

شبیه‌سازی و هشدار سیل با تلفیق مدل‌های آبخش‌شناسی در GIS و بر آورد بارش از طریق سنجش از دور

حمید آذری^(۱*)، علی اکبر متکان^۲، علیرضا شکیبا^۳ و سید حسین پورعلی^۴

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، مرکز سنجش از دور، دانشگاه شهید بهشتی

۳. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، مرکز سنجش از دور، دانشگاه شهید بهشتی

۴. مربی گروه سنجش از دور و GIS

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۴

تاریخ پذیرش: ۸۷/۲/۸

چکیده

بدون تردید سیلاب فاجعه‌بارترین حادثه طبیعی است. شاید در نگاه نخست، ابعاد حوادثی از قبیل زلزله و یا آتشفشان، وسیع‌تر از حوادث دیگر طبیعی به نظر آید ولی آمارها حاکی از آن است که سیلاب چه از نظر تلفات جانی و چه از نظر تلفات مالی مقام اول را در میان حوادث دیگر داراست و هشدار و پیش‌بینی سیلاب می‌تواند به عنوان یکی از مؤثرترین روشهای غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب در کاهش خطرات و خسارات ناشی از سیلاب مطرح شود. با توجه به سیل خیز بودن استان گلستان، به‌ویژه حوضه رودخانه مادرسو، این منطقه به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب گردید. از آنجا که بارش در ۲۰ مرداد سال ۱۳۸۴ منجر به وقوع سیلاب در این منطقه شده است، تصاویر ماهواره NOAA سنجنده AVHRR در تاریخ مذکور جهت انجام این تحقیق انتخاب شده است. در این تحقیق ابتدا براساس عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب، تمام لایه‌های مورد نیاز در GIS تهیه و ساخته شد، سپس بانک اطلاعات مکانی پارامترهای مورد نیاز شامل مسیر رودخانه، مقاطع عرضی، سواحل، جهت جریان رواناب و مدل بارش شبکه‌ای MODClark تشکیل و وارد مدل هیدرولوژیکی گردیده است. برای تشخیص و طبقه‌بندی ابر و تخمین بارش به ترتیب داده‌های ماهواره NOAA/AVHRR، طبقه‌بندی شی‌گرا و روش شاخص ابر مورد استفاده قرار گرفته است. به این ترتیب میزان نرخ بارش توسط هریک از ابرهای طبقه‌بندی شده تخمین زده شد. همچنین از طریق نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و دیگر ورودی‌های مدل هیدرولوژیکی، میزان رواناب ناشی از بارش برآورد شده و نهایتاً با توجه به وضعیت توپوگرافی منطقه، عمق و سرعت جریان آب ناشی از این رواناب از مدل هیدرولیکی مجدداً به محیط GIS ارسال شد و نقشه پهنه سیل بدست آمد. در این تحقیق با تلفیق داده‌های سنجش از دور در قالب تصاویر ماهواره‌ای و مدل بارش - رواناب و مدل هیدرولیکی، میزان گسترش سیلاب در منطقه مشخص گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که کمک طبقه‌بندی ابر به روش شی‌گرا می‌تواند به نتایج قابل قبولی دست یافت به طوری که در این تحقیق دقت کلی طبقه‌بندی حدود ۰/۹۰۵ و ضریب کاپا در حدود ۰/۸۸۷ برآورد شده است. تعیین نرخ بارش هر ابر، یکی از مؤلفه‌های اصلی هشدار و پیش‌بینی سیلاب می‌باشد، لذا در این تحقیق مشخص شده است که ابر کومولوکانتجستوس با نرخ بارش ۰/۸ mm/h و استراتوکومولوس با نرخ بارش ۲/۲ mm/h به ترتیب بیشترین و کمترین سهم در تشکیل سیلاب مورد مطالعه را داشته‌اند. با توجه به هیدروگراف سیل بدست آمده در میان دست و پایین دست حوضه و با فرض شروع محاسبات از زمان شروع بارش در منطقه مورد مطالعه، پهنه سیل و زمان وقوع آن بین ۲۰ تا ۳۳ ساعت زودتر از زمان اوج سیلاب پیش‌بینی شد.

واژه‌های کلیدی: تخمین بارش، سنجش از دور و GIS، شبیه‌سازی سیل، مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی

مقدمه

آمارها حاکی از آن است که سیلاب چه از نظر تلفات جانی و چه از نظر تلفات مالی مقام اول را در میان حوادث دیگر داراست (اجالو، ۱۳۸۵). پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش در مناطق خشک و نیمه خشک باعث ایجاد سیلاب‌های مخرب و وارد آمدن خسارات جانی و مالی فراوانی می‌گردد. با توجه به شرایط اقلیمی، بخش مهمی از کشور جزو مناطق خشک و نیمه خشک به‌شمار می‌رود. این امر کشور ایران را به لحاظ سیل خیزی در رتبه هفتمین کشور دنیا قرار داده است (نقدی، ۱۳۸۵). در کشور ایران، در طی چهار سال اخیر ۱۲۶۰ سیل با میانگین سالانه ۳۰ سیل رخ داده است، که این آمار حاکی از رشد وقوع سیل در سال‌های اخیر به میزان ۴۰٪ می‌باشند (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵). تجارب ناشی از احداث سازه‌هایی همچون سدها، خاکریزها، دیواره‌های سیل‌بند و بطور کلی روش‌های سازه‌ای به منظور کنترل سیلاب نشان می‌دهد که این سازه‌ها اگر چه نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش خسارات سیل دارند، اما علاوه بر اینکه ظرفیت طراحی این سازه‌ها باید زیاد باشد، ممکن است به دلایل محیطی، نامناسب بوده و عملیات ساخت و نگهداری آنها مشکل و بعضاً غیر ممکن باشد. در نتیجه در چنین مواردی روش‌های غیر سازه‌ای می‌تواند مؤثرتر واقع شود. امروزه سیستم‌های هشدار و پیش‌بینی سیل در کشورهای سیل خیز، نظیر کشور پر جمعیت چین نقش حیاتی و پر اهمیتی داشته و کاهش ۹۹ درصدی تلفات جانی در سال ۱۹۹۷ نسبت به سال ۱۹۹۱ در بنگلادش، اهمیت استفاده از این سیستم‌ها را مشخص می‌کند. لذا هشدار سیل برای مدیریت بحران و کاهش خسارات جانی و مالی به عنوان یکی از مؤثرترین روش‌های غیر سازه‌ای مدیریت سیلاب مطرح می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵).

محاسباتی که برای بارش متداول است، در بیشتر نقاط جهان، برای تعیین خصوصیات کلی بارش کافی نمی‌باشند. زیرا محاسبات بارش از روی مشاهدات زمینی، در اکثر مواقع به صورت نقطه‌ای انجام می‌شود در حالی که بارش خود یک پدیده جوی است. در نتیجه استفاده از ابزارهای جدید مانند ماهواره‌های سنسور از دور به عنوان یک مکمل برای پر کردن این خلاء بسیار مورد نیاز می‌باشند. بر خلاف اکثر داده‌های متداول، بسیاری از داده‌های سنسور از دور از امتیاز کسب داده در زمان واقعی بهره می‌برند. همچنین ماهواره‌ها قادر هستند تا از مناطق صعب العبور و دور از دسترس، داده کسب کرده و این داده‌ها می‌توانند برای پوشش سینوپتیکی یک منطقه جمع‌آوری شوند. بنابراین در طول ۳۰ سال اخیر ماهواره‌ها برای اکتساب داده‌های بارش به هر دو صورت بلند مدت (در بازه چندساله و در مقیاس قاره‌ای) و کوتاه مدت (در بازه روزانه و حتی ساعتی) استفاده شده‌اند (متکان، ۱۹۹۹). سابقه تحقیق در سه بخش کلی شامل تخمین بارش، شبه سازی هیدروگراف سیل و روندیابی سیل خلاصه می‌گردد. به عنوان نمونه:

