

## پهنه‌بندی خطر سیل با دو مدل مادکلارک و HEC-RAS در آبخیز سد بوستان استان گلستان

زهرا پریسای<sup>\*1</sup> - واحد بردی شیخ<sup>2</sup> - مجید اونق<sup>3</sup> - عبدالرضا بهره مند<sup>4</sup>

تاریخ دریافت: 1392/8/18

تاریخ پذیرش: 1393/4/2

### چکیده

یکی از روش‌های کارآمد مدیریت سیل، پهنه‌بندی شدت و نوع آن است. در این تحقیق پهنه‌بندی خطر سیل با تلفیق دو مدل توزیعی-مفهومی مادکلارک و مدل هیدرولیکی HEC-RAS انجام شد. اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل مادکلارک در محیط HEC-HMS شامل نقشه‌های شبکه‌ای حوضه، شماره منحنی و بارش (شبکه‌های بارش راداری) با سیستم مختصات SHG و فرمت DSS بوده، که تهیه آن‌ها در کشورهای خارج از قاره آمریکا دشوار می‌باشد. برای حل این مشکل فایل‌های ورودی با استفاده از سیستم WMS، در ابعاد شبکه سلولی 200×200 متر تهیه گردید. سپس نقشه شماره منحنی شبکه‌ای و نقشه‌های بارش شبکه‌ای (با گام زمانی 15 دقیقه) تهیه شده در محیط PCRaster، با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری HEC-GeoHMS و asc2dss به فرمت DSS تبدیل و جایگزین فایل‌های نرم‌افزار WMS شدند. پس از واسنجی و اعتبارسنجی، مدل برای دوره-بازگشت‌های مختلف اجرا گردید. دبی پیک هیدروگراف‌ها به‌همراه مشخصات هندسی رودخانه و مقاطع عرضی (316 نمونه) تهیه شده توسط نرم‌افزار HEC-GeoRAS و ضرایب زبری، وارد نرم‌افزار HEC-RAS شد و پس از اجرای مدل نقشه پهنه‌ی خطر سیل حوضه آبخیز سد بوستان تهیه گردید. نتایج ارزیابی نشان داد که با توجه به معیار درصد خطای دبی اوج با کمتر از 3/2 درصد خطا، مدل در شبیه‌سازی دبی اوج کارایی خوبی دارد اما در برآورد حجم چندان موفق نبود. نتایج پهنه‌های سیل نیز نشان داد که از کل مساحت تحت تأثیر سیل 200 ساله، 96/94 درصد مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های با دوره بازگشت 25 سال است و در واقع بخش عمده‌ای از خسارت به پهنه‌های دشت سیلابی زیر 25 سال وارد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مادکلارک، WMS، HEC-HMS، HEC-RAS، خطر

### مقدمه

هیدرولیکی است (6). کلانتری اسکویی و همکاران (13) با ارائه راه‌حلی برای استفاده از مدل هیدرولوژیکی مادکلارک در محیط HEC-HMS در ایران و تهیه ورودی‌های مدل در سیستم مختصات SHG و ساختار DSS به تعیین شدت سیل‌خیزی و اولویت‌بندی پتانسیل تولید سیل در حوضه آبخیز قرقو واقع در استان آذربایجان شرقی پرداختند. آنها با استفاده از امکانات HEC-GeoHMS و GIS نقشه‌های اولیه مدل شامل نقشه شبکه حوضه و نقشه‌های شبکه بارش با گام زمانی یک ساعته را تهیه نمودند و برای تطابق مختصات نقشه‌های موجود با شبکه استاندارد هیدرولوژیکی (SHG) که مطابق با سیستم تصویر Albers و مبنای NAD83 برای استفاده در قاره آمریکا طراحی شده است، مشخصات سیستم تصویر آلبرز را جایگزین سیستم مختصات UTM نمودند و در نهایت به فرمت DSS تبدیل نمودند. پس از واسنجی و اعتباریابی مدل مادکلارک، براساس شاخص سیل‌خیزی  $f$  زیرحوضه آلمالوچای را، سیل‌خیزترین و موثرترین زیرحوضه در دبی اوج هیدروگراف خروجی کل حوضه آبخیز شناختند. یمانی و همکاران (18) در بازه‌ای به طول 6/5 کیلومتر از بستر رودخانه طالقان رود از پل گلینک تا پل وشته در بالادست محل

سیل به وضعیتی گفته می‌شود که در آن دبی جریان رودخانه و سطح تراز آب به صورت غیرمنتظره افزایش پیدا کرده و باعث خسارات مالی و جانی گردد (9). بررسی آمار و اطلاعات خسارات سالانه ناشی از وقوع سیلاب‌ها در ایران و جهان بیانگر گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف می‌باشد (17). بنابراین مسئله وقوع سیلاب و خسارات مالی و تلفات جانی ناشی از آن در کشور ما از اهمیت خاصی برخوردار است (3). اولین گام در طرح‌های مدیریت سیلاب و دشت سیلابی داشتن نقشه‌های پهنه‌بندی سیل می‌باشد (2). برای تهیه این نقشه‌ها روش‌های متفاوتی وجود دارد. یکی از جدیدترین روش‌ها استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تلفیق آن با مدل‌های هیدرولوژیکی و

1، 2، 3 و 4 - به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استاد و دانشیار گروه آبخیزداری و مدیریت بیابان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
(Email: z.parisaye@gmail.com) \* نویسنده مسئول:

اقدام به پهنه‌بندی خطر سیل در آبخیز سد بوستان، با تلفیق مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی گردید. جهت شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب در حوضه مورد تحقیق از روش توزیعی - مفهومی مادکلارک استفاده شد، که برای تحقق این امر دو مدل WMS و HEC-HMS به کار گرفته شد. در نهایت برای پهنه‌بندی، نتایج حاصل از مدل بارش - رواناب به عنوان ورودی مدل هیدرولیکی HEC-RAS مورد استفاده قرار گرفت و پهنه‌ی خطر سیل ترسیم گردید.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز سد بوستان با مساحت 1578/77 کیلومترمربع می‌باشد که در شرق استان گلستان بین عرض‌های  $37^{\circ} 25' 5''$  تا  $37^{\circ} 47' 33''$  شمالی و طول‌های  $55^{\circ} 26' 30''$  تا  $56^{\circ} 04' 35''$  شرقی واقع شده است. آبخیز سد بوستان در واقع قسمت اصلی حوضه آبخیز حاجی‌قوشان یکی از زیرحوضه‌های اصلی سد گلستان می‌باشد. طول آبراهه اصلی حوضه مورد نظر 88 کیلومتر بوده و دارای حداکثر و حداقل ارتفاع 2100 و 100 متر از سطح دریا می‌باشد (4). با توجه به اینکه حوضه مورد مطالعه یکی از مهم‌ترین حوضه‌های سیل‌خیز استان گلستان به‌شمار می‌آید، در این تحقیق برای ارزیابی خطر سیل و کاهش خسارات ناشی از وقوع سیلاب، اقدام به پهنه‌بندی خطر سیل در 21 کیلومتر از بازه مورد مطالعه با استفاده از تلفیق دو مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی شد. به‌طور کلی در این تحقیق از نرم‌افزارهای WMS، HEC-GeoHMS، HEC-HMS، برای شبیه‌سازی دبی سیل، HEC-RAS، HEC-GeoRAS، برای پهنه‌بندی سیلاب و تهیه نقشه پهنه خطر سیل و از نرم‌افزارهای ArcMap، PCRaster، Ascc2Dss، HEC-DSSvue نیز جهت آماده‌سازی نقشه‌ها و داده‌های ورودی به مدل‌های ذکر شده استفاده گردید.

