲	هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks)
۴/۸۰	۲/۵۲	-۲/۹۹	-۶/۶۵	۴/۱۲	۲/۱۹	-۲/۶۷	-۵/۵۷	ظرفیت برگاب (In)
-۱۰/۴۰	-۵/۹۷	۵/۳۳	۱۰/۶۹	-۹/۰۶	-۵/۱۸	۴/۴۶	۸/۹۵	رطوبت اولیه (SI)



شکل ۱۰. پارامترهای مدل KINEROS2، مانینگ (n)، هدایت هیدرولیکی

ظرفیت برگاب (In)، میانگین حرکت موینگی (G) و رطوبت اولیه خاک (SI)، بر دبی اوج سیلاب



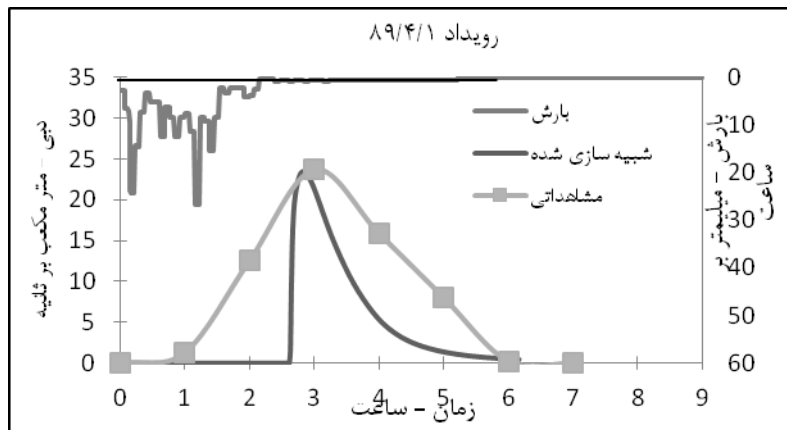
شکل ۱۱. حساسیت پارامترهای KINEROS2، شامل ضریب مانینگ (n)، هدایت هیدرولیکی اشباع (ks)، ظرفیت برگاب (In)، میانگین حرکت موینگی (G) و رطوبت اولیه خاک (SI)، بر حجم سیلاب

نتایج واسنجی مدل

ارائه شده توسط مدل)، بر اساس درصد تاج پوشش واسنجی و رویدادهای مرحله واسنجی توسط مدل شبیه‌سازی گردید. نتایج حاصله در شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ و جدول ۷ ارائه شده است.

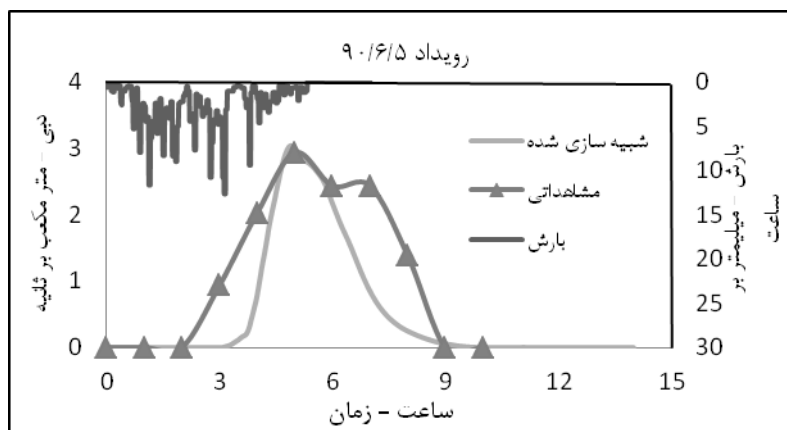
واسنجی مدل با استفاده از ۴ پارامتر شامل ضریب مانینگ، هدایت هیدرولیکی اشباع، ظرفیت برگاب و میانگین حرکت موینگی انجام شد. مقادیر اولیه پارامتر ظرفیت برگاب

