ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

زمان پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۳/۲۷ شماره مجوز مجله: ۸۰۴۰۰

مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز کارده مشهد با استفاده از مدل HEC-HMS

علی عرفانیان مقدم*[۱]، فرهاد خام چین مقدم[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران در مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، مشهد

۲- دکتر فرهاد خام چین مقدم، استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

چکیده

حوضه آبریز به عنوان یک هیدروسیستم است که نسبت به بارش ورودی واکنش نشان می‌دهد. این واکنش در ابعاد هیدروگراف سیلاب نمایان می‌گردد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک در محیط ARC-GIS، مقدار عدد شماره منحنی برای حوضه بدست آمد. سپس به منظور برآورد ارتفاع رواناب و مطالعه وضعیت سیل‌خیزی و هیدرولوژیکی حوضه آبریز کارده مشهد مدل بارش – رواناب حوضه با کمک نرم افزار HEC-HMS[۱] تهیه و اجرا گردید. به منظور اعتبارسنجی مدل ۵ واقعه بارش – رواناب از ایستگاه هیدرومتری آل استخراج و بعد از مدل‌سازی، مقدار دبی مشاهداتی با مقدار دبی محاسباتی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مدل در ارتباط با کارایی مدل مذکور در برآورد رواناب و دبی اوج سیلاب نشان می‌دهد که خطای جذر میانگین مربعات (RMSE[۲]) برای مدل ساخته و استفاده شده در این پژوهش برابر ۰/۰۸۳۹۶ می‌باشد که نشان دهنده عملکرد قابل قبول مدل در پردازش داده‌ها می‌باشد.

واژه های کلیدی: مدل بارش – رواناب، مدل HEC-HMS، حوضه آبریز کارده

۱- Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System
۲- Root Mean Square Error

۱- مقدمه

سیلاب یکی از اصلی‌ترین بلایای طبیعی شناخته شده در جهان است که خسارات زیادی را به جوامع انسانی، تأسیسات، مراکز صنعتی و اراضی کشاورزی به ویژه در مجاورت رودخانه ها تحمیل می‌کند، ولی نکته‌ی نگران کننده، روند افزایشی تلفات سیلاب در جهان در دهه‌های اخیر است که بیشتر به دلیل دخالت‌های بشر در طبیعت و برهم زدن تعادل آن می‌باشد (رحیمی، ۱۳۸۸: ۹۵-۸۵). افزایش جمعیت همراه با ضعف برنامه‌ریزی برای بهره‌وری از زمین باعث شده تا جنگل‌ها و مراتع تخریب شده یا به زمین زراعی تبدیل شوند، به این ترتیب سیل‌ها فراوان تر، ناگهانی‌تر و شدیدتر شده‌اند (برخورداری و خسروشاهی، ۱۳۸۶: ۱۹۹-۱۹۱). سالانه سیل در دنیا بطور میانگین، جان ۲۶۰۰۰ نفر انسان را می‌گیرد و بر زندگی ۷۵ میلیون نفر دیگر تأثیر اقتصادی بسیار بدی می‌گذارد.

در ایران نیز موقعیت جغرافیایی و وضعیت بارش و شرایط فیزیکی حوضه‌ها باعث ایجاد جریان‌های شدیدی می‌شود، که خسارات ناشی از آنها بطور فزاینده‌ای در حال افزایش است (سرحدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۳-۲). انجام پروژه‌های کنترل سیل و آبخیزداری نیز مستلزم داشتن اطلاعات نسبتاً دقیق از حداکثر سیلاب قابل وقوع است. لذا پیش بینی سیلاب می‌تواند در کنترل و استفاده‌ی بهینه از آن نقش مؤثری داشته باشد (مزیدی و کوشکی، ۱۳۹۲: ۱۰-۱). تحقیقات متعددی در راستای شناخت بزرگی و زمان وقوع سیل انجام شده و روش‌های مختلفی جهت برآورد ارتفاع رواناب ابداع گردیده است. از جمله روش‌های معمول و متداول برای بررسی سیلاب می‌توان به روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب، استفاده از روابط تجربی و مدل‌های بارش – رواناب اشاره کرد (شکری کوچک و همکاران، ۱۳۸۵: ۸۸-۶۳).