### روش مادکلارک

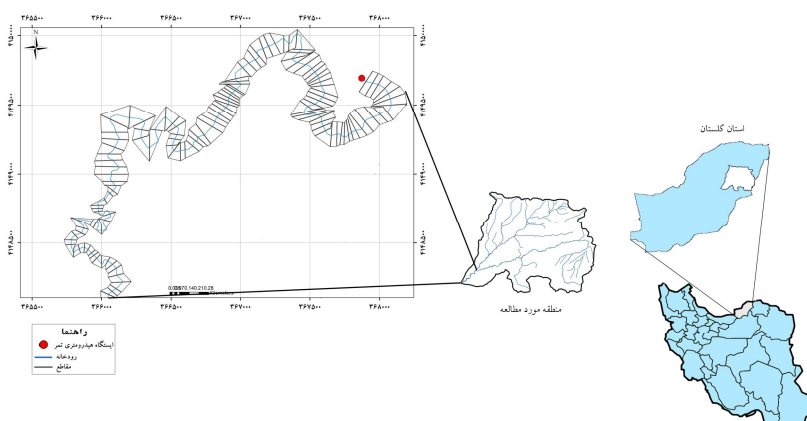
روش مادکلارک یک روش توزیعی - مفهومی از نوع ذخیره‌ای است که توزیع مکانی را نیز در نظر می‌گیرد (23 و 27). روش مادکلارک نسخه تغییر یافته روش کلارک محسوب می‌شود. در این روش ابتدا یک شبکه فرضی بر روی حوضه تعریف شده سپس برای هر سلول شبکه فاصله تا خروجی حوضه تعیین و از رابطه زیر زمان تبدیل تا خروجی محاسبه می‌گردد:

$$t_{cell} = t_c \frac{d_{cell}}{d_{max}} \quad (1)$$

که در آن،  $t_{cell}$  زمان پیمایش برای سلول،  $t_c$  زمان تمرکز حوضه،  $d_{cell}$  فاصله پیمایش هر سلول تا نقطه خروجی حوضه،  $d_{max}$  فاصله پیمایش دورترین سلول تا نقطه خروجی حوضه می‌باشد.

سد طالقان، اقدام به تعیین پهنه‌های سیل‌گیر در دوره‌بازگشت‌های 2 تا 200 ساله با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS نمودند. به این منظور از نقشه‌های رقومی 1:400، آمار دبی ایستگاه طالقان رود، اطلاعات مربوط به ویژگی پل‌های منطقه، ویژگی‌های مورفولوژی بستر و مقاطع عرضی که طی عملیات میدانی جمع‌آوری شده، استفاده نمودند. نتایج آنها نشان می‌دهد که از کل مساحت در قلمرو سیل 200 ساله حدود 88/16 درصد مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های با دوره‌بازگشت 25 سال و کمتر از آن است، که بخش زیادی از اراضی کشاورزی و بخشی از سکونتگاه‌ها را شامل می‌شود. نیل و همکاران (22) در حوضه رودخانه سن آنتونیو در مرکز تگزاس ایالات متحده آمریکا اقدام به شبیه‌سازی سیلاب منطقه‌ای ناشی از رویداد تابستان 2002 با استفاده از داده‌های راداری بارش NEXRAD، GIS و نرم‌افزارهای HEC-HMS و HEC-RAS، نمودند. در این مطالعه از یک شبکه سلولی  $4 \times 4$  کیلومتر که با ابعاد شبکه بارش NEXRAD سازگار باشد، استفاده شد و شبیه‌سازی برای 12 زیرحوضه انجام گردید. در این تحقیق پارامترهای حوضه به‌صورت دستی کالیبره شدند که برای این امر از سه معیار ارزیابی بایس<sup>1</sup> مدل، میانگین قدرمطلق خطا<sup>2</sup> و ضریب همبستگی<sup>3</sup> استفاده گردید. در نهایت هیدروگراف استخراج شده از مدل بارش - رواناب HEC-HMS وارد مدل هیدرولیکی HEC-RAS گردید و مدل در حالت جریان ناپایدار برای شبکه کانال رودخانه اجرا شد. نتایج نشان داد که خطای ایجاد شده در مدل می‌تواند مربوط به پارامترهای فیزیکی مدل که در برآورد CN حوضه دخالت دارند، باشد. آنها نتیجه‌گیری نمودند که استفاده از یک روش فیزیکی مثل گرین - امپت که میزان نفوذ آب در خاک را بررسی می‌کند، می‌تواند صحت مدل را بهبود بخشد. ناپردایان و چیرا (25) اقدام به مدل‌سازی هیدرولوژیکی و تهیه نقشه‌ی خطر سیل برای یک حوضه آبخیز کوچک در نزدیکی بایاماری<sup>4</sup> به نام دره‌ی استوری<sup>5</sup> با استفاده از دو مدل HEC-RAS و WetSpa نمودند. با ترکیب دو مدل و استفاده‌ی نتایج خروجی از مدل هیدرولوژی WetSpa به‌عنوان ورودی مدل هیدرولیکی HEC-RAS نقشه‌ی پهنه‌ی خطر سیل را تهیه نمودند. برای تهیه نقشه‌های اولیه هر دو مدل از قبیل نقشه توپوگرافی، کاربری اراضی، خاک و... از نرم‌افزار ArcView3.2 استفاده گردید. با توجه به وقوع سیلاب‌هایی با بزرگی‌های مختلف و ایجاد خسارات زیاد در استان گلستان، ضرورت مطالعه در زمینه مدیریت دشت‌های سیلابی وجود دارد. برای این امر در این پژوهش

- 1- Percent bias
- 2- Mean absolute error
- 3- Correlation coefficient
- 4- Baia Mare
- 5- Usturoi Valley



شکل 1 - نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان گلستان

توزیعی کلارک اصلاح شده<sup>2</sup> برای محاسبه رواناب، ماژول HEC-HMS در محیط WMS انتخاب شد و با ذخیره آن‌ها فایل ورودی مدل HEC-HMS ایجاد گردید. شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز در HEC-HMS توسط سه مولفه اساسی به نام‌های مدل حوضه<sup>3</sup>، مدل هواشناسی<sup>4</sup> و مشخصه‌های کنترل<sup>5</sup> انجام می‌گیرد (14)، که فایل ذخیره هر سه مولفه اساسی را تشکیل می‌دهد. در این تحقیق پس از ورود آن به مدل HEC-HMS، در بخش معرفی داده‌های شبکه‌ای، نقشه‌های بارش و شماره منحنی شبکه‌ای، حوضه مورد مطالعه که به ترتیب در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS و PCRaster تهیه شدند، به فرمت dss تبدیل شده و جایگزین فایل‌های ساخته شده توسط نرم‌افزار WMS گردیدند و در نهایت مدل اجرا و هیدروگراف سیل شبیه‌سازی شد. لازم به ذکر است که نقشه‌های جایگزین شده کاملاً مطابق با نقشه‌های ساخته شده توسط مدل WMS می‌باشند.