شکل ۱۲. هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده رویداد ۸۸/۸/۱۶



هیدروگراف
شبیه‌سازی
۸۹/۴/۱

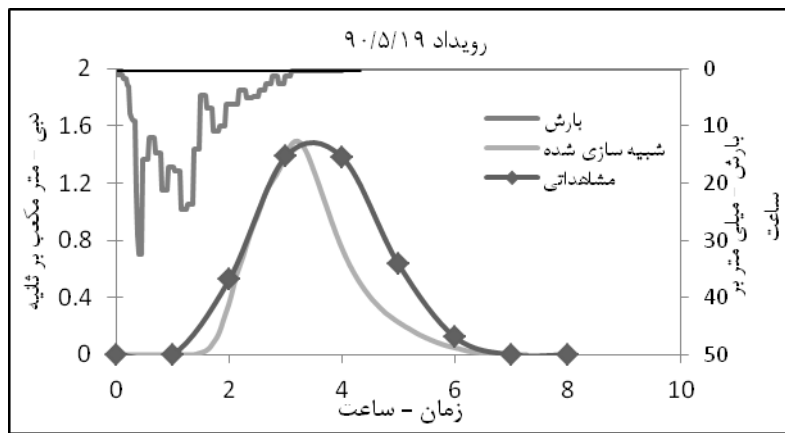
شکل ۱۳
مشاهداتی و
شده رویداد



هیدروگراف

شکل ۱۴

مشاهداتی و شبیه‌سازی شده رویداد ۹۰/۶/۵



هیدروگراف
شبیه‌سازی

شکل ۱۵.
مشاهداتی و

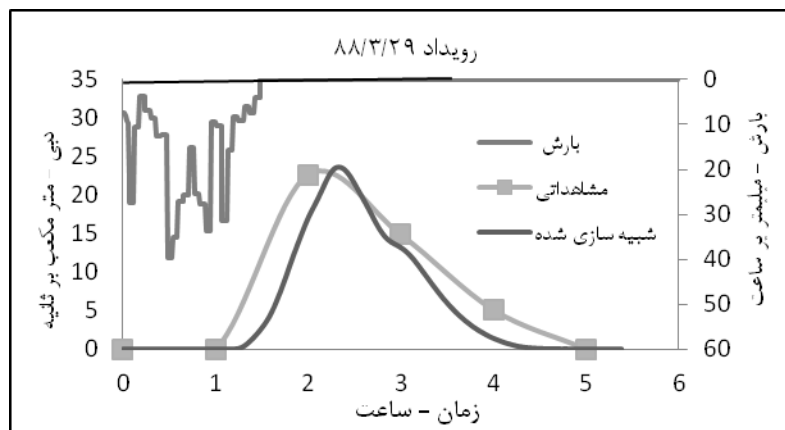
شده رویداد ۹۰/۵/۱۹

جدول ۷. نتایج واسنجی مدل KINEROS2 با رویدادهای مرحله واسنجی

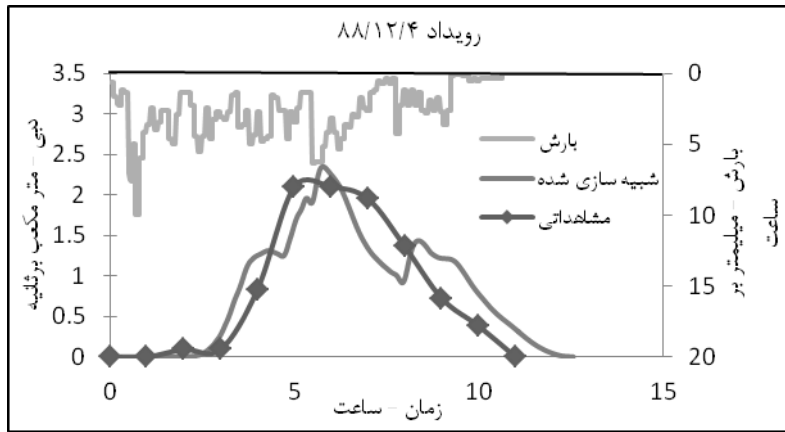
رویداد	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)		زمان تا اوج (ساعت)		حجم سیل (مترمکعب)	
	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده
۸۸/۸/۱۶	۱/۵۱۲	۱/۵۷۶	۶	۵/۳۸	۲۵۱۴۲	۱۹۰۰۴
۸۹/۴/۱	۲۳/۷	۲۳/۴۵۱	۳	۲/۸۳	۲۱۰۳۸۴	۸۹۵۹۶
۹۰/۵/۱۹	۱/۴	۱/۴۹۳	۳	۳/۲	۱۴۵۴۴	۱۰۰۷۱
۹۰/۶/۵	۲/۹۳۴	۳/۰۳۹	۵	۴/۹۰	۴۵۲۸۸	۲۵۸۳۷