در حال حاضر استفاده از مدل‌های بارش – رواناب در این زمینه کاربرد وسیعی یافته و روش‌های استدلالی به تدریج دارند جای خود را به مدل‌هایی که در آن‌ها نه تنها دبی حداکثر (اوج) بلکه رژیم جریان سطحی نیز در هر نقطه از محدوده مطالعاتی قابل تعیین است، می‌دهند (نشاط و صدقی، ۱۳۸۵: ۷۹۸-۷۸۶). مدل‌سازی بارش – رواناب یکی از موارد کلیدی در علوم هیدرولوژی و مدیریت محیط زیست برای دستیابی به خصوصیات سیلاب از قبیل میزان دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج به شمار می‌رود. در این ارتباط اعتبارسنجی این مدل‌ها امری ضروری و گاهاً اجتناب ناپذیر است. با توجه به روش‌های نوین در مدل‌سازی و نرم افزارهای موجود که باعث افزایش سرعت انجام محاسبات و کاهش زمان اجرای محاسبات گردیده، مطالعات مربوط به هیدرولوژی بعد از دهه ۱۹۵۰ میلادی به طور چشم‌گیری گسترش یافت.

یکی از نرم افزارهای موجود جهت مدل سازی بارش – رواناب نرم افزار HEC-HMS می‌باشد. این مدل با داشتن تنوع زیر مدل‌های موجود در آن کاربرد و کارایی وسیعی در بسیاری از نقاط دنیا دارد (حسین زاده و ایمنی، ۱۳۹۴: ۴۳-۳۱). به منظور برآورد رواناب و سیلاب مطالعات متعددی با استفاده از نرم افزار HEC-HMS در مناطق مختلف انجام شده که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

بشارتی در سال ۱۳۸۵به اولویت‌بندی مکانی مناطق سیل خیز در حوضه رودک با استفاده از مدل شبیه‌سازی بارش – رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی با مساحت آنها رابطه مستقیم ندارد (بشارتی،۱۳۸۵: ۱۱۶).

سلیمانی و همکاران در سال ۱۳۸۶در مقاله‌ای تحت عنوان پتانسیل تولید سیل در حوضه‌های آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه معروف کسلیان به این نتیجه رسیدند که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی متناسب با دبی اوج نبود و لزوماً زیرحوضه‌هایی که دبی بیشتری دارند بیشترین مشارکت را در سیل خروجی حوضه ندارند (سلیمانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۰-۵۱).

چیداز و همکاران در سال به ارزیابی مدل HEC-HMS به منظور برآورد سیلاب حوضه آبخیز کسیلیان پرداختند و با توجه به درصد اختلاف کمتر بین دبی مشاهداتی و محاسباتی و بررسی هیدروگراف‌ها، روش هیدروگراف واحد SCS[1] را به عنوان روش مناسب انتخاب کردند. همچنین به این نتیجه رسیدند که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی با مساحت آن رابطه مستقیم ندارد (چیداز و همکاران، ۱۳۸۸: ۸۴-۷۱).

دستورانی و همکاران در سال ۱۳۸۹ به ارزیابی و واسنجی پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه سد طرق واقع در استان خراسان رضوی با استفاده از مدل HEC-HMS پرداختند و پس از تعیین مقادیر شماره منحنی، مقادیر تلفات اولیه، زمان تأخیر با روش SCS و اشنایدر و زمان تمرکز حوضه با روش SCS، مدل HEC-HMS را اجرا نمودند. نتایج حاصل از مدل آنها نشان داد که در محاسبه شماره منحنی و تلفات اولیه جریان توسط مدل، استفاده از روش‌های اشنایدر و SCS برای محاسبه زمان تأخیر حوضه تفاوت چندانی با هم ندارند (دستورانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸-۱).