#### نقشه شماره منحنی شبکه‌ای حوضه<sup>6</sup> (SCS)

ابتدا شماره منحنی در هر واحد (هر پلیگون حاصل از تلفیق نقشه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک) تعیین شد (4) و شرایط رطوبتی نیز در نظر گرفته شد. جهت تهیه نقشه شماره منحنی شبکه‌بندی شده حوضه، ابتدا نقشه CN حوضه به فرمت رستری با اندازه سلول‌های 200×200 متر تبدیل گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار Idrisi تمامی مشخصات نقشه مورد نظر از قبیل تعداد ستون، ردیف و سیستم مختصات، مطابق با مشخصات نقشه خروجی گرفته

در ادامه، مساحت هر سلول محاسبه شده و با استفاده از آن حجم ورودی به مخزن خطی برای هر بازه زمانی که ناشی از بارش مازاد است محاسبه می‌شود (14). تعداد بسته‌های نرم‌افزاری که قابلیت اجرای مدل مادکلارک را دارند محدود می‌باشند. نرم‌افزارهایی مثل WMS و HEC-HMS از جمله شناخته‌ترین نرم‌افزارهایی هستند که می‌توان نام برد. لازم به ذکر است که از جمله مشکلات اصلی در استفاده از مدل هیدرولوژیکی مادکلارک در محیط HEC-HMS، استفاده از داده‌های بارش راداری و تهیه ورودی‌های مدل در سیستم مختصات SHG و ساختار DSS است که استفاده از آن را در خارج از قاره آمریکا با مشکل مواجه می‌سازد (13). با استفاده از تکنیک‌های مورد استفاده در این تحقیق امکان استفاده از این مدل فراهم می‌گردد.

#### اجرای مدل WMS و آماده‌سازی فایل ورودی به HEC-HMS

ابتدا سیستم تصویر مدل WMS بر مبنای NAD83 که مربوط به قاره آمریکا می‌باشد تنظیم گردید. پس از معرفی نقشه‌های کاربری اراضی، بافت و گروه هیدرولوژیکی خاک، DEM حوضه با ابعاد سلولی 90×90 متر به مدل WMS و در نظر گرفتن ایستگاه هیدرومتری تمر به عنوان خروجی حوضه، نقشه شماره منحنی شبکه‌ای با ابعاد سلولی 200×200 متر تهیه شد. سپس از نقشه ایجاد شده خروجی گرفته شد و به‌عنوان یک نقشه پایه برای ایجاد سایر نقشه‌های مورد نیاز مدل HEC-HMS استفاده گردید. با انتخاب روش شماره منحنی شبکه‌بندی شده<sup>1</sup> برای محاسبه تلفات و روش

2- Modclark  
3- Basin Model  
4- Meteorological Model  
5- Control Specifications  
6- Gridded SCS Curve Number

1- Gridded SCS curve number

50، 100 و 200 ساله در هر دو ایستگاه تمر و گلیداغ محاسبه گردید. با توجه به این که در بررسی رگبارها باید به تداوم، شدت و توزیع زمانی و مکانی آن‌ها در بروز سیل توجه شود (29). در این پژوهش، برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش آبخیز سد بوستان از روش پیل-گرم و گودرزی (28) استفاده شد. در نهایت با توجه به الگوی تغییرات زمانی و با استفاده از نقشه زون‌بندی ایستگاه‌های تمر و گلیداغ واقع در آبخیز سد بوستان، نقشه‌های بارش شبکه‌ای در دوره‌بازگشت‌های مختلف تهیه شد.

#### پهنه‌بندی خطر سیل با مدل HEC-RAS و HEC-GeoRAS

در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه و پهنه‌بندی سیل از سیستم اطلاعات جغرافیایی (الحاقیه HEC-GeoRAS) و نرم‌افزار HEC-RAS استفاده شد، که استفاده از آن‌ها توانایی بسیار بالایی در شبیه‌سازی شرایط رودخانه و دشت سیلابی آن دارد (11). ابتدا جهت شبیه‌سازی هندسی رودخانه پس از تهیه مدل شبکه نامنظم مثلثی (TIN)، با استفاده از ابزار موجود در الحاقیه HEC-GeoRAS لایه‌های ورودی به HEC-RAS مانند: مشخصات رودخانه، محل قرارگیری مقاطع عرضی و طول بازه‌ی پایین‌دست برای ساحل چپ، کانال اصلی و ساحل راست و... با دقت زیادی استخراج گردید. برای این امر از نقشه‌های اتوکدی 1/2000 باند رودخانه (نقشه توپوگرافی یک متری) در بازه‌ای به طول تقریبی 21 کیلومتر در پایین‌دست ایستگاه هیدرومتری تمر (بازه تمر تا سد بوستان) که توسط وزارت نیرو تهیه شده است، استفاده گردید و 316 مقطع عرضی در نظر گرفته شد. ضریب مانینگ نیز براساس روش کاون که مبتنی بر استفاده از جداول و عکس می‌باشد (7)، پس از بازدید میدانی برای کانال اصلی و سیلاب‌دشت تعیین گردید. با معرفی مقادیر دبی پیک هیدروگراف‌های خروجی مدل HEC-HMS برای رگبارهای طرح با دوره‌بازگشت‌های مختلف به عنوان داده‌های جریان و در نظر گرفتن رژیم جریان به صورت مرکب و عمق نرمال به‌عنوان شرایط مرزی (20)، مدل اجرا گردید. در نهایت با استفاده از امکانات الحاقیه HEC-GeoRAS و داده‌های موجود، عمل پهنه‌بندی سیل برای سناریوهای با دوره‌بازگشت‌های مختلف صورت گرفت.

#### نتایج

داده‌های ورودی مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی جریان به روش مادکلارک

در تحقیق حاضر برای اجرای روش مادکلارک، ابتدا با استفاده از مدل WMS فایل ورودی مدل HEC-HMS ایجاد شد سپس نقشه‌های بارش و شماره منحنی شبکه‌ای تهیه و جایگزین فایل‌های

شده از مدل WMS تغییر یافت و با استفاده از اکستنشن HEC-GeoHMS به فرمت dss تبدیل گردید.

#### نقشه‌های بارش شبکه‌ای حوضه<sup>1</sup>

به‌منظور تهیه شبکه بارش برای هر گام زمانی از دو ایستگاه هیدرومتری و سینوپتیک تمر و گلیداغ واقع در حوضه‌ی مورد مطالعه که دارای داده‌های ساعتی بارش می‌باشند، استفاده گردید. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار PCRaster نقشه زون‌بندی ایستگاه‌ها، مطابق با ابعاد نقشه خروجی نرم‌افزار WMS تهیه شد. سپس با معرفی سری زمانی بارش در هر یک از ایستگاه‌ها، نقشه‌های شبکه بارش برای هر گام زمانی (15 دقیقه) تهیه گردید. برای تبدیل نقشه‌های سری زمانی بارش به فرمت Ascii نیز کدنویسی در محیط Python انجام شد و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار asc2dssGrid نقشه‌های شبکه بارش هر گام زمانی به فرمت DSS تبدیل گردید.