اعتبارسنجی توسط مدل شبیه‌سازی گردید.
نتایج حاصله در شکل‌های ۱۶ تا ۱۹ و جدول
۸ ارائه شده است.

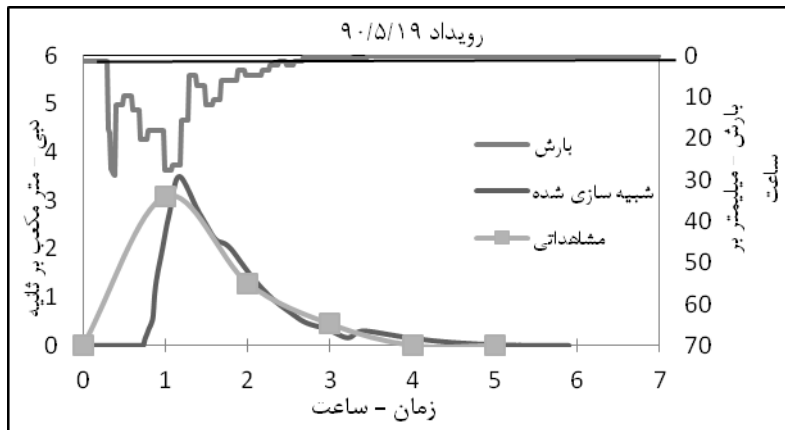
اعتبارسنجی مدل
پس از مرحله واسنجی و بهینه‌سازی
پارامترهای مدل، رویدادهای مرحله



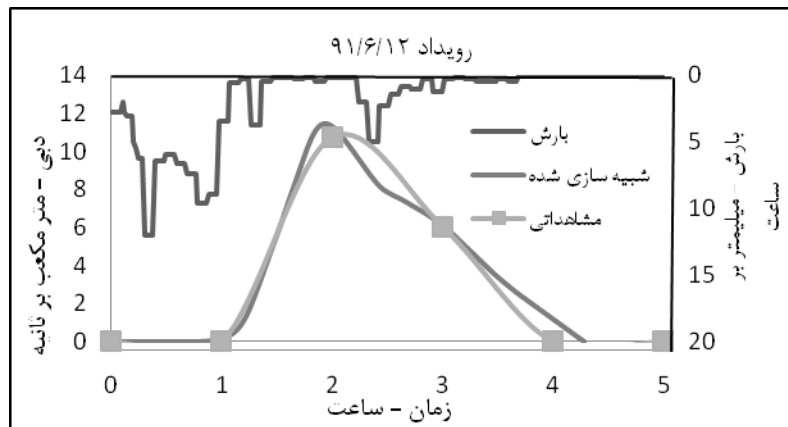
شکل ۱۶. هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده رویداد ۸۸/۳/۲۹