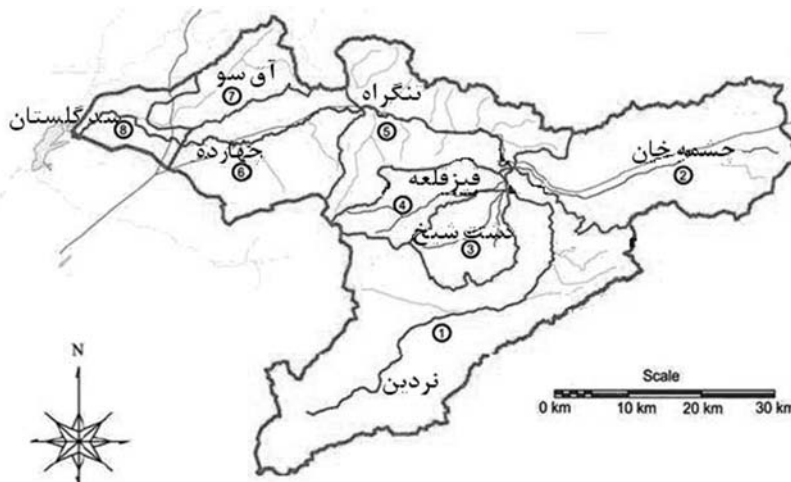
در بسیاری از مطالعات صورت گرفته توسط داده‌های سنسور از دور تنها به تخمین بارش به عنوان اصلی ترین عامل ایجاد سیلاب پرداخته شده است. از این دسته می‌توان به کارهای Moses and Barrett(1986); Bayasgalan and Erdenetuya(1987); Gonzales and Velasco(1995); Lensky and Rosenfeld(1996); Mishra and Sharma (2001); Budhakoontharoen (2003) و Billa و همکاران (۲۰۰۴) اشاره کرد. تفاوت تحقیق حاضر با مطالعات ایشان، تلفیق تخمین بارش با مدل‌های آشناس برای شبه سازی سیلاب می‌باشد.

عده‌ای از محققین نیز از داده‌های رادار برای تخمین بارش و تلفیق با مدل هیدرولوژیکی برای هشدار سیل استفاده کرده‌اند که به عنوان مثال می‌توان از Hoblit, Hoblit and Curtis(2002) and Curtis(2003) و همکاران از Kanebl و همکاران (۲۰۰۵) و Bedient و همکاران (۲۰۰۳) نام برد. خلاً موجود در کار تحقیقاتی ایشان نبود پهنه بندی سیلاب و تعیین منطقه سیلاب گرفته می‌باشد که در تحقیق حاضر با کمک مدل هیدرولوژیکی منطقه سیلابی و عمق سیلاب با در نظر گرفتن مدل رقمی ارتفاعی منطقه تعیین گردیده است.

عده‌ای از هیدرولوژیست‌ها نیز درخصوص شبه سازی هیدروگراف سیل، تحقیقاتی انجام داده‌اند که Zhang و همکاران(۲۰۰۰)، De Hoo و همکاران (۲۰۰۱) از آن جمله‌اند. ایشان نیز تنها بر شبه سازی هیدروگراف سیل تأکید داشته‌اند. بعضی نیز از تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین بارش و تلفیق با مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی برای روندیابی و هشدار سیل بهره گرفته‌اند که در این خصوص به کارهای Billa و همکاران (۲۰۰۶) و Kafle و همکاران(۲۰۰۶) می‌توان اشاره کرد. تفاوت تحقیق حاضر با مطالعات ایشان استفاده از روش طبقه بندی شیء‌گرا برای طبقه بندی مناسب‌تر ابر می‌باشد.

در مطالعات انجام شده در داخل کشور، بیشتر به تعیین سیل خیزی زیر حوضه‌های مختلف با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی پرداخته شده است که مطالعات خسروشاهی (۱۳۸۰) در آبخیز دماوند و جوکار(۱۳۸۱) در رودخانه شاپور با مدل HEC-HMS از آن جمله می‌باشد.

در ایران بر روی رود کارون و استان گلستان، سامانه هشدار سیل به صورت سازه‌ای و تلفیق مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع باران و مدل‌های آشناسی مطالعه و عملیاتی شده است. اما در مطالعات انجام شده، استفاده معدودی از بارش تخمینی از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی به منظور شبه سازی سیلاب و هشدار سیل در ایران صورت گرفته است. در این تحقیق سعی شده با توجه به توانمندی تکنیک‌های سنسور از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در تصمیم‌گیری‌ها و به‌کارگیری داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای به تخمینی مناسب و یکپارچه برای منطقه مورد مطالعه دست یافته و از آن برای پیش‌بینی و هشدار دهی سیل



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه (زیر حوضه مادرسو در استان گلستان)

مواد و روش‌ها

نقشه‌ها و داده‌های مورد نیاز

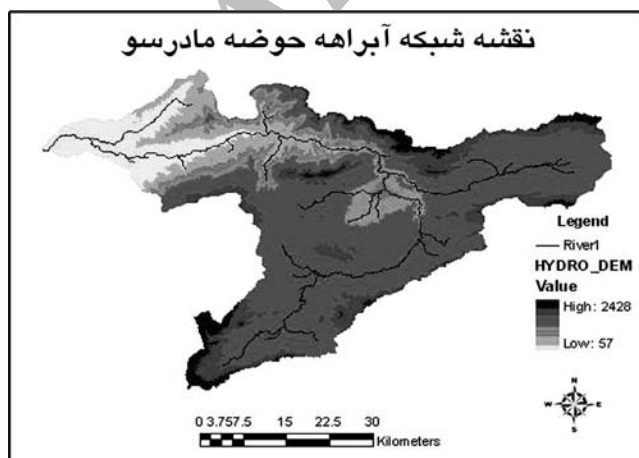
تعدادی از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده برای این تحقیق در تاریخ ۸۶/۱۰/۲۰ از آدرس سایت NOAA دریافت شده است و تعدادی نیز از سازمان فضایی ایران و دانشکده سنجش از دور دانشگاه تبریز در اختیار مؤلفان قرار گرفته است و بر اساس کلیه اطلاعات بهترین تصویر برای انجام این مطالعه انتخاب گردیده است. نقشه‌های مورد نیاز شامل (توپوگرافی، آبراه‌ها، کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک) از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور و سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه شده و داده‌های مشاهداتی بارش و دبی نیز از مرکز تحقیقات منابع آب ایران (تماب) و سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان اخذ شده است.

تصاویر ماهواره‌ای: جهت تخمین بارش از تصاویر ماهواره NOAA ۱۵ سنجنده AVHRR استفاده شده است. از آنجا که یکی از سنگین‌ترین بارش‌ها در سطح این حوضه به مقدار ۸۰ تا ۱۷۶ میلی‌متر در ۲۰ مرداد سال ۱۳۸۴ رخ داده است و منجر به وقوع

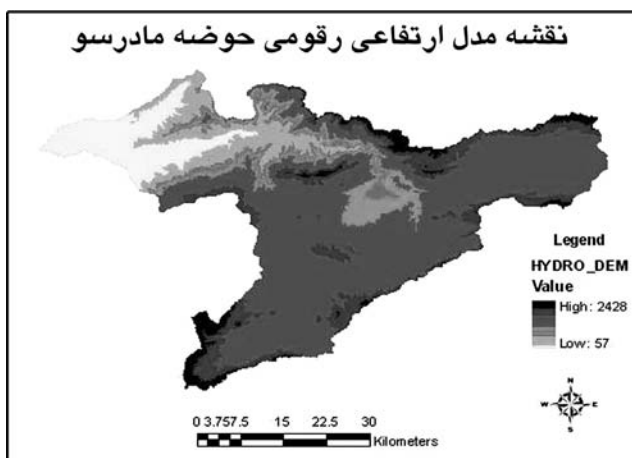
استفاده گردد. هدف از ارائه این مقاله، بررسی و کاربرد سنجش از دور و GIS برای برآورد ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی به منظور پیش‌بینی و شبیه‌سازی سیل در حوضه آبریز مادرسو در استان گلستان می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه مادرسو با مساحت حدود ۲۴۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که در شرق استان گلستان و قسمتی از استان خراسان شمالی و استان سمنان بین طول جغرافیایی 21° و 55° و 28° شرقی و عرض جغرافیایی 36° و 37° شمالی واقع شده است و به ۸ زیرحوضه اصلی تقسیم شده است (شکل ۱). طول مسیر اصلی بستر رودخانه حدود ۱۴۲ کیلومتر می‌باشد. جمعیت حوضه مادرسو در سال ۱۳۸۴، ۹۳۱۴۱ نفر بوده که ۶۸۸۲ نفر (۳/۵۰ درصد) در مناطق سیل خیز که شامل ۴۴ روستا می‌باشد زندگی می‌کنند (سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۳۸۴).