#### اجرا و واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS

در این تحقیق برای شبیه‌سازی وقایع سیلابی و واسنجی پارامترهای مدل، آمار هم‌زمان بارش (ساعتی) و دبی ایستگاه‌های تمر و گلیداغ مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت هشت رگبار مشاهده‌ای که هیدروگراف سیل آن نیز در محل ایستگاه تمر ثبت شده، انتخاب گردید و با وارد نمودن سری نقشه‌های بارش با گام زمانی 15 دقیقه، در مدل HEC-HMS هیدروگراف سیل هر رگبار محاسبه شد. سپس با استفاده از معیارهای ارزیابی مدل، عملیات کالیبراسیون به صورت دستی برای 6 رویداد سیل (22 فوریه 2005، 20 دسامبر 2007، 7 می 2005، 10 اگوست 2005، 29 سپتامبر 2007، 6 مارس 2005) و اعتبارسنجی برای دو رویداد (24 نوامبر 2004 و 9 اکتبر 2005) انجام گرفت و پارامترهای مدل از قبیل زمان تمرکز<sup>2</sup> (Tc)، ضریب ذخیره کلارک<sup>3</sup> (k)، تلفات اولیه<sup>4</sup> (Ia) و ضریب نگهداشت پتانسیل<sup>5</sup> (F) برای شبیه‌سازی جریان در حوضه مورد مطالعه بهینه گردید.

#### تعیین بارش با دوره‌بازگشت‌های مختلف (بارش طراحی)

پس از کالیبره شدن پارامترهای مدل، برای محاسبه دبی با دوره‌بازگشت‌های مختلف، بارش طرح محاسبه و توزیع زمانی و مکانی اعمال گردید. برای این امر از روابط توسعه داده شده توسط وزیری (15) برای بخش‌های شمالی ایران یعنی استان‌های گیلان، مازندران و گلستان، استفاده شد و بارش در دوره‌بازگشت‌های 2، 5، 10، 25،

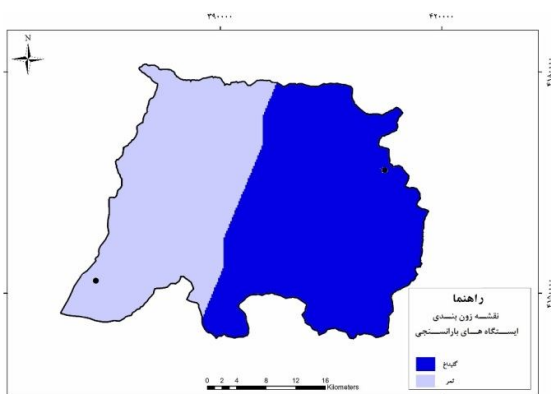
- 1- Gridded Precipitation
- 2- Time of concentration
- 3- Storage coefficient
- 4- Initial abstraction ratio
- 5- Potential retention scale factor

## اجرا و واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS

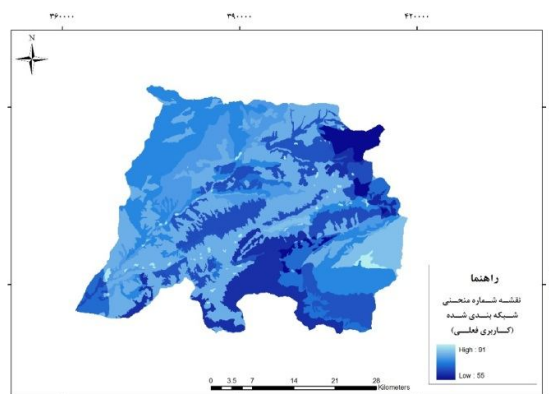
پس از ورود داده‌ها و تکمیل مدل حوضه، هواشناسی و مشخصه‌های کنترل، مدل برای رویدادهای سیل اجرا شد و پارامترهای آن با انواع توابع هدف واسنجی و در نهایت اعتباریابی گردید. هیدروگراف‌های حاصل از واسنجی هر رویداد در شکل‌های 4 تا 9 و هیدروگراف‌های مرحله اعتباریابی نیز در شکل‌های 10 و 11 ترسیم شده است. همچنین نتایج نهایی مربوط به پهنه‌سازی پارامترها پس از واسنجی و نتایج بررسی معیارهای ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی نیز در جدول 3 و 4 ارائه شده است.

ساخته شده توسط نرم‌افزار WMS گردید. شکل 2 نقشه شماره منحنی شبکه‌ای حوضه با ابعاد سلولی 200×200 متر با شرایط رطوبت پیشین متوسط (اقتباس از بهرامی (4)) و شکل 3 نیز نقشه زون‌بندی ایستگاه‌های باران‌سنجی ثابت داخل آبخیز سد بوستان (تمر و گلیداغ) را نشان می‌دهد. مقادیر بارندگی متناظر رویدادهای سیل انتخاب شده در ایستگاه‌های مذکور نیز در جدول 1 ارائه شده است.

همان‌طور که گفته شد زمان تمرکز یکی از پارامترهای مهم در شبیه‌سازی جریان به روش مادکلارک می‌باشد، که در این تحقیق برای برآورد آن به‌عنوان یک مقدار اولیه قبل از کالیبراسیون مدل به روش‌های مختلف برآورد گردید که نتایج حاصل از آن در جدول 2 ارائه شده است.



شکل 3- نقشه زون‌بندی ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل حوضه سد بوستان



شکل 2- نقشه شماره منحنی شبکه‌ای حوضه سد بوستان (4)

جدول 1- مقادیر بارندگی به میلی‌متر در زمان رویداد سیل در ایستگاه‌های باران‌سنجی ثابت

ردیف	تاریخ رویداد	بارش (میلی‌متر)	
		تمر	گلیداغ
1	22 فوریه 2005	23	27/8
2	20 دسامبر 2007	24/6	25/5
3	7 می 2005	58	40/1
4	10 اگوست 2005	20	106/7
5	29 سپتامبر 2007	23	30/5
6	6 مارس 2005	15	20
7	24 نوامبر 2004	26	32/1
8	9 اکتبر 2005	35/9	42/7

جدول 2- مقادیر زمان تمرکز محاسبه شده حوضه سد بوستان به روش‌های مختلف برحسب ساعت

روش	کریچ	کالیفرنیا	سازمان هواشناسی آمریکا	تامس و کانل	زمان تاخیر
زمان تمرکز (ساعت)	9/43	9/48	12/47	11/44	12/40

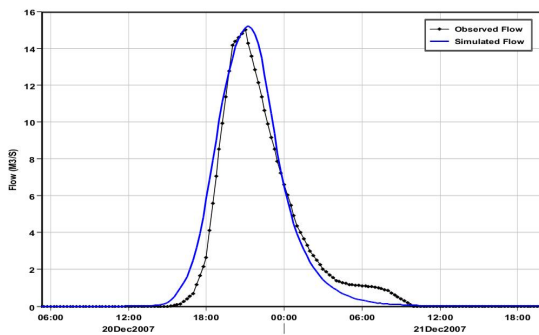
با استفاده از روابط وزیری در جدول 6 ارائه شده است. برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل مربوط به رگبار طرح در دوره‌بازگشت‌های مختلف نیز از میانگین پارامترهای بهینه شده در مدل HEC-HMS استفاده شد که شکل 12 هیدروگراف سیل مربوط به رگبار طرح با دوره‌بازگشت‌های مختلف در آبخیز سد بوستان را نشان می‌دهد.