شکل ۱۷. هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده رویداد ۸۸/۱۲/۴



شکل ۱۸. هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده رویداد ۹۰/۵/۱۹

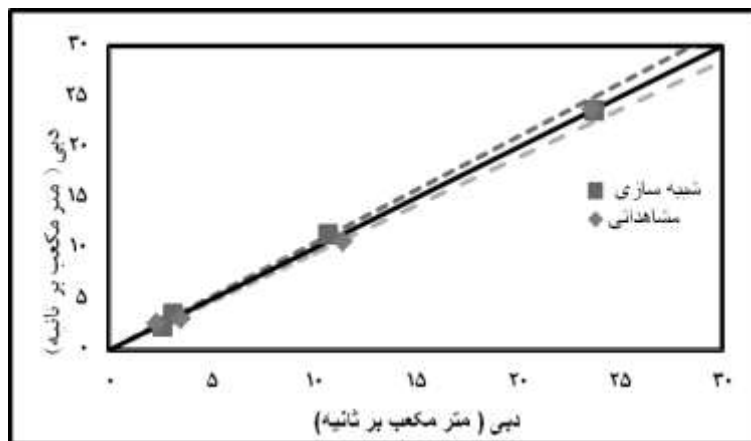


شکل ۱۹. هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده رویداد ۹۱/۶/۱۲

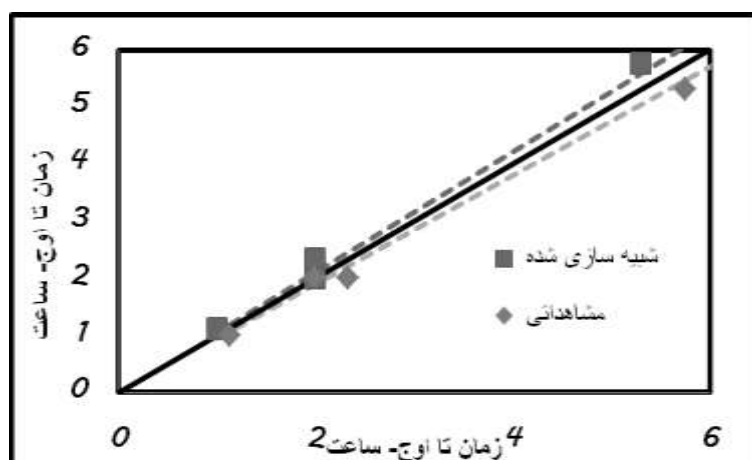
جدول ۸. نتایج اعتبارسنجی مدل KINEROS2 با رویدادهای مرحله اعتبارسنجی

رویداد	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)		زمان تا اوج (ساعت)		حجم سیل (مترمکعب)	
	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده
۸۸/۳/۲۹	۲۳/۶۴	۲۳/۷۶	۲	۲/۳۳	۱۶۰۵۶۰	۱۱۱۱۲۰
۸۸/۱۲/۴	۲/۱۰۲	۲/۳۵۰	۵/۳	۵/۷۶	۳۶۹۶۰	۳۶۸۴۶
۹۰/۵/۱۹	۳/۰۹۱	۳/۵	۱	۱/۱۳	۱۷۵۶۸	۱۳۹۵۴
۹۱/۶/۱۲	۱۰/۷۴	۱۱/۴۷	۲	۲	۷۴۸۰۸	۶۳۸۷۶

به‌منظور نمایش بهتر نتایج مدل هیدرولیکی در شبیه‌سازی جریان، داده‌های دبی‌های اوج و زمان تا اوج رویدادها در اطراف خط ۱:۱ در شکل‌های ۲۰ تا ۲۱ ارائه شده است.



شکل ۲۰. نمودار پراکنش داده‌های دبی اوج مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده



شکل ۲۱. نمودار پراکنش زمان تا اوج مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده

ارزیابی کارایی مدل KINEROS2

گردید که مقادیر آن‌ها در جدول ۹، نشان داده شده است.

جهت ارزیابی کارایی مدل در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از ۹ شاخص استفاده

جدول ۹. ارزیابی کارایی مدل با استفاده از شاخص‌های کارایی در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی

شاخص کارایی	مرحله واسنجی	مرحله اعتبارسنجی
ضریب ناش - ساتکلیف	۰/۶۶۵	۰/۷۹۷
درصد خطا در دبی اوج	۹/۳۴۰	۸/۳۶۹
ضریب همبستگی	۰/۸۸۷	۰/۹۱۲
انحراف مدل	-۰/۲۶۰	۰/۰۶۸
ضریب همبستگی اصلاح شده	۰/۸۴۸	۰/۸۵۷
ضریب جمعی	۰/۷۲۰	۰/۸۱۵
ضریب تبیین	۰/۷۱۴	۰/۸۹۷
ضریب تبیین وزنی	۰/۵۸۴	۰/۸۳۴
میانگین حداقل مربعات خطا	۲/۶۳۹	۱/۵۲۲