شکل ۳- شبکه آبراهه حوضه مادرسو



شکل ۲- مدل ارتفاعی رقومی منطقه

در مدل هیدرولوژیکی از قبیل نقشه شماره منحنی^۲ و ضریب زبری مانینگ در مدل هیدرولیکی رودخانه، از نقشه های کاربری اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور استفاده شده است (شکل ۴).

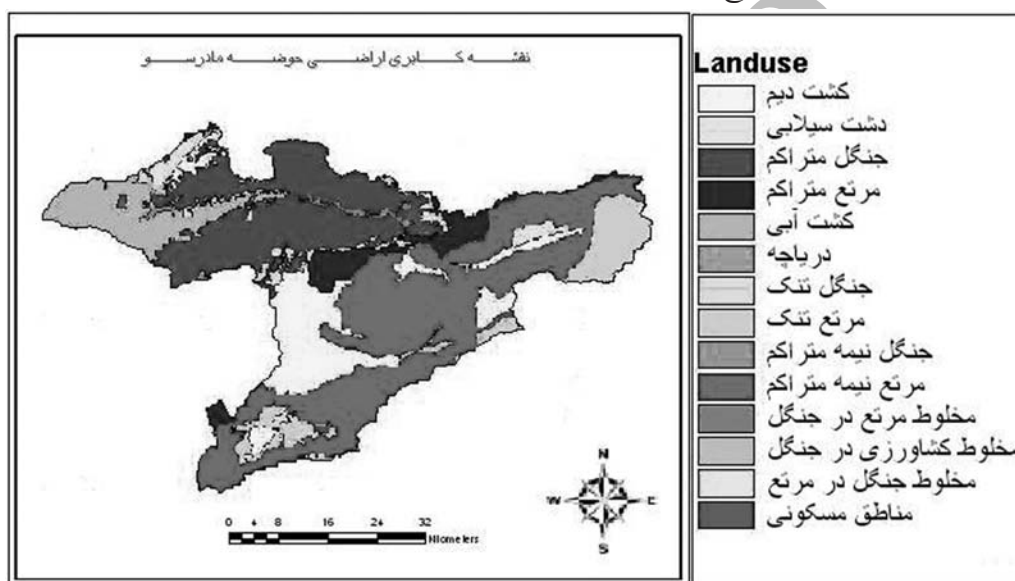
نقشه گروه های هیدرولوژیکی خاک: برای استخراج و تهیه نقشه شماره منحنی علاوه بر نقشه کاربری اراضی، نیاز به اطلاعاتی در مورد نفوذ پذیری خاک می‌باشد که اطلاعات مورد نیاز از سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان در سال ۱۳۸۶ تهیه گردید و به طور جداگانه به عنوان یکی از ورودی های مدل هیدرولوژیکی و به صورت نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک به کار گرفته شده است (شکل ۵).

سیلاب در این منطقه گردیده است، تصویر مربوط به محدوده جغرافیایی حوضه مورد بررسی شامل ۵ باند اصلی مربوط به در تاریخ ۹ آگوست ۲۰۰۵ مورد استفاده قرار گرفته است.

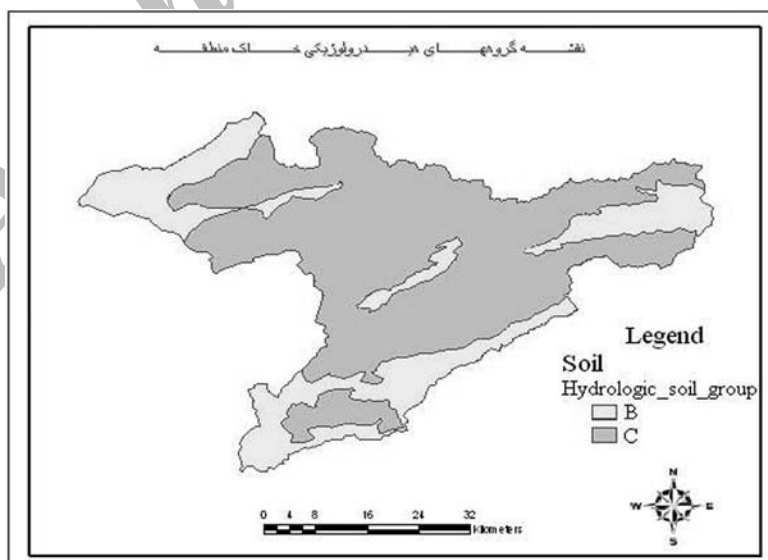
نقشه توپوگرافی: مدل ارتفاعی رقومی^۱ یکی از ورودی‌های اصلی تحقیق می باشد که با تلفیق اطلاعات ارتفاعی موجود با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از حوضه مورد نظر تهیه شده است (شکل ۲).

نقشه شبکه آبراهه: از اطلاعات مربوط به رودخانه های اصلی و فرعی حوضه آبریز از قبیل طول رودخانه، شیب رودخانه و خروجی زیر حوضه‌ها و محل اتصال آنها به هم و سایر اطلاعات فیزیوگرافی حوضه جهت ورود به مدل هیدرولوژیکی استفاده شده است (شکل ۳).

نقشه کاربری اراضی: به منظور استخراج ضرایب مورد نیاز



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی حوضه مادرسو (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۸۶)



شکل ۵- نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه (سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۸۶)

1. DEM (Digital Elevation Model)
2. CN (Curve Number)

که منجر به وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه گردیده است از جمله اطلاعاتی بود که برای شبیه سازی سیل استفاده شد. در جدول ۱ اطلاعات این ایستگاهها آورده شده است.

ایستگاههای بارش سنجی: اطلاعاتی از قبیل موقعیت ایستگاهها، پراکندگی و یا همگنی ایستگاهها و مقدار بارش ثبت شده در آنها در تاریخ ۲۰ مرداد سال ۱۳۸۴ و در طی مدت بارشی

جدول ۱- باران ثبت شده در ایستگاههای واقع در حوضه مادرسو در ۲۰ مردادماه ۸۴

مقدار باران mm	مختصات جغرافیایی				نام ایستگاه
	طول جغرافیایی E		عرض جغرافیایی N		
	درجه	دقیقه	درجه	دقیقه	
۸۵	۵۶	۰۸	۳۷	۱۸	چشمه خان
۹۸	۵۶	۰۱	۳۷	۱۹	دشت
۱۱۳	۵۵	۴۸	۳۷	۱۷	دشت شاد
۷	۵۵	۲۷	۳۷	۱۵	گالیکش
۱۲	۵۵	۴۷	۳۷	۰۲	نردین
۳۳	۵۵	۳۷	۳۷	۳۱	پیشکمر
۱۷۵	۵۶	۱۹	۳۷	۲۰	رباط قربیل
۱۱۰	۵۵	۵۰	۳۷	۱۰	سود اغلان
۱۳۷	۵۵	۴۷	۳۷	۲۴	تنگراه
۱۴	۵۵	۲۸	۳۶	۵۵	تیل آباد

شده است. همچنین باندهای مادون قرمز ماهواره (باندهای ۳، ۴ و ۵) برای تعیین دمای روشنایی استفاده شده است. یکی از عوامل تأثیرگذار در تشخیص انواع ابر عامل بافت و شکل ابر است که در روش شیء گرا این عوامل مورد توجه قرار می گیرد (حاجی میر رحیمی، ۱۳۸۷). روش بکارگرفته شده برای طبقه بندی ابرها در این تحقیق روش ترکیبی است که با استفاده از روش طبقه بندی شیء گرا و در نظر گرفتن محدوده ارتفاعی و دمای قابل قبول برای ابر انجام می شود. پس از قطعه بندی در مرحله طبقه بندی، کلاس ابرها و کلاس بدون ابر تعیین شده و با استفاده از معیارهایی^۱ که باعث تمایز انواع ابرها از یکدیگر می شوند و با استفاده از آستانه مناسب، هر ابر در کلاس مخصوص به خود طبقه بندی شده است. در نتیجه تصویر به هفت کلاس ابر و یک کلاس بدون ابر (زمین و دریا) بشرح ذیل کلاسه بندی گردید:

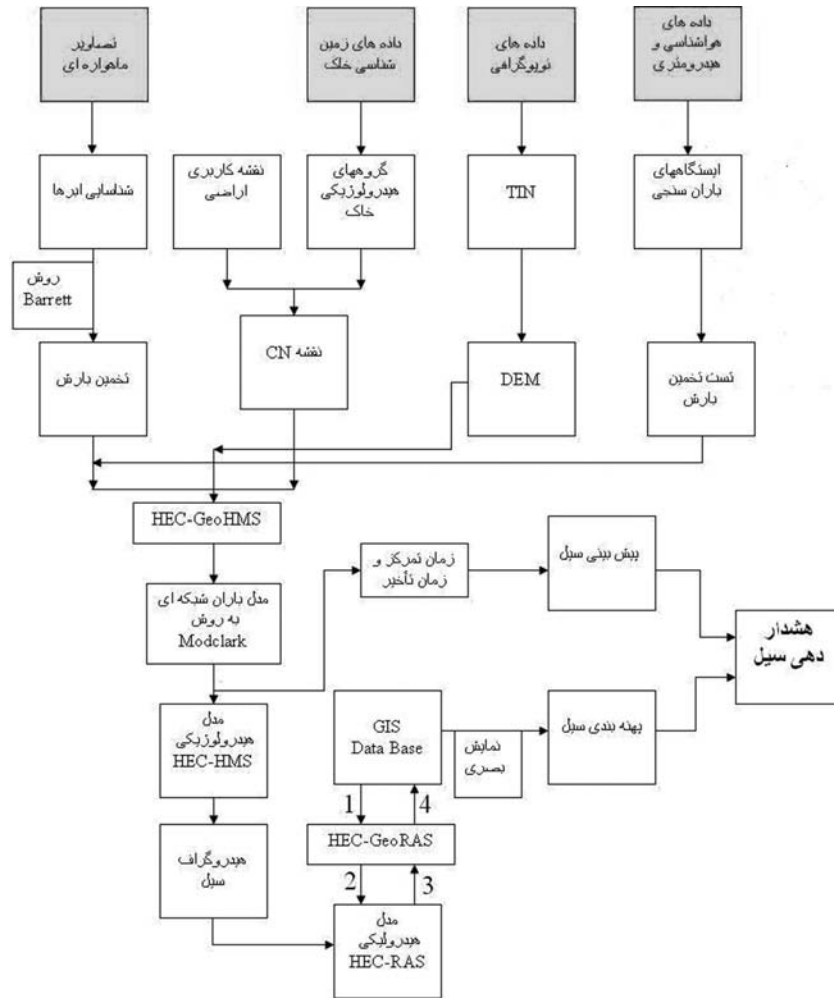
- ۱- نیمبو استراتوس ۲- سیروس ۳- کومولونیمبوس ۴-
- کومولوس ۵- کومولوس کانجستوس ۶- استراتوکومولوس
- ۷- استراتوس ۸- بدون ابر (زمین و دریا).

در شکل های ۷، ۸ و ۹ به ترتیب تصاویر مربوط به باند مرئی و مادون قرمز ماهواره NOAA/AVHRR و انواع ابرهای طبقه بندی شده نشان داده شده اند.

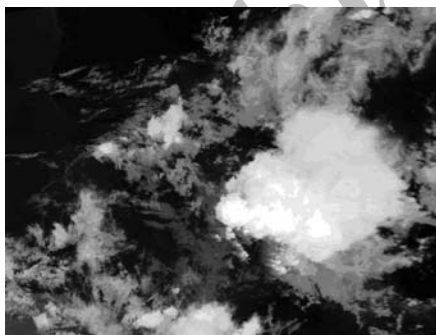
ایستگاههای هیدرومتری: اطلاعات حاصل از این ایستگاهها مانند دبی ساعتی سیل، دبی-اشل و هیدروگراف های حاصل از آن از مرکز تحقیقات منابع آب ایران تهیه شده و برای واسنجی مدل های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفته است. متأسفانه ایستگاه تنگراه در میانه حوضه تنها ایستگاه دارای اطلاعات می باشد که هیدروگراف مشاهداتی این ایستگاه در قسمت نتایج (شکل ۱۲) نشان داده شده است.

روش تحقیق

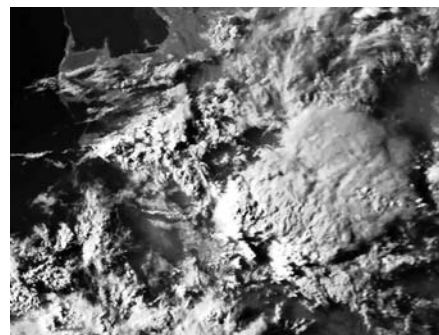
فرایند تحقیق به طور خلاصه، در شکل ۶ آورده شده است. پس از اعمال پردازش تصویر، برای انجام طبقه بندی بهتر و دقیق تر ابرها علاوه بر پنج باند اصلی ماهواره NOAA، نیاز به یکسری باندهای فرعی (دمای روشنایی باند ۳ و ۴ و ارتفاع ابر) می باشد که از طریق فرمول های مرتبط در نرم افزار PCI Geomatica تولید شدند. باندهای مرئی ۱ و ۲ برای تعیین ضریب بازتاب (Albedo) مورد استفاده قرار گرفته اند. علاوه بر این، تصاویر باند مرئی برای مشخص کردن شکل ابر، ضخامت، بافت و الگوی ساختاری آن به کار رفته است. اطلاعات باند مرئی با تصاویر باند مادون قرمز به منظور تعیین تقریبی ارتفاع ابر، مقایسه



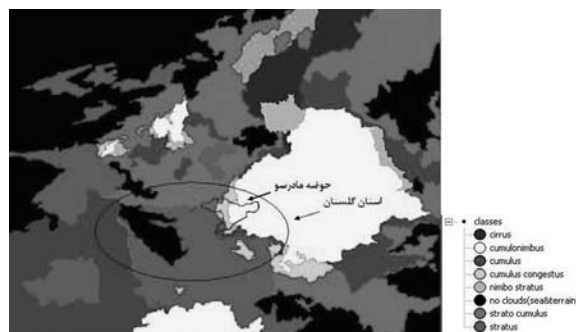
شکل ۶- نمایش شماتیک مدل مورد استفاده برای هشداردهی سیل



شکل ۸- بانده ۴ ماهواره NOAA/AVHRR



شکل ۷- بانده ۱ ماهواره NOAA/AVHRR



شکل ۹- ابرهای طبقه بندی شده با eCognition

پس از تعیین نرخ بارش هر ابر از طریق فرمول (۲) که معروف به فرمول Barrett می باشد، مقدار بارش با فرض یکنواختی آن در سطح هر پلیگون و وابسته نبودن به ارتفاع منطقه، در زیر حوضه مادرسو تعیین شده است (Barrett and Martin, 1981).

$$R = \left(\sum_{i=1}^n k_i \times A_i \right) \times \Delta t \quad (2)$$

R: مقدار بارش تجمعی روی حوضه در زمان Δt
i: تعداد کلاسهایی که از روی داده های VIS-IR بدست می آید.
 K_i : شدت بارش i
 A_i : درصد مساحت پوشیده شده توسط ابر کلاس i

پیش پردازش و پردازش هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوضه در مدل های آشناس

اولین مرحله کار در HEC-GeoHMS، پیش پردازش زمین می باشد. در این مرحله، مدل رقومی زمین به عنوان ورودی استفاده شده است تا هشت مجموعه داده (پرکردن چاله ها، تعیین جهت جریان، توده جریان، معرفی آبراهه، قطعه بندی آبراهه، توصیف حوضه آبریز، پردازش سطح حوضه آبریز و ترکیب حوضه آبریز) بدست آید که مجموعاً الگوی زهکشی حوضه را نشان می دهند و زیر حوضه ها و مسیر رود را توصیف می کنند.