### شبیه‌سازی هیدروگراف سیل با دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از بارش طرح

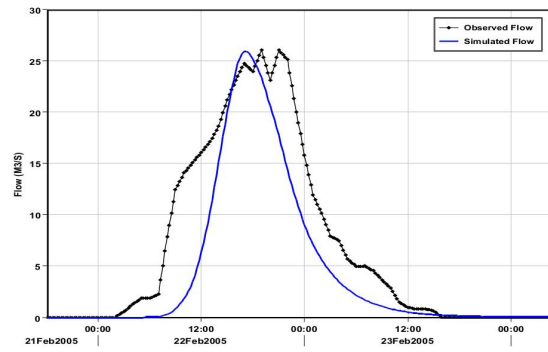
برای محاسبه بارش طرح ابتدا مقادیر متوسط حداکثر بارش‌های روزانه ( $pd_{max}$ ) ایستگاه‌های تمر و گلیداغ در دوره آماری مشترک محاسبه شد که مقدار آن به ترتیب برابر با 42/29 و 49/34 میلی‌متر می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبه بارش در دوره‌بازگشت‌های مختلف

جدول 3 - مقادیر بهینه پارامترهای مدل HEC-HMS در روش مادکلارک

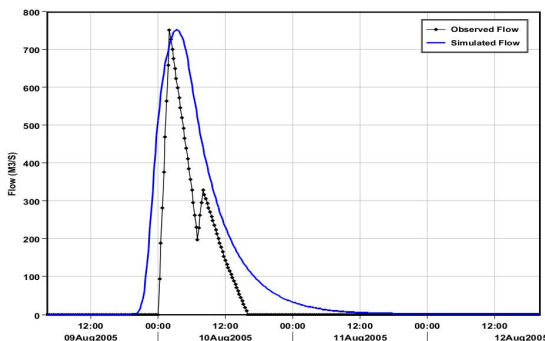
پارامترهای مدل				تاریخ رویداد	ردیف
F	Ia (mm)	K (hr)	Tc (hr)		
1	0/2	4/2	10/5	22 فوریه 2005	1
0/99	0/18	2	10	20 دسامبر 2007	2
1	0/184	2	10	7 می 2005	3
1	0/2	6/15	11	10 اگوست 2005	4
0/85	0/18	2	10/5	29 سپتامبر 2007	5
1	0/2	7	11	6 مارس 2005	6
0/97	0/19	3/89	10/5	میانگین	



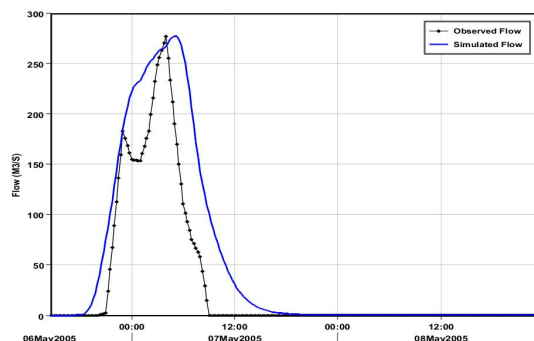
شکل 5 - هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی پس از واسنجی برای رویداد 20 دسامبر 2007



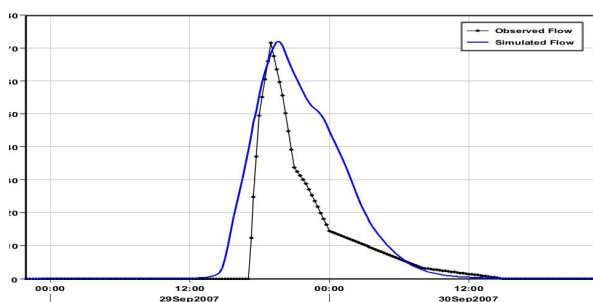
شکل 4 - هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی پس از واسنجی برای رویداد 22 فوریه 2005



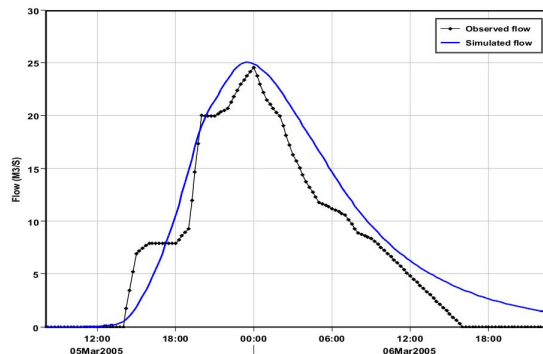
شکل 7 - هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی پس از واسنجی برای رویداد 10 اگوست 2005



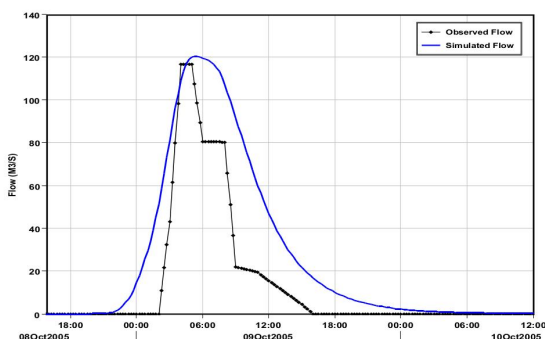
شکل 6 - هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی پس از واسنجی برای رویداد 7 می 2005



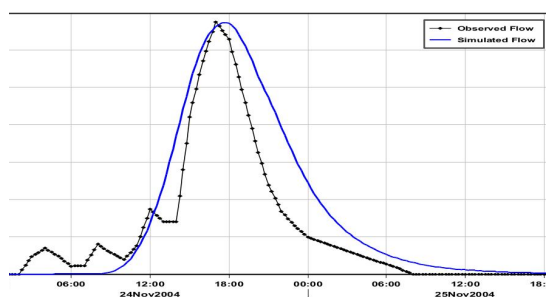
شکل 9- هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی پس از واسنجی برای رویداد 6 مارس 2005



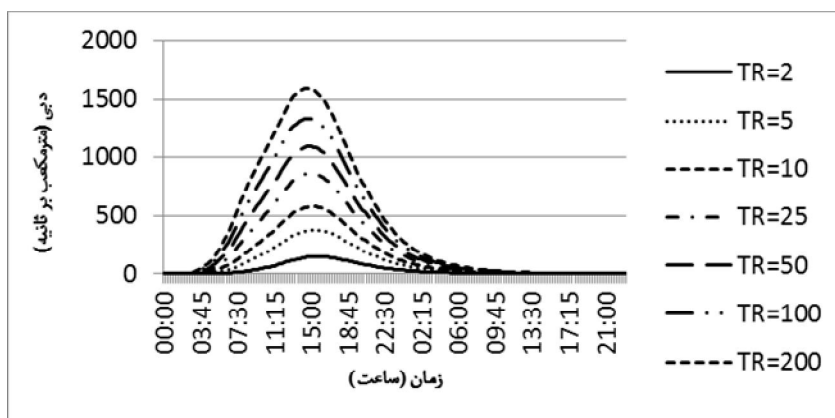
شکل 8- هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی پس از واسنجی برای رویداد 29 سپتامبر 2007



شکل 11- هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در مرحله اعتبارسنجی برای رویداد 9 اکتبر 2005



شکل 10- هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در مرحله اعتبارسنجی برای رویداد 24 نوامبر 2004



شکل 12- هیدروگراف سیل مربوط به رگبار طرح با دوره‌بازگشت‌های مختلف در حوضه آبخیز سد بوستان

شد سپس پهنه‌بندی سیل با استفاده از امکانات الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط GIS، برای سناریوهای با دوره‌بازگشت‌های 2، 10، 25، 50، 100 و 200 ساله انجام گردید.