بحث

با مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مشخص می‌گردد که در اکثر رویدادها تطابق هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در حد قابل قبول بوده است. رویداد ۸۹/۴/۱ دارای کمترین میزان تطابق بین هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی بوده و هیدروگراف شبیه‌سازی شده شکل خاصی دارد که با بررسی دقیق‌تر و ملاحظه داده‌های بارش مشخص می‌گردد

نخست، بارش از نوع رگباری شدید و کوتاه‌مدت بوده است دوم، توزیع زمانی و مکانی بارش در سطح حوزه آبخیز کاملاً متفاوت بوده است. سوم، با توجه به بارش‌های پراکنده، ۵ ساعت قبل از بارش موردنظر،

رطوبت اولیه خاک بالا بوده بطوریکه تقریباً تمام بارش به رواناب تبدیل گردیده است. چهارم، شروع بارش با شدت زیاد بوده است بطوریکه هایتوگراف بارش با شکل هیدروگراف شبیه‌سازی شده همخوانی دارد. پنجم، مدل تنها از دو ایستگاه بارانسنجی نه‌ارخوران و زیارت (که به ترتیب در خروجی و مرکز حوضه قرار دارند) برای شبیه‌سازی رواناب استفاده می‌نماید که با توجه به وسعت حوزه آبخیز، شرایط توپوگرافی و تغییرات زیاد توزیع زمانی و مکانی بارش در سطح حوزه باعث کاهش دقت مدل در شبیه‌سازی رواناب سیلاب‌هایی با تغییرات زیاد توزیع زمانی و مکانی بارش می‌گردد.

در این تحقیق از شاخص‌های ضریب ناش ساتکلیف، معیار جمعی، ضریب تبیین، ضریب

تبيين وزنی، درصد خطا در دبی اوج و میانگین مربعات خطا استفاده گردید. مقدار متوسط ضریب ناش - ساتکلیف در رخدادهای مرحله واسنجی برابر ۰/۶۶۵ و برای مرحله اعتبارسنجی برابر ۰/۷۹۷ می‌باشد. که بیانگر دقت قابل قبول مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در هر دو مرحله می‌باشد. در خصوص شاخص معیار جمعی که میزان تفاوت‌هایی از قبیل اندازه، شکل و حجم بین هیدرو گراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد مقادیر متوسط آن در مرحله واسنجی برابر ۰/۷۲۰ و در مرحله اعتبارسنجی برابر ۰/۸۱۵ به دست آمده است. که با توجه به جدول ۹، میزان تطابق هیدرو گراف‌های شبیه‌سازی شده با مشاهداتی در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی خیلی خوب ارزیابی می‌گردد. بر اساس نتایج، متوسط درصد خطا در دبی اوج برای رخدادهای مرحله واسنجی برابر ۹/۳۴ و در مرحله اعتبارسنجی برابر ۸/۳۶۹ می‌باشد. لذا دقت مدل در برآورد دبی اوج سیلاب نسبتاً خوب و قابل قبول می‌باشد. 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 رویدادهای ۸۸/۳/۲۹ و ۸۹/۴/۱ درصد خطا در دبی اوج به ترتیب ۰/۵۰ و ۱/۰۵ می‌باشد.

در بررسی حجم جریان در این مطالعه از شاخص درصد خطای حجم استفاده گردید. متوسط درصد خطای حجم جریان در مرحله واسنجی برابر ۳۸/۸۷ و در مرحله اعتبارسنجی ۳۱/۲۸ می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله

کارایی مدل در برآورد مقادیر حجم جریان ضعیف و قابل قبول نمی‌باشد. در اکثر سیلاب‌ها مقادیر حجم سیلاب‌های محاسبه‌ای خیلی کمتر از مشاهداتی بوده است. مقادیر متوسط درصد خطا در زمان تا اوج هیدروگراف در مرحله واسنجی برابر ۶/۰۶ و در مرحله اعتبارسنجی ۸/۴۲ می‌باشد. بنابراین دقت مدل در برآورد زمان تا اوج هیدروگراف قابل قبول می‌باشد. از شاخص ضریب تبیین و ضریب تبیین وزنی برای محاسبه میزان همبستگی بین داده‌های محاسباتی و مشاهداتی استفاده گردید، که بر اساس نتایج حاصله متوسط ضریب تبیین در مرحله واسنجی برابر ۰/۷۱۴ و در مرحله اعتبارسنجی برابر با ۰/۹۰۸ می‌باشد. همچنین متوسط ضریب تبیین وزنی در مرحله واسنجی ۰/۵۸۴ و در مرحله اعتبارسنجی برابر ۰/۸۳۴ می‌باشد. که بیانگر تطابق خوب داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد. همچنین نشان می‌دهد که میزان تطابق داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در مرحله اعتبارسنجی نسبت به مرحله واسنجی بالا می‌باشد. میانگین حداقل مربعات خطا در مرحله واسنجی ۲/۶۳۹ و در مرحله اعتبارسنجی برابر ۱/۵۲۲ می‌باشد. که بیانگر کارایی مناسب مدل برای شبیه‌سازی سیلاب حوزه آبخیز می‌باشد.

آنالیز حساسیت مدل KINEROS2

آنالیز حساسیت مدل در برآورد دبی اوج و حجم سیل نسبت به ۵ پارامتر شامل هدایت هیدرولیکی اشباع، ضریب مانینگ، میانگین

گرفته نشده است. که بایستی در مناطق کوهستانی و فصول سرد مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه گیری

این ارزیابی نشان داد که مدل در برآورد دبی پیک سیلابها مناسب است. کارایی و دقت مدل در میزان تطابق هیدروگراف شبیه سازی شده با هیدروگرافهای مشاهداتی قابل قبول بوده است. بر اساس نتایج حاصله کارایی مدل در برآورد مقادیر حجم جریان ضعیف و قابل قبول نمی باشد. در تمامی سیلابها مقادیر حجم سیلابهای محاسبه ای خیلی کمتر از مشاهداتی بوده است. با توجه به اینکه مدل KINEROS2 دارای مزایایی متعددی از جمله ساده بودن استفاده از آن، دسترس بودن داده های ورودی مدل، امکان برآورد دبی سیلاب در هر یک از زیر حوزه ها، قابلیت پیش بینی اثرات تغییر کاربری اراضی، جهت استفاده مدیران و اکثر کاربران در حوزه های مشابه مناسب می باشد.

حرکت موینگی، ظرفیت برگاب و رطوبت اولیه مورد بررسی قرار گرفت. بطوریکه مقادیر هر یک از پارامترها به مقدار ۱۰ و ۲۰ درصد نسبت به مقدار بهینه، افزایش و کاهش داده شد و نتایج حاصله مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع و ظرفیت برگاب به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر حساسیت را ایجاد می کنند. این بررسی نشان داد که از نظر دبی اوج حساس ترین پارامترهای مدل به ترتیب هدایت هیدرولیکی اشباع، ضریب مانینگ، میانگین حرکت موینگی، رطوبت اولیه و ظرفیت برگاب می باشد. در خصوص حجم سیل حساس ترین پارامترهای مدل به ترتیب هدایت هیدرولیکی اشباع، میانگین حرکت موینگی، ضریب مانینگ، رطوبت اولیه و ظرفیت برگاب می باشد.

منابع خطا

داده های خاکشناسی قابل استفاده در این مدل شامل نقشه های خاک USDA STATSGO، USDA SURRGO و یا FAO می باشد. با توجه به اینکه دو نقشه اول برای محدوده مورد مطالعه وجود ندارد ناگزیر از نقشه خاک با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط فائو استفاده شد که در آن تغییرات محلی لحاظ نگردیده است. که می تواند یکی از دلایل خطا در این مدل باشد.