برای مدل سازی هیدرولوژیکی از روش مدل سازی توزیعی ModClark استفاده شده است که برای روش بارش سلولی^۲ در HEC-HMS مورد نیاز است. فایل ModClark توسط تطبیق یک شبکه با زیر حوضه ها بدست می آید که در این مطالعه از شبکه هیدرولوژیکی استاندارد^۳ استفاده شده است. فایل پارامتر سلول - شبکه ای ModClark شامل شماره منحنی شبکه ای^۴ نیز می باشد. در این مرحله، از داده خاک و کاربری اراضی به منظور تولید نقشه شماره منحنی^۵ شبکه ای منطقه مورد مطالعه در HEC-GeoHMS استفاده شده است. زمان تأخیر حوضه با استفاده از معادله ۳ براساس روش شماره منحنی^۶ مورد محاسبه قرار گرفته است.

$$\text{Lag} = \frac{(L^{0.8} \times (S+1)^{0.7})}{(1900 \times Y^{0.5})} \quad (3)$$

Lag = زمان تأخیر حوضه (ساعت)
L = طول هیدرولیک حوضه (پا)
Y = شیب حوضه (%) (در HEC-GeoHMS محاسبه می شود)
S = نمایه نگهداشت آب در داخل حوضه (اینچ) که از فرمول (۴) بدست می آید:

$$S = \frac{1000}{\text{CN}} - 10 \quad (4)$$

CN نمایه خصوصیات حوضه از نظر نفوذپذیری است که تقریباً برابر شماره منحنی است (علیزاده، ۱۳۸۲).
به منظور شبیه سازی بارش و رواناب و تعیین هیدروگراف خروجی از حوضه از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده

از آنجا که منطقه مورد مطالعه قسمت شرقی استان گلستان را در برمی گیرد و دارای مساحتی در حدود ۲۴۰۰ کیلومتر مربع می باشد، برای مطالعات پوشش ابر منطقه، نیاز به منطقه وسیع تری احساس می شد که تشخیص ابر از لحاظ بصری راحت تر و با وضوح بیشتری صورت گیرد، لذا صرفاً برای تعیین نرخ بارش ابرها به ناچار کل استان گلستان با وسعت بیش از ۱۳۰۵۰ کیلومتر مربع بر روی تصویر ماهواره ای انتخاب شد.

با توجه به شکل ۹ از بین ۷ کلاس ابر تعیین شده در تصویر ماهواره ای، ۵ نوع ابر در کل استان گلستان دیده می شود. برای تعیین نرخ بارش ابرها با فرض تغییرات خطی بارش در سطح منطقه، از طریق ایجاد پلیگون تیسسن^۱ در نرم افزار ArcGIS برای ۱۱ ایستگاه بارش سنجی، ۱۰ منطقه پلیگونی بدست آمد که از طریق تلفیق تصویر ماهواره ای و نقشه پلیگونی تیسسن، نرخ بارش هر کلاس در کل استان گلستان به کمک معادله ۱ تعیین شده است.

$$R = \frac{1}{A} (A_1 \times a + A_2 \times b + A_3 \times c + A_4 \times d + A_5 \times e) \quad (1)$$

A_1 تا A_5 : تعداد پیکسل های حاوی کلاس ابری ۱ تا ۵
R: مقدار بارش ثبت شده برای هر زیر منطقه از روش پلی گون تیسسن

a تا e: ضرایب ثابت هستند. (با داشتن بارش حداقل ۵ پلیگون، ۵ معادله و ۵ مجهول خواهیم داشت که از این طریق ضرایب a تا e بدست آمدند و پلیگون های اضافه برای سرشکنی مقادیر تعیین شده استفاده شدند).

A: کل پیکسل های منطقه پلیگونی می باشد.
از آنجا که زمان بارش حدود ۱۲ ساعت به طول انجامیده بود، با تقسیم ضرایب a تا e بر ۱۲، متوسط نرخ بارش هر کلاس ابری بر حسب میلیمتر بر ساعت تعیین می شود (Mishra & Sharma, 2001). به این ترتیب سهم بارش هر ابر در کل بارش منطقه بدست آمد. نرخ بارش هر کلاس ابری طبق جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- نرخ بارش تخمینی برای هر کلاس ابر

کلاس ابر	متوسط نرخ بارش (mm/h)
کومولوکانجستوس	۱۰/۸
کومولونیمبوس	۸/۱
استراتوس	۳/۱
کومولوس	۲/۸
استراتوکومولوس	۲/۲

1. Thiessen
2. Grid-based precipitation
3. SHG (Standard Hydrologic Grid)

4. Grid Curve Number
5. Curve Number Method

GIS اصلاح شد که در واقع توپوگرافی شرایط طبیعی رودخانه می‌باشد. در نتیجه شرایط جهت تعیین بستر رودخانه و پهنه بندی سیلاب مهیا شده است.

نتایج و بحث

با توجه به آنچه که ذکر شد و همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده شد در استان گلستان ۵ نوع ابر شناسایی شده که چهار ابر کومولونیمبوس، کومولوکانجستوس، استراتوس و استراتوکومولوس در حوضه مادرسو نیز وجود داشتند و درصد پوشش مربوط به هر یک در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مساحت و درصد ابرهای شناخته شده در منطقه

نوع ابر	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد نسبت به کل منطقه
کومولونیمبوس	۱۰۱۹	۴۳٫۸
کومولوکانجستوس	۷۹۱	۳۴
استراتوس	۲۱۷	۹٫۳
استراتوکومولوس	۲۹۹	۱۲٫۹
جمع کل	۲۳۲۶	۱۰۰

از آنجا که ابرهای شناخته شده در آسمان هر منطقه، ابرهای غالب در آن ساعت می‌باشند و ابرهای دیگر ممکن است در طول روز وجود داشته باشند، بنابراین جمع آوری نقاط کنترل برای ارزیابی دقت امکان پذیر نبوده و از طرفی هیچ ایستگاه سینوپتیکی در منطقه وجود نداشته است تا توسط آن اطلاعاتی در مورد نوع ابرهای منطقه در تاریخ و ساعت تصویر برداری در دسترس قرار گیرد. به همین دلیل برای ارزیابی دقت طبقه بندی در قسمت هایی که از لحاظ بصری نوع ابر کاملاً مشخص بود، نمونه های آموزشی انتخاب گردیده است.

در مراحل بعد از طبقه بندی، پس از اعمال مناطق نمونه برداری شده بر روی تصویر و تشکیل TTA MASK در نرم افزار eCognition ماتریس خطا و ضریب کاپا مطابق شکل ۱۰ بدست آمد. ضریب کاپای بدست آمده برابر با ۰/۸۷۷ می باشد که بیانگر دقت خوبی در طبقه بندی ابر است. دقت کلی طبقه بندی نیز که بیانگر میزان اعتبار طبقه بندی است برابر با ۰/۹۰۵ برآورد گردیده است.