#### پهنه‌بندی سیل با مدل HEC-RAS و HEC-GeoRAS

برای شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه و پهنه‌بندی سیل با مدل HEC-RAS، ابتدا اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل از قبیل مشخصات هندسی و مقاطع عرضی رودخانه، مقادیر دبی رودخانه، ضریب زبری آبراهه اصلی و دشت‌سیلابی منطقه مورد مطالعه تهیه

جدول ۴- مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی  
تاریخ رویداد

اعتبارسنجی		واسنجی								معیارهای ارزیابی	ردیف
۲۰۰۵ اکتبر ۱۹	۲۰۰۴ نوامبر ۲۴	۲۰۰۵ مارس ۶	۲۰۰۷ سپتامبر ۲۹	۲۰۰۵ اگوست ۱۰	۲۰۰۵ می ۷	۲۰۰۷ دسامبر ۲۰	۲۰۰۵ فوریه ۲۲				
۳/۱۸	۰/۳۰	۲/۰۴	۰/۵۶	۰/۰۵	۰/۲۲	۱/۳۳	۰/۳۸			۱ درصد خطای دبی اوج	
۹۲/۴۷	۳۳/۶۱	۱۵/۹۴	۷۲/۲۹	۸۳/۸۶	۶۴/۸۶	۵/۰۰	۲۵/۴۲			۲ درصد خطای حجمی	
۲۶/۲۲	۱۰/۰۳	۲/۶۴	۱۵/۷۰	۱۴/۳۷	۶۰/۴۱	۱/۴۴	۵/۸۸			۳ انحراف معیار وزنی دبی اوج	
۰/۸۰	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۷۳	۰/۷۹	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۸۳			۴ ضریب تبیین	
۰/۵۱	۰/۶۸	۰/۸۲	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۵۹	۰/۸۵	۰/۶۲			۵ ضریب همبستگی وزنی	
۰/۹۳	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۶۶	۰/۲۱	۰/۳۸			۶ بایس (انحراف) مدل	
۰/۴۸	۰/۷۶	۰/۸۹	۰/۳۰	۰/۴۷	۰/۶۱	۰/۹۱	۰/۶۹			۷ ناش - سانتکلیف	
۱۳/۹۹	۵/۷۵	۲/۱۰	۹/۷۶	۵۷/۷۳۸	۳۶/۴۳	۱/۰۰	۲/۵۶			۸ میانگین قدرمطلق باقیماندهها	



جدول 4- مقادیر بارش طرح (میلی‌متر) ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه سد بوستان در دوره‌بازگشت‌های مختلف

ایستگاه	دوره بازگشت					
	200	100	50	25	10	5
تمر	109/53	99/31	89/06	78/74	64/90	54/06
گلیداغ	121/34	110/01	98/66	87/23	71/89	59/89

جدول 5 - مقادیر دبی پیک (مترمکعب بر ثانیه) حوضه برای رگبارهای طرح با دوره‌بازگشت‌های مختلف، شبیه‌سازی شده در مدل HEC-HMS به

روش مادکلارک در حوضه آبخیز سد بوستان

دوره بازگشت	200	100	50	25	10	5	2
دبی پیک (m <sup>3</sup> /S)	1586/80	1335/80	1093/50	862/80	578/20	380/00	150/50

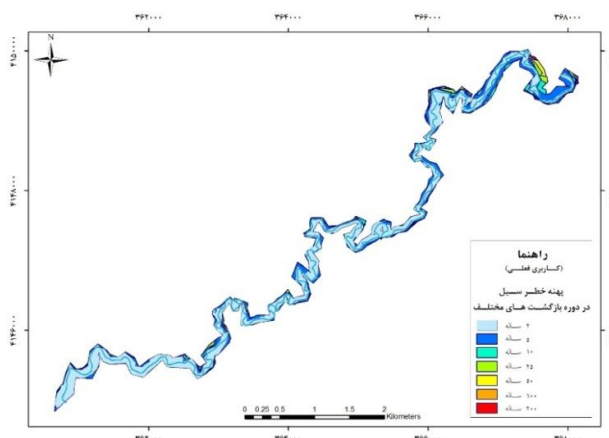
جدول 6- مقادیر ضریب زبری برآورد شده در هر بازه از رودخانه به روش کاون

نوع پارامتر	بازه 1		بازه 2		بازه 3	
	دشت سیلابی	کانال اصلی	دشت سیلابی	کانال اصلی	دشت سیلابی	کانال اصلی
ضریب زبری پایه (n <sub>0</sub> )	0/022	0/023	0/021	0/021	0/020	0/020
درجه بی‌نظمی سطح بستر و کناره (n <sub>1</sub> )	0/001	0/001	0/001	0/001	0/005	0/005
تغییرات مقاطع آبراهه (n <sub>2</sub> )	0/001	0/001	0/001	0/001	0/003	0/003
اثر نسبی موانع (n <sub>3</sub> )	0/000	0/000	0/000	0/000	0/000	0/000
پوشش گیاهی (n <sub>4</sub> )	0/030	0/010	0/022	0/008	0/023	0/005
درجه پیچانرودی (m <sub>s</sub> )	1/200	1/200	1/300	1/300	1/150	1/150
ضریب زبری (n)	0/060	0/042	0/059	0/040	0/059	0/038

جدول 7 - مقادیر مساحت پهنه‌های سیل گیر در دوره‌بازگشت‌های مختلف بر حسب هکتار و درصد هر یک از آن‌ها نسبت به وسعت سیل 200 ساله

در حوضه آبخیز سد بوستان

دوره بازگشت	200	100	50	25	10	5	2
مساحت (ha)	199/25	198/04	196/72	193/16	186/05	175/73	136/94
درصد	100/00	99/39	98/73	96/94	93/38	88/20	68/73



شکل 13- نقشه پهنه‌های تحت خطر سیل منطقه مورد مطالعه برای تمامی دوره‌بازگشت‌ها

رینستورف (24) در ارزیابی روش مادکلارک با معیار کارایی ناش - ساتکلیف مطابقت دارد. مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده پس از واسنجی و اعتبارسنجی (شکل‌های 4 تا 11) نشان می‌دهد که در بیشتر موارد بازوی بالارونده هیدروگراف محاسباتی بر هیدروگراف مشاهداتی تقریباً منطبق است و مقدار دبی پیک نیز تقریباً با هم مساوی است که نشان‌دهنده آن است که مدل به‌خوبی توانسته خصوصیات فیزیکی و پوشش سطح زمین و ویژگی‌های بارندگی را شبیه‌سازی کند. حال آن‌که در بازوی پایین‌رونده هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی، بالاخص در نقطه عطف، انطباقی کامل دیده نمی‌شود. از آن‌جا که بازوی پایین‌رونده هیدروگراف بیانگر شرایط زهکشی حوضه است و فروکش کردن سیل از نقطه عطف به بعد مستقل از خصوصیات بارش می‌باشد (9)، این عدم انطباق می‌تواند به نقشه نوع خاک، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، نقشه کاربری اراضی دریافتی و روش به‌کار رفته برای محاسبه تلفات بستگی داشته باشد که با نتایج آذری و همکاران (1) مطابقت دارد. در واقع مکانیزم تولید رواناب توسط مدل SCS فقط جریان‌های سطحی را خوب برآورد می‌کند و جریان زیرقشری را لحاظ نمی‌کند. در حالی که شاخه نزولی هیدروگراف تا حد زیادی تحت تاثیر جریان زیرقشری هم می‌باشد. در شبیه‌سازی رواناب به‌روش مادکلارک در محیط HEC-HMS برای محاسبه تلفات تنها می‌توان از روش‌های شماره منحنی شبکه‌بندی شده و یا رطوبت خاک شبکه‌بندی شده (SMA) استفاده کرد. روش شماره‌منحنی شبکه‌بندی در طی زمان بارندگی سیستم هیدرولوژیکی را شبیه‌سازی کرده و در واقع به‌صورت تک واقعه‌ای رواناب را محاسبه می‌کند. اما در مقابل روش رطوبت خاک شبکه‌بندی شده (SMA) که تنها مدل پیوسته موجود در HEC-HMS است می‌تواند رفتار شرایط خشک و تر حوضه را شبیه‌سازی کند و تغییرات مقدار رطوبت خاک را بین رویدادهای بارندگی در زمان‌های مختلف شبیه‌سازی کند. این مدل مؤلفه‌های ذخیره (از قبیل باران‌گیرش، گیرش چالابی، گیرش پروفیل خاک، گیرش آب زیرزمینی) و مؤلفه‌های جریان (از قبیل بارش، نفوذ، نفوذ عمقی، رواناب سطحی و جریان آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق) را شبیه‌سازی می‌نماید (14). بنابراین استفاده از این روش می‌تواند در بهبود نتایج شبیه‌سازی موثر باشد اما به دلیل زیاد بودن پارامترهای محاسباتی در این روش کمتر مورد استفاده کاربران قرار می‌گیرد. نبل و همکاران (22) نیز روش محاسبه تلفات را عامل اصلی خطای مدل معرفی کردند و استفاده از روش‌هایی که بتواند نفوذ آب در خاک را بررسی کند در بهبود نتایج شبیه‌سازی مدل موثر دانستند.