از دیگر منابع خطا فرایند ذوب برف و اثر آن بر روی سیلاب می باشد که در این مدل در نظر

References

- 1- Aghaei Daneshvar, F., Khanjani, M., 2005. The structure of the KINEROS2 model in estimating runoff and sediment runoff in the catchment area. Proceedings of the 2nd Conference on Watershed Management and Water and Soil Management, March 2005, Kerman.
- 2- Aghaei Daneshvar, F., Khanjani, M., 2007. Estimation and prediction of discharge flood discharge and sediment load at the watershed of Chashmeh-e-Aroos Kerman basin with implementation of KINEROS2 model, through the AGWA tool. Proceedings of the 9th National Irrigation and Evaporation Seminar, Bahman 2007, Kerman.
- 3- Al-Qurashi, A., McIntyre, N., Wheeler, H., and Unkrich, C., 2008. Application of the Kineros2 rainfall-runoff model to an arid catchment in Oman. *Journal of Hydrology*, 355: 91-105.
- 4- Alwankar, S., R., Saghafian, B., 2009. Flood modeling in the catchment area by ADHM Distributed Model. Proceedings of the 5th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering (Sustainable Management of Natural Disasters), Gorgan. P. 1319-1327.
- 5- Ashour, R.A., 2000. Description of a simplified GIS_based surface water model for an arid catchment in Jordan, In: proceeding of the 2000 ESRI user conference, ESRI, San Digo, USA.
- 6- Azizi, m., 2012. Simulation of the effect of precipitation scenarios on flow hydrographs using the Wetspa distributive model in the Ziarat Watershed. Master's Degree In Watershed Management. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- 7- Bahremand, A., 2006. Simulating the effects of reforestation on floods using spatially distributed hydrologic modeling and GIS. PhD Thesis, Vrije Universiteit Brussel, Belgium.
- 8- Burns, I.S., Scott, S., Levick, L., Hernandez, M., Goodrich, D.C., Semmens, D.J. and Kepner, W.G., 2004. Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA)-A GIS-based hydrologic modeling tool, Documentation and User Manual Version 1.4. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-1446.
- 9- Buther, J., Shoemaker, L., Trevor clements, J., Thirolle, E., 1998. Watershed modeling. Watershed Academy Web.
- 10- Carreras, N.M., Soler, M., Hernández, E. and Gallart, F., 2007. Simulating badland erosion with KINEROS2 in a small Mediterranean mountain basin (Vallcebre, Eastern Pyrenees). Institute of Earth Sciences (Jaume Almera) CSIC, Barcelona, Spain. *Catena* 71: 145-154.
- 11- Dody, A., Shillito, R., Givati, A., Siegel, A., Galili, U., Eisenberg, O., 2017. Rainfall, runoff and erosion analyses in a sandy desert watershed under mid-latitude cyclones using the Kineros2 model. *Int. J. Environ. Prot.* 7(1): 8-19
- 12-Golestan Consulting Engineers. Exploitation, Implementation and Watershed Studies in Ziarat Basin.