با توجه به زمان بارش که حدود ۱۲ ساعت به طول انجامید، مقدار بارش تخمینی برای هر ابر نیز به صورت رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

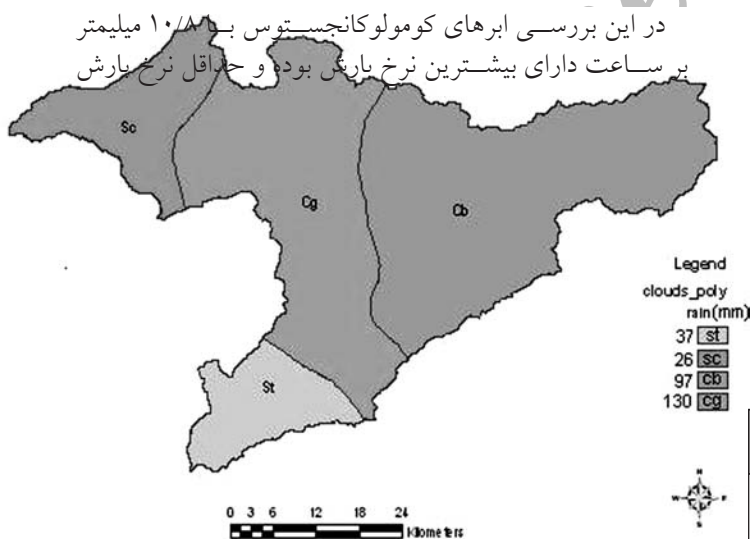
گردید. دوره شبیه سازی از ۱۹ مرداد تا ۲۱ مرداد ۱۳۸۴، به مدت دو روز، مطابق با دوره‌ای که بارش سنگین طی آن منجر به بالا آمدن سطح آب و ایجاد سیل شده، انتخاب گردیده است. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل، از وقایع بارش و رواناب ایستگاه‌های منطقه استفاده شد و برای تعیین الگوی زمانی بارش برای هر زیر حوضه نیز (مشخص شده در شکل ۱)، از الگوی بارش نزدیک ترین ایستگاه (ایستگاه تنگراه) استفاده گردیده است. در نهایت با اعمال ورودی‌های ذکر شده در مدل و کالیبره کردن آنها توسط اطلاعات مشاهداتی، هیدروگراف سیل به دست آمده است.

در مرحله بعد، از HEC-GeoRAS برای تعیین رودخانه، مقاطع عرضی، سواحل چپ و راست رودخانه، کانال اصلی، ضرایب زبری، محل پلها و سازه‌های هیدرولیکی و غیره استفاده شده است. در این مقاله برای شبیه سازی بهتر جریان و پهنه سیل تعداد ۴۴۰ مقطع عرضی به کار گرفته شد. ضرایب مانینگ از سازمان آب منطقه ای استان گلستان دریافت و پس از کالیبره کردن در مدل HEC-RAS کنترل شدند.

از مدل هیدرولیکی HEC-RAS جهت تحلیل هیدرولیک جریان استفاده شد. این مدل قادر به تحلیل شبکه رودخانه ها و شاخه های فرعی آنها می باشد. مدل تحلیل دائمی جریان، توانایی آنالیز جریان‌های زیر بحرانی، فوق بحرانی و یا ترکیبی این دو جریان را دارد. در رودخانه هایی که تغییرات زیاد دبی در آنها مشاهده نمی شود، می توان جریان را دائمی فرض نمود و با حداکثر دبی، سیلاب را بررسی نمود. در واقع مدل تحلیل دائمی جریان معادله یک بعدی انرژی را حل می کند. افت انرژی ناشی از اصطکاک با استفاده از معادله مانینگ و ضرایب تنگ شدگی و بازشدگی جریان ناشی از تغییر سرعت محاسبه می شود. تأثیر موانعی از قبیل پل ها، سرریزها و سازه های هیدرولیکی که در بستر رودخانه واقع شده اند نیز در محاسبات دخیل هستند. در این مطالعه نیز با ورود هیدروگراف های خروجی مدل HEC-HMS در مدل تحلیل دائمی جریان و معرفی ضرایب زبری، همگرایی و واگرایی کانال، مدل HEC-RAS اجرا شد و پهنه سیلاب، عمق و سرعت جریان آب در هر نقطه محاسبه شد. این روش در مقایسه با سایر روش ها از دقت بالایی برخوردار و نتایج محاسبات خصوصاً پس از کالیبره شدن مدل قابل اعتماد می باشد (ابراهیمی پور و همکاران، ۱۳۸۵). پس از اجرای مدل توسط نرم افزار HEC-RAS (که اطلاعات ورودی آن در GIS تهیه شده بود)، خروجی حاصل مجدداً به محیط GIS ارسال گردید. محیط GIS لایه های مختلفی نظیر توپوگرافی سطح و عمق رودخانه و پهنه سیلاب را به صورت بصری و قابل بهره برداری در تصمیم گیری‌ها تولید و ارائه می نماید که کاربردی ترین این لایه ها پهنه سیلاب می باشد. به منظور انتقال نتایج محاسبات هیدرولیکی جریان در شرایط طبیعی به محیط GIS لازم است که توپوگرافی وضعیت موجود در محیط GIS به توپوگرافی وضعیت طبیعی تبدیل شود. لذا عوارض موجود در رودخانه حذف و شبکه نامنظم مثلثی منطقه در محیط

User \ Reference Class	cirrus	cumulonimbus	cumulus	cumulus congestus	nimbo stratus	strato cumulus	stratus	no clouds(sea&terrain)	Sum
Confusion Matrix									
cirrus	2730	179	58	0	0	93	0	0	3060
cumulonimbus	197	5093	0	11	0	0	0	0	5301
cumulus	143	0	1981	0	0	23	190	0	2337
cumulus congestus	0	0	0	1510	0	0	0	0	1510
nimbo stratus	0	0	0	0	630	0	83	0	713
strato cumulus	0	0	130	0	0	2926	175	0	3231
stratus	0	0	176	0	94	169	2801	384	3624
no clouds(sea&terrain)	0	0	0	0	0	0	348	5617	5965
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	3070	5272	2345	1521	724	3211	3597	6001	
Accuracy									
Producer	0.889	0.966	0.845	0.993	0.87	0.911	0.779	0.936	
User	0.892	0.961	0.848	1	0.883	0.906	0.773	0.942	
Totals									
Overall Accuracy	0.905								
KIA	0.887								

شکل ۱۰- ماتریس خطا و پارامترهای مربوط به طبقه بندی



شکل ۱۱- بارش تخمینی سطح حوضه براساس نوع ابر

و احتمال بارش به ابرهای استراتوکومولوس با $2/2$ میلیمتر بر ساعت تعلق می گیرد.

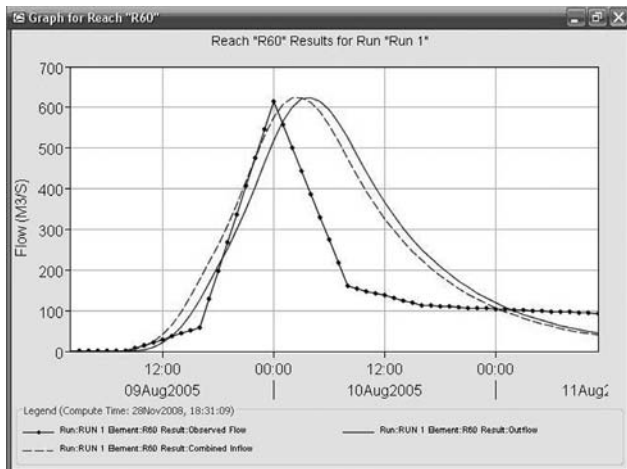
البته لازم به ذکر است از آنجا که توزیع مکانی و زمانی بارش بالاخص در بارانهای سیل آسا که اغلب توسط ابرهای همرفتی ایجاد می شود به عنوان یک پدیده طبیعی، بسیار نامنظم می باشد، لذا فرموله کردن آن حتی در صورت استفاده از روش های غیرخطی

(۵) $(\text{mm/h}) \times 12(\text{h})$

نرخ بارش هر ابر = مقدار بارش تخمینی برای هر ابر در نتیجه مقدار بارش هر ابر بر روی سطح حوضه با فرض اینکه بارش مستقیماً بر روی سطح زمین زیر خود ریزش کند، به صورت جدول ۴ به دست آمده است. در نتیجه با تلفیق ابرهای طبقه بندی شده و مقدار بارش هر ابر، نقشه بارش تخمینی حوضه بر اساس نوع ابر بدست آمد (شکل ۱۱).