برای شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی بازه مورد مطالعه، به دلیل اینکه مدل هیدرولوژیکی در برآورد حجم هیدروگراف‌ها موفق نبود، برای دقت بیشتر، شبیه‌سازی در شرایط جریان پایدار صورت گرفت و

مقادیر دبی پیک، هیدروگراف‌های برآورد شده به روش مادکلارک برای رگبارهای طرح در دوره‌بازگشت‌های مختلف و مقادیر حاصل از ضریب زبری برآورد شده به روش کاون در سه بازه تعیین شده در طول منطقه مورد مطالعه نیز، به ترتیب در جداول 6 و 7 ارائه شده است. جدول 8 نتایج حاصل از مساحت پهنه‌های سیل‌گیر در دوره‌بازگشت‌های مختلف و شکل 13 نیز نقشه‌های پهنه تحت خطر سیل را برای تمامی دوره‌بازگشت‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

## بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر سیل از تلفیق دو مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی استفاده گردید، که برای این امر ابتدا شبیه‌سازی رواناب به روش توزیعی مادکلارک با استفاده از مدل‌های WMS و HEC-HMS انجام شد. نتایج حاصل از ارزیابی نشان داد که مدل در خصوص پیش‌بینی دبی اوج و زمان مربوط به آن می‌تواند نتایج بسیار خوبی را ارائه نماید، به‌طوری‌که در مراحل واسنجی و ارزیابی مدل اختلاف دبی اوج و زمان رسیدن به اوج هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به‌ترتیب کمتر از 3/2 درصد و 2 ساعت می‌باشد (جدول 4)، که با نتایج قویدل فر و همکاران (19)، شعبانلو و هم‌رنگ (8) و پائودل و همکاران (26) مبنی بر کارایی خوب مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی دبی اوج به روش توزیعی مادکلارک مطابقت دارد. لازم به‌ذکر است که مدل در برآورد حجم چندان موفق نبود و نتایج مربوط به حجم سیلاب ناشی از رواناب در هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در واسنجی و ارزیابی مدل، به جزء در دو رویداد بالای 20 درصد برآورد گردید (جدول 4)، که با نتایج هابیت و همکاران (21) مبنی بر رضایت‌بخش نبودن نتایج مدل در برآورد حجم، در شبیه‌سازی به روش توزیعی مادکلارک به دلیل روش به‌کار رفته برای محاسبه تلفات و مکانیزم تولید رواناب که جریان زیرقشری را لحاظ ننموده، مطابقت دارد. با توجه به معیارهای ضریب تبیین یا همبستگی مدل با مقادیر حداقل و حداکثر 0/73 و 0/95 برای تمامی رویدادهای سیل، بایس مدل و میانگین قدر مطلق باقیمانده‌ها می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دارای همبستگی و انطباق قابل قبولی می‌باشند، که با نتایج نبل و همکاران (22) در ارزیابی مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی به روش توزیعی مادکلارک با استفاده از معیارهای مذکور مطابقت دارد. معیار کارایی ناش - ساتکلیف نیز به‌طور معمول برای ارزیابی انواع مدل‌ها استفاده می‌گردد. مقادیر حاصل از برآورد این معیار نشان می‌دهد که مدل پنج رویداد سیل را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کرده است و در سه رویداد دیگر نتایج مدل رضایت‌بخش نمی‌باشد، که با نتایج مولر و

متری کناره های کانال رودخانه می‌باشد که موجب ایجاد تغییرات محسوس در مساحت و عمق سیل در دوره‌های بازگشت‌های پائین می‌گردد ولی با بعد از آن امکان گسترش سیل در حاشیه های رودخانه وجود ندارد. همچنین نتایج نشان داد که از کل مساحت تحت تأثیر سیل 200 ساله، 96/94 درصد مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های با دوره‌بازگشت 25 سال است. غفاری و همکاران (11)، غفاری و امینی (10) و یمانی و همکاران (18) نیز درصد بالایی از پهنه‌ی سیل 200 ساله را مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های زیر 25 سال دانستند.

از مقادیر دبی پیک هیدروگراف‌های برآورد شده از مدل مادکلارک برای رگبارهای طرح با دوره‌بازگشت‌های مختلف استفاده گردید (جدول 6). نتایج جدول 8 نشان داد که وسعت اراضی در معرض خطر سیل در دوره‌های بازگشت از 25 سال به بالا تفاوت چندانی با هم ندارند و به‌طور کلی می‌توان گفت وسعت اراضی در معرض خطر سیل در دوره‌بازگشت‌های مختلف به‌جزء دوره‌بازگشت 2 ساله تفاوت چشم‌گیری با هم ندارند که با نتایج ولیزاده‌کامران و همکاران (16) و قمی‌اوبلی و همکاران (12) مطابقت دارد، که دلیل اصلی آن هندسه کانال رودخانه و محدود بودن پهنه سیل 2 ساله به یک ترانس 1-2