- 13- Goodrich, D.C., 1990. Geometric simplification of a distributed rainfall-runoff model over a range of basin scales. PhD Dissertation, Department of Hydrology and Water Resources, University of Arizona.
- 14- Hamidpour, M., Jalalian, A., Aphuni, M., Ghorbani, B., 1391. Analysis of sensitivity, calibration and validation of the Yorousym model for prediction of runoff in the South Karun watershed. *Journal of Agricultural Science and Technology, Water and Soil Science*. Sixteenth year No. 62. Winter, 2012.
- 15- Hernandez, M., Miller, S.N., Goodrich, D.C., Gof, R.F., Kepner, W.G., Edmonds, C.M. and Jones, K.B., 2000. Modeling runoff response to land cover and rainfall spatial variability in semi-arid watersheds. *Environmental Monitoring and Assessment*. 64: 285-298.
- 16- Kalth, A., 2010. Evaluation of the Efficiency of the LISEM Physical Model in the Golestan Provincial and Kachik Basin. Master's degree in Watershed Management. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- 17- Karandesh, F., 2006. Comparison of Basin Behavior in Distributed and Integrated Flood Simulation, Master's Degree, Tehran University.
- 18- Karimi M., Maliki Nejad, H., Abghiri, H., Azizian, M., 2011. Evaluation of different methods of flood hydrograph simulation using HEC-HMS software package. *Iranian Journal of Water Research*. Fifth year 9: 23-34.
- 19- Memarian, H., Balasundram, S.K., Talib, J., Teh Boon Sung, C., Sood, M.A., Abbaspour, K.C., and Haghizadeh, A., 2012. Hydrologic analysis of a tropical watershed using KINEROS2. *Environment Asia* 5(1): 84-93.
- 20- Miller, S. N., Semmens, D.J., Miller, R.C., Hernandez, M., Goodrich, D.C., Miller, W.P., Kepner, W.G., and Ebert, D.W., 2002. GIS-based hydrologic modeling: the automated geospatial watershed assessment tool, Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, Las Vegas, NV. Las Vegas, NV, USA.
- 21- Mohammadi, M., 2011. Flood Hydrograph Modeling in Jafarabad Basin in GIS Environment. Master's Degree in Watershed Management. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- 22- Najafi, M. Translation of hydrological systems of rainfall-runoff modeling, VP Singh. Tehran University Press. Vol. I, p. 578.
- 23- Parlange, J.Y., Lisle, I., Braddock, R.D. and Smith, R.E., 1982. The three-parameter infiltration equation. *Soil Science*. 133(6): 337-41.
- 24- Rovey, E.W., 1974. A kinematic model for upland watersheds. Unpublished M.Sc. Thesis, Colorado State University, Fort Collins.
- 25- Safari, A., De Smedt, F. and Moreda, F., 2009. WetSpa model application in the Distributed Model Intercomparison Project (DMIP2). *Journal of Hydrology*, doi: 10.1016. 2009.
- 26- Sayed Kaboli, H., Akhundaali, A. M., 2009. Evaluation of Rainfall Methods in Flood Hydrograph Simulation Case Study: Kasaliyan Watershed Basin. Proceedings of the 5th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering (Sustainable Management of Natural Disasters), Gorgan. P. 238-247.

- 27- Semmens, D.J., Goodrich, D.C., Unkrich, C.L. and Smith, R.E., 2004. KINEROS2 modeling framework, Agricultural Research Service, ARS-77, U.S. Dept. of Agriculture, Tucson, Arizona.
- 28- Smith, R.E., Goodrich, D.C. and Quinton, J., 1995. Dynamic, distributed simulation of watershed erosion: the KINEROS2 and EUROSEM models. *J., Soil Water Conserv.* 50(5): 517-20.
- 29- Tajbakhsh, S.M., Memarian, H., Sobhani, M., Aghakhani Afshar, A.H., 2018. Kinematic runoff and erosion model efficiency assessment for hydrological simulation of semi-arid watersheds. *Global J. Environ. Sci. Manage.*,4(2): 127-140, Spring 2018. doi: 10.22034/gjesm.2018.04.02.002
- 30- Toy, T.J., Foster, G.R. and Renard, K. G., 2002. Soil erosion: processes, prediction, measurement and control. John Wiley and Sons Pub., N Y.
- 31- Woolhiser, D.A., Hanson, C.L. and Kuhlman, A.R., 1970. Overland flow on rangeland watersheds. *Journal of Hydrology.* 9(2): 336-56.
- 32- Woolhiser, D.A., Smith, R.E. and Goodrich, D.C. 1990. A kinematic runoff and erosion model. Documentation and User Manual, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 77: 130.
- 33- Yagoby, F., Bahremand, A., 2011 River Flood Simulation Using WetSpa Hydrological-Distributed Model in Chehel-Chay Watershed in Golestan Province. *Journal of Soil and Soil Conservation Research.* 3 (18): 65-76.
- 34- Zainivand, H., 2010. Simulation of Spatial Distribution of Soil Erosion and Sediment in Watershed Scale. Proceedings of the 6th National Conference on Watershed Engineering Sciences and Watershed Management. Department of Natural Resources Tarbiat Modarres University. P. 243.
- 35- Ziegler, A.D., Giambelluca, T.W. and 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.