جدول ۴- مقدار و نرخ بارش تخمینی برای هر کلاس ابر

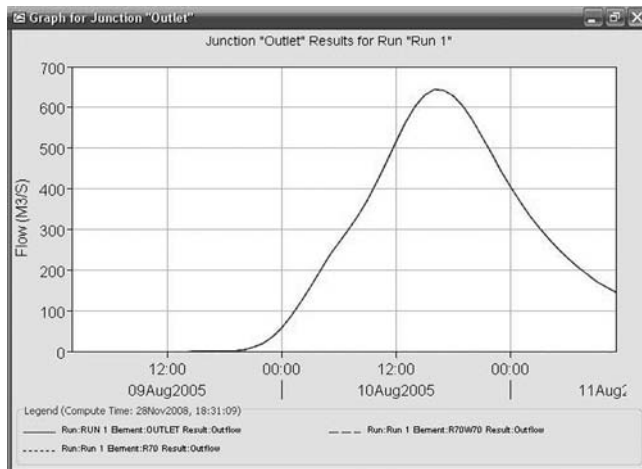
کلاس ابر	نرخ بارش (mm/h)	مقدار بارش (mm)
کومولوکلجستوس	۱۰/۸	۱۳۰
کومولونیمبوس	۸/۱	۹۷
لستراتوس	۳/۱	۳۷
لستراتوکومولوس	۲/۲	۲۶



شکل ۱۲- هیدروگراف محاسبه شده و مشاهده شده ایستگاه تنگراه

قابل توجهی برای آن محاسبه شده دارای زمان تأخیر حدود ۲۰ ساعت (با مقدار مشاهداتی که حدود ۱۷۵ ساعت است، مطابقت قابل قبولی دارد) و در پایین دست حوضه طبق هیدروگراف شکل ۱۳، حدود ۳۳ ساعت می باشد، با فرض اینکه زمان شروع محاسبات بر زمان شروع بارش منطبق باشد، می توان حدود یک روز زودتر از وقوع سیل و یا حتی بیشتر در منطقه مورد مطالعه وقوع و پهنه سیل را پیش بینی کرد. البته از آنجاکه در این تحقیق از روش ساده تخمین بارش و مقدار CN تخمینی استفاده شد و داده های مشاهداتی کافی خصوصاً در پایین دست شاخه مادر سو برای واسنجی دقیق تر مدل موجود نبود بهتر است به منظور رعایت احتیاط، زمان های تأخیر محاسبه شده به عنوان حداکثر زمان لازم برای پیش بینی وقوع سیل در نظر گرفته شود.

هیدروگراف های حاصل از مدل هیدرولوژیکی وارد مدل هیدرولیکی HEC-RAS شدند سپس نتایج حاصل از اجرای مدل، شامل خروجی مقاطع عرضی، پروفیل طولی رودخانه، تغییرات سرعت آب در تمام مقاطع، منحنی های دبی اشل و مشخصات هیدرولیکی جریان در کانال بدست آمد که نتایج شبیه سازی در HEC-RAS در تلفیق با ArcGIS منجر به ایجاد نقشه پهنه سیل شد. نتیجه شبیه سازی در HEC-RAS دوباره به محیط GIS برگردانده شد تا پهنه سیل به صورت بصری به نمایش درآید. شکل ۱۴ نقشه پهنه سیل تهیه شده در مدل ارتفاعی رقومی حوضه مادر سو را نشان می دهد. بر اساس این شکل می توان مناطقی را که در اثر بارش تخمینی به زیر آب خواهند رفت شناسایی کرد. در اینجا پهنه سیل، از منطقه دشت و قیز قلعه شروع شده و تا ورودی سد گلستان ادامه دارد. بیشترین پهنه سیل حدود ۲/۵ کیلومتر در حوالی شهر کلاله برآورد شده است. علت این امر را می توان به فقیر شدن کوه یا آبخیز از پوشش گیاهی (قطع بی رویه درختان و نابودی جنگلها در مساحت های زیاد در سالهای اخیر)، به زیر کشت بردن عرصه هایی از جنگل که درختان آن قطع شده و شخم زدن زمین در جهت غلط (عمود بر شیب) که باعث جاری شدن آب و فرسایش خاک و تشدید سیلاب می شود، تند بودن شیب کوه و شیب مسیل ها، متعدد بودن حوضه آبخیز یا به هم پیوستن سیلابهای دره ها و مسیلهای



شکل ۱۳- هیدروگراف سیل بدست آمده در پایین دست حوضه

به منظور دستیابی به مدل بارش منطبق با واقعیت، حداقل با دانش امروزی امکان پذیر نیست؛ از اینرو در این تحقیق، تخمین باران با فرض یکنواخت بودن نرخ باران در سطح زیر ابر صورت گرفته است و به منظور دستیابی به این هدف، برای درونیابی از روش تیسن (در روش های دیگر درونیابی برای هر پیکسل زمینی مقداری منحصر به فرد محاسبه می شود) و در فرآیند تخمین کمی بارش از روش نسبتاً ساده Barrett استفاده شده است. از آنجا که در این روش توپوگرافی منطقه لحاظ نمی گردد تحقیق و بررسی بیشتر در این زمینه احساس می گردد.

در این مطالعه پس از ورود بارش شبکه ای تخمینی و بکارگیری نقشه شماره منحنی منطقه در مدل هیدرولوژیکی، هیدروگراف سیل برای هر یک از زیر حوضه ها به دست آمده است. شکل ۱۲ نتیجه هیدروگراف سیل و جریان مشاهده شده در ایستگاه تنگراه را نشان می دهد. همانطور که در این شکل مشخص است، بازوی بالارونده هیدروگراف مشاهداتی (خط مشکی) بر هیدروگراف محاسباتی (خط آبی) منطبق است و مقدار دبی پیک نیز تقریباً با هم مساوی است که نشان دهنده آنست که مدل به خوبی توانسته خصوصیات فیزیکی و پوشش سطح حوضه و ویژگیهای بارندگی از قبیل شدت، مدت و یکنواختی آن را شبیه سازی کند. حال آنکه در بازوی پایین رونده هیدروگراف های مشاهداتی و محاسباتی، بالاخص در نقطه عطف، انطباق کامل دیده نمی شود. از آنجا که بازوی پایین رونده هیدروگراف به زهکشی حوضه مربوط است و فروکش کردن سیل از نقطه عطف به بعد مستقل از خصوصیات بارش می باشد (علیزاده، ۱۳۸۲)، این عدم انطباق کامل می تواند به نقشه نوع خاک، گروه های هیدرولوژیکی خاک و یا نقشه کاربری اراضی دریافتی بستگی داشته باشد.

یکی از نتایج حاصل از هیدروگراف سیل، زمان تأخیر هر حوضه می باشد که بر حسب تعریف برابر با فاصله زمانی بین مرکز بارش (نقطه زمانی وسط بارندگی) تا زمان اوج هیدروگراف می باشد (علیزاده، ۱۳۸۲). لذا می تواند به عنوان یک عامل مهم در پیش بینی سیل پس از شروع بارش مطرح شود. از آنجاییکه قسمتی از حوضه که هیدروگراف سیل



شکل ۱۴- نقشه پهنه سیل در مدل ارتفاعی رقومی حوضه مادرسو

شده است. با وارد کردن GIS در فرایند مدل‌سازی، داده‌ها و اطلاعات توصیفی مورد نیاز مدل هیدرولوژیکی بارش - رواناب فراهم گردیده است. برای واسنجی و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی بهتر است که از وقایع بارش - رواناب مشاهده‌ای در زمان‌های متفاوت استفاده شود که متأسفانه نبود تصاویر ماهواره‌ای مناسب در زمان نزدیک به وقوع سیل و اطلاعات دبی و باران سنجی مشاهداتی مربوط به یک رخداد سیل در یک حوضه و به صورت همزمان با تصاویر ماهواره‌ای موجود در آرشیو سازمان‌ها، از مشکلات موجود انجام فرآیند واسنجی مدل بوده است. در این تحقیق زیرحوضه مادرسو به عنوان یکی از سهیل‌خیزترین زیرحوضه‌های کشور انتخاب شده که متأسفانه علی‌رغم وجود سیل‌های متعدد، تنها ایستگاه تنگراه در میانه این حوضه داوای اطلاعات دبی مشاهداتی می‌باشد که با به‌کارگیری داده‌های هیدرولوژیکی ثبت شده در این ایستگاه و انجام فرآیندهای خاص، عملیات کالیبراسیون و پارامترهای لازم برای هر زیر حوضه تعیین شد.