طلایی و ملکیان در سال ۱۳۹۰در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی پتانسیل سیل‌خیزی و اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS و مقایسه آن با روش فرانکو - رودیر در حوضه آبخیز نازولچای آذربایجان غربی بعد از بررسی ۳ واقعه رگبار و سیلاب به این نتیجه رسیدند که زیرحوضه‌ای که بیشترین فاصله را تا خروجی حوضه دارد بیشترین مقدار را از نظر تولید دبی و ایجاد سیل دارد و عدم مشارکت بالای زیرحوضه‌های نزدیک به خروجی حوضه مورد بررسی در دبی اوج سیلاب می‌باشد (طلایی و ملکیان، ۱۳۹۰).

اسدی و همکاران در سال ۱۳۹۱ در مقاله‌ای تحت عنوان اولویت‌بندی سیل‌خیزی در حوضه آبخیز درون گز با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS به این نتیجه رسیدند که دبی اوج بالا به دلیل تأثیر عامل مساحت بالادست حساسیت خود را در اولویت‌بندی برای سیل‌خیزی از دست می‌دهد (اسدی و همکاران، ۱۳۹۱).

میکائیل زاده و طالبی در سال ۱۳۹۳در تحقیقی تحت عنوان بررسی اثر اقدامات آبخیزداری (مکانیکی و بیولوژیکی) بر میزان رواناب حوضه با استفاده از مدل HEC-HMS در حوضه آبخیز نهند پس از واسنجی و اعتبارسنجی ۹ واقعه مشاهداتی و شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در دوره بازگشت ۲ تا ۵۰ سال به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های مکانیکی در افزایش زمان تمرکز حوضه نقش ناچیزی داشته و فعالیت‌های بیولوژیکی باعث کاهش شماره منحنی پس از فعالیت‌های آبخیزداری بطور میانگین ۸/۴۷ درصد در کل حوضه بوده است. از طرفی با افزایش دوره بازگشت تأثیر اقدامات آبخیزداری بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش یافته است (میکائیل زاده و طالبی، ۱۳۹۳).

آرناد و همکاران در سال ۲۰۰۱ در مطالعه‌ای که در کشور مکزیک انجام دادند حساسیت مدل HEC-HMS نسبت به توزیع بارش به صورت متوسط مکانی و یا سطوح هم بارش را مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش مساحت حوضه تغییرات بارش هم زیاد می‌شود (آرناد و همکاران،۲۰۰۱: ۲۳۰-۲۱۶).

امرسون و همکاران در سال ۲۰۰۳ با استفاده از مدل HEC-HMS به مدل‌سازی بارش – رواناب پرداختند. نتایج مدل آنها نشان داد که سطوح ذخیره، مقدار پیک جریان را برای واقعه رگبار کاهش می‌دهند (امرسون و همکاران، ۲۰۰۳).

کافله و همکاران در سال ۲۰۰۷ در یک پژوهش با استفاده از مدل HEC-HMS اثر بارش در تولید رواناب حوضه بگماتی در ویتنام بررسی کردند و بر طبق نتایج به دست آمده از واسنجی و شبیه‌سازی آن نشان دادند که اوج سیلاب شبیه سازی شده تطابق بسیار خوبی با مقدار مشاهداتی دارد (کافله و همکاران، ۲۰۰۷).

[1]- Soil Conservation Service

چن و همکاران در سال ۲۰۰۹ به بررسی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر میزان رواناب پرداختند. آنها کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ را به عنوان پایه قرار دادند و دو کاربری اراضی برای سال ۲۰۵۰ ارایه نمودند. کاربری A و B مشتمل بر افزایش مساحت شهری از ۹/۲ درصد به ۱۴/۱۷ درصد بود. سپس با استفاده از مدل HEC-HMS و ۷ واقعه منتخب، کاربری‌ها را آزمودند. نتایج مطالعات آنها نشان می‌دهد که کاربری اراضی آینده موجب افزایش کل رواناب سطحی می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۰۹: ۸-۱).