## منابع

- 1- آذری ح، متکان ع.ا، شکبیا ع.ر. و پورعلی س.ح. 1388. شبیه‌سازی و هشدار سیل با تلفیق مدل‌های آبشناس در GIS و برآورد بارش از طریق سنجش از دور، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره نهم، ص 39-51.
- 2- برخوردار م. و چاوشیان س.ع. 1379. پهنه‌بندی سیلاب. مجموعه مقالات کارگاه فنی روش‌های غیرسازهای مدیریت سیلاب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ص 63-80.
- 3- بزرگی ب. و ابراهیمی‌لویه ع. 1385. بررسی نقش آموزش و ارتباطات در ارتقاء آگاهی‌های عمومی با هدف مدیریت ریسک سیلاب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، اولین کارگاه فنی همزیستی با سیلاب، تهران، 25 مرداد ماه، ص 59-74.
- 4- بهرامی س.ع. 1388. بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات هیدرولوژیک حوضه آبخیز سد بوستان - استان گلستان با استفاده از مدل HEC-HMS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، 161 ص.
- 5- پریسای ز، شیخ و، اونق م. و بهره‌مند ع. 1391. مقایسه روش‌های پیل‌گریم و هاف برای تعیین الگوی زمانی بارش در حوضه آبخیز سد بوستان، فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، سال سوم، شماره 1، زمستان 91، ص 119-126.
- 6- خلیلی‌زاده م.، مساعدی ا. و نجفی‌نژاد ع. 1384. پهنه‌بندی خطر سیل در بخشی از محدوده رودخانه زیارت در حوضه آبخیز شهری گرگان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، سال دوازدهم، شماره 4، ص 138-146.
- 7- شریفی‌منش ح. و ابوالقاسمی م. 1378. راهنمای استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS. مرکز تحقیقات آب. 115 ص.
- 8- شعبانلو س. و هم‌رنگ م.ر. 1390. مقایسه هیدروگراف‌های سیلاب برآورد شده توسط مدل‌های یکپارچه و توزیعی (مطالعه موردی حوضه آبخیز کارون)، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ای زنجان، ص 1-8.
- 9- علیزاده ا. 1387. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، 437 ص.
- 10- غفاری گ. و امینی ع. 1389. مدیریت دشت‌های سیلابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطالعه موردی: رودخانه قزل‌اوزن، فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دهم، شماره 32، ص 117-134.
- 11- غفاری گ.، سلیمانی ک. و مساعدی ا. 1386. پهنه‌بندی خطر و ارزیابی خسارت سیل با استفاده از HEC-GeoRAS (مطالعه موردی رودخانه بابلرود)، نشریه دانشکده منابع طبیعی، دوره 60، شماره 2، ص 439-451.
- 12- قمی‌اوبلی ف.، صادقیان م.ص.، جاوید ا.ح. و میرباقری س.ا. 1389. شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه کارون حدفاصل بند قیر تا اهواز)، فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال پنجم، شماره 1، ص 105-115.
- 13- کلاتری اسکویی ع.، تقیان ب. و آل شیخ ع.ا. 1389. راه‌حلی برای استفاده از مدل هیدرولوژیکی مادکلارک در محیط HEC-HMS در ایران با استفاده از GIS، مجله مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، سال یکم، شماره سوم، ص 1-14.
- 14- موسوی ندوشنی س. و داننده‌مهر ع. 1384. سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی (HEC-HMS)، انتشارات دیباگران تهران، 295 ص.
- 15- وزیری ف. 1371. تعیین روابط منطقه‌ای بارندگی‌های کوتاه مدت در ایران. طرح پژوهشی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی. 28 ص.
- 16- ولیزاده کامران خ. 1386. کاربرد GIS در پهنه‌بندی خطر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه رود ليقوان)، مجله فضای جغرافیایی، سال هفتم، شماره 20، ص 153-169.
- 17- وهابی ج. 1385. پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی (مطالعه موردی طالقان رود)، مجله پژوهش و

سازندگی، شماره 71، ص 33-40.

- 18- یمانی م، تورانی م. و چزغه س. 1391. تعیین پهنه‌های سیل‌گیر با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، ص 1-16.
- 19- Ghavidelfar S., Alvankar S.R. and Razmkhah A. 2011. Comparison of the lumped and quasi-distributed clark runoff models in simulating flood hydrographs on a semi-arid watershed. *Water Resour Manage*, 25: 1775-1790.
- 20- Hill M. 2001. Floodplain delineation using the HEC-GeoRas extension for ArcView. Brigham Young University, 514 p.
- 21- Hoblit B.C. and Curtis D. 2002. Integration of radar rainfall into hydrologic models, 9th International Conference on Urban Drainage, Portland, Oregon, USA, Pp: 1-9.
- 22- Knebl M.R., Yang Z.L., Hutchison K. and Maidment D.R. 2005. Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio river basin summer 2002 storm event, *Journal of Environmental Management*, 75: 325-336.
- 23- Kull D. and Feldman A. 1998. Evolution of Clark's unit graph method to spatially distributed runoff, *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, 3(1): 9-19.
- 24- Muller A. and Reinstorf F. 2011. Exploration of land-use scenarios for flood hazard modeling – the case of Santiago de Chile, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 8: 3993-4024.
- 25- Napraden I. and Chira R. 2006. The hydrological modeling of the Usturoi valley-using two modeling programs - WetSpa and HEC-RAS. *J. of Earth and Environmental Sciences*, 1(1): 53 - 62.
- 26- Paudel M., Nelson E.J. and Scharffenberg W. 2009. Comparison of lumped and quasi-distributed Clark runoff models using the SCS curve number equation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(10): 1098-1106.
- 27- Peters J. and Easton D. 1996. Runoff simulation using radar rainfall data, *Water Resource Bulletin*, AWRA, 32(4): 753-760.
- 28- Pilgrim D.H. and Cordery I. 1975. "Rainfall Temporal Patterns for Design Floods", *Journal of Hydraulic- Division*, ASCE, 101: 1. 81-95.
- 29- Slobodan P.S. 2009. *Managing Water Resources*. Unesco Publishing, Pp. 295-429.

## Flood Hazard Zonation by Combining Mod-Clark and HEC-RAS Models in Bustan Dam Basin, Golestan Province

Z. Parisay<sup>1\*</sup> - V. Sheikh<sup>2</sup> - M. Ownegh<sup>3</sup> - A. Bahremand<sup>4</sup>

Received: 25-12-2013

Accepted: 23-06-2014

### Abstract

Flood is one of the devastating phenomena which every year incurs casualties and property damages. Flood zonation is an efficient technique for flood management. The main goal of this research is flood hazard and risk zonation along a 21 km reach of the Gorganrud river in Bustan dam watershed considering two conditions: present landuse condition and scenario planning. To this end a combination of a hydrologic model (the distributed HEC-HMS with the Mod-Clark transform option) and a hydraulic model (HEC-RAS) were used. The required inputs to run the Mod-Clark module of HEC-HMS are gridded files of river basin, curve number and rainfall with the SHG coordinate system and DSS format. In this research the input files were prepared using the Watershed Modeling System (WMS) at cell size of 200 m. Since the Mod-Clark method requires rainfall data as radar format (NEXRAD), the distributed rainfall mapseries with time intervals of 15 minutes prepared within the PCRaster GIS system were converted to the DSS format using the asc2dss package. also the curve number map was converted to the DSS format using HEC-GeoHMS. Then, these DSS files were substituted with rainfall and curve number maps within the WMS. After calibration and validation, model was run for return periods of 2, 5, 10, 25, 50, 100 and 200 years, in two conditions of current landuse and scenario planning. The simulated peak discharge data, geometric parameters of river and cross section (at 316 locations) data prepared by the HEC-GeoRAS software and roughness coefficients data, were used by the HEC-RAS software to simulate the hydraulic behavior of the river and flood inundation area maps were produced using GIS. The results of the evaluation showed that in addition to the percent error in peak flow, less than 3.2%, the model has a good performance in peak flow simulation, but is not successful in volume estimation. The results of flood zones revealed that from the total area in floodplain with return period of 200 years, 96.94% of the area is exposed to the return period of 25 years floods, and a main part of damages go to the floodplains which are under a return period of 25 years floods.

**Keywords:** MadClark, WMS, HEC-HMS, HEC-RAS, Zonation, Hazard, Bustan dam

---

1,2,3,4- PhD Student, Associate Professor, Professor and Associate Professor, Department. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, Respectively  
(\* - Corresponding Author Email: Z.parisay@gmail.com)