استفاده از بارش سطحی یا بارش سلولی در محاسبات معایب اندازه‌گیری نقطه‌ای را به حداقل می‌رساند، به همین دلیل از مدل بارش سلولی با سلول‌های یک کیلومتر در یک کیلومتر به لحاظ همخوانی با قدرت تفکیک تصاویر NOAA (یک کیلومتر مربع) برای ورود مقدار بارش تخمینی استفاده شده و به‌منظور انجام محاسبات هیدرولوژیکی، روش نیمه توزیعی ModClark به کار گرفته شده است. با به‌کارگیری روش ModClark، شکل حوضه بخوبی در مدل و در نتیجه هیدروگراف خروجی انعکاس داده می‌شود. مجموعه‌ای از برنامه‌های HEC (HEC-GeoHMS، HMS، HEC-GeoRAS و RAS) و ArcGIS برای شبیه‌سازی رواناب، سطح آب و تولید نقشه پهنه سیل استفاده گردیده است. زمان وقوع سیل با فرض شروع بارش برآورد شده است و پیشنهاد

مختلف به هم، قبل از کالاه مربوط دانست؛ که موارد اخیر با مدل ارتفاعی منطقه مطابقت داشته و به خوبی نقش DEM را در تعیین وسعت پهنه سیل اثبات می‌کند.

نتایج نشان داده است که مطالعه حاضر می‌تواند اطلاعات مفیدی برای پیش‌بینی و پهنه‌بندی سیل ارائه نماید. به‌طوری‌که با تلفیق مشاهدات زمینی و سنجش از دور و با کمک GIS می‌توان بحران سیل را مدیریت کرده و خطر سیل و خسارات ناشی از آن را در منطقه مطالعاتی به حداقل رساند.

جمع بندی

تلفیق کاربردی تکنیک‌های سنجش از دور و GIS با کمک قابلیت‌ها و انعطاف‌پذیری‌های مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی توزیعی و نیمه توزیعی می‌تواند منجر به تهیه سیستم هشدار سیل غیر سازه‌ای و شبیه‌سازی سیل گردد. در این مطالعه نیز برای سیستم هشدار و پیش‌بینی سیل در منطقه حوضه آبریز مادرسو از تلفیق علوم کاربردی مختلف استفاده شده است. از روش طبقه‌بندی شیء گرا به عنوان یک روش معقول در طبقه‌بندی ابر یاد شده است. یکی از روش‌های ساده سنجش از دور برای تخمین بارش، استفاده از داده‌های واقعی ماهواره NOAA/AVHRR پیشنهاد گردیده است. برآورد دقیق بارش به عنوان یکی از ورودی‌های مدل هیدرولوژیکی و به عنوان یکی از مسایل در مدیریت بحران سیل مطرح می‌باشد. در این تحقیق تنها مقدار بارش تخمین زده شد و برای بحث در مقوله زمان بارش، نیاز به تحقیق و در نظر گرفتن پارامترهای بیشتری می‌باشد که با توجه به حجم بالای کار در این تحقیق لحاظ نشده است.

در این تحقیق از مدل بارش - رواناب HEC-HMS همراه با قابلیت‌های GIS به‌منظور مدل‌سازی هیدروگراف سیل استفاده

2006, Modelling rainfall intensity from NOAA AVHRR data for operational flood forecasting in Malaysia, International Journal of Remote Sensing Vol. 27, No. 23, 5225-5234.

- Budhakooncharoen S., 2003. Rainfall Estimate For Flood Management Using Meteorological Data From Satellite Imagery.

- De hoo, A., Odijk, M. Koster, E. and Lusieer, A., 2001. assessing the effects of land use changes on flood in the meuse and order chatchment, phys. Chem. Earth(B), 26(7-8): 593-599.

- Gonzales M. H. and Velasco I., 1995, rainfall area identification using satellite data, Climate Research, Vol. 5: 259-267, 1995.

- Hoblit B. C. and Curtis D. C., 2002, integrating radar rainfall estimates with digital elevation models and land use data to create an accurate hydrologic model.

- Hoblit B. C. and Curtis D. C., 2003, Integration of Radar Rainfall into Hydrologic Models.

- http://www.class.ngdc.noaa.gov/saa/products/search?sub_id=0&datatype_family=AVHRR&submit.x=17&submit.y=12

- Kafle, T.P., Hazarica, M.K., Shresth K.G., Prathumchai, K and Samarakon, L., 2006, integration of remote sensing and GIS with flood simulation model for flood hazard mapping in the Bagmati river, Nepal.

- 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 sun Antonio river basin summer 2002 storm event, journal of environmental management, 75:325-336.

- Lensky I. M. and Rosenfeld D., 1996, Estimation of Precipitation Area and Rain Intensity Based on the Microphysical Properties Retrieved from NOAA AVHRR Data, Journal Of Applied Meteorology, Volume 36.

- Matkan A. A., 1999, Passive Microwave Monitoring of Snow Cover and Rainfall over Iran, Using DMSP F-11 Special Sensor Microwave/ Imager Data, Phd Thesis, University of Bristol.

- Mishra j. k. and Sharma o. p., 2001, Cloud top temperature based precipitation intensity estimation using INSAT-1D data, Int.j.Remote Sensing, vol.22, No. 6, 969-985.

- Moesse, J and Barrett, E, C. 1986, Interactive procedures for estimating precipitation from satellite

می گردد در مورد زمان وقوع بارش و عوامل تأثیرگذار بر آن به کمک سنجش از دور مطالعات بیشتری صورت گیرد تا در تلفیق با تحقیق حاضر، سیستم هشدار سیل کارآمد تری ایجاد گردد.

منابع

- ابراهیمی پور، ر.، یزدانی، م.، نصرالهی، ع.، منزوی، م.، ۱۳۸۵، پهنه بندی سیل و تعیین نقاط امن در برابر سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و GIS.

- اجاقلو، ۱۳۸۵، کاربرد GIS در مدیریت سوانح طبیعی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، گروه سنجش از دور.

- جوکار، ج. ۱۳۸۱. بررسی سیل خیزی زیر حوضه‌های رودخانه شاپور با استفاده از شبیه سازی جریانهای سیلابی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، ۱۲۶ ص.

- حاجی میر رحیمی، م. و بای، ن.، ۱۳۸۷، طبقه بندی انواع ابر با استفاده از تصاویر AVHRR، همایش ملی ژئوماتیک ۸۷.

- خسروشاهی، م.، ۱۳۸۰. تعیین نقش زیر حوزه‌های آبخیز در شدت سیل خیزی حوضه (مطالعه موردی حوضه آبخیز دماوند)، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، رساله دکتری جغرافیا، ۱۷۷ ص.

- سازمان جنگل ها و مراتع کشور، ۱۳۸۴، گزارش میانکار، مطالعه سیل و جریان های واریزه در منطقه حاشیه دریای خزر با دقت نظر به منطقه سیل گیر استان گلستان.

- علیزاده، امین، ۱۳۸۲، " اصول هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات آستان قدس رضوی. چاپ شانزدهم

- محمدی، ح.، مقصودی، م.، روشن، غ.، ر.، ۱۳۸۵. جایگاه و نقش سیستم های پیش بینی و هشدار سیلاب در کاهش اثرات مخرب سیل، فصل نامه چشم انداز جغرافیایی، سال اول، شماره ۳.

- نقدی، ک.، ۱۳۸۵، پهنه سازی امکان موقت در مدیریت بحران، همایش GIS۸۵

- Barrett E. C. and Martin D. W., 1981, The use of satellite data in rainfall monitoring, Academic Press INC, New York.

- Bayasgalan M. and Erdenetuya M., 1987, Estimation of cloud type, its amount and precipitation area using NOAA AVHRR data.

- Bedient P.B., Holder A., Benavides J. A. and Vieux B.E, 2003, radar-based flood warning system applied to tropical storm allison, J. Hydrologic Engrg. Volume 8, Issue 6, pp. 308-318.

- Billa, L, Mansor, Sh and Mahmud, A.R., 2004, Quantitative Precipitation Forecasting Using Cloud-Based Techniques On AVHRR Data.

- Billa, L, Mansor, Sh, Mahmud, A.R and Ghazali, A.H,

imagery, Hydrologic Applications of Space Technology, (Proceedings of the Cocoa Beach Workshop, Florida, August 1985). IAHS Publ. no. 160.

- Zhang X, Ball G, Guertin Ph., Halper E and Zhang L.,2000, Integrating GIS and remote sensing with urban hydrology.

Archive of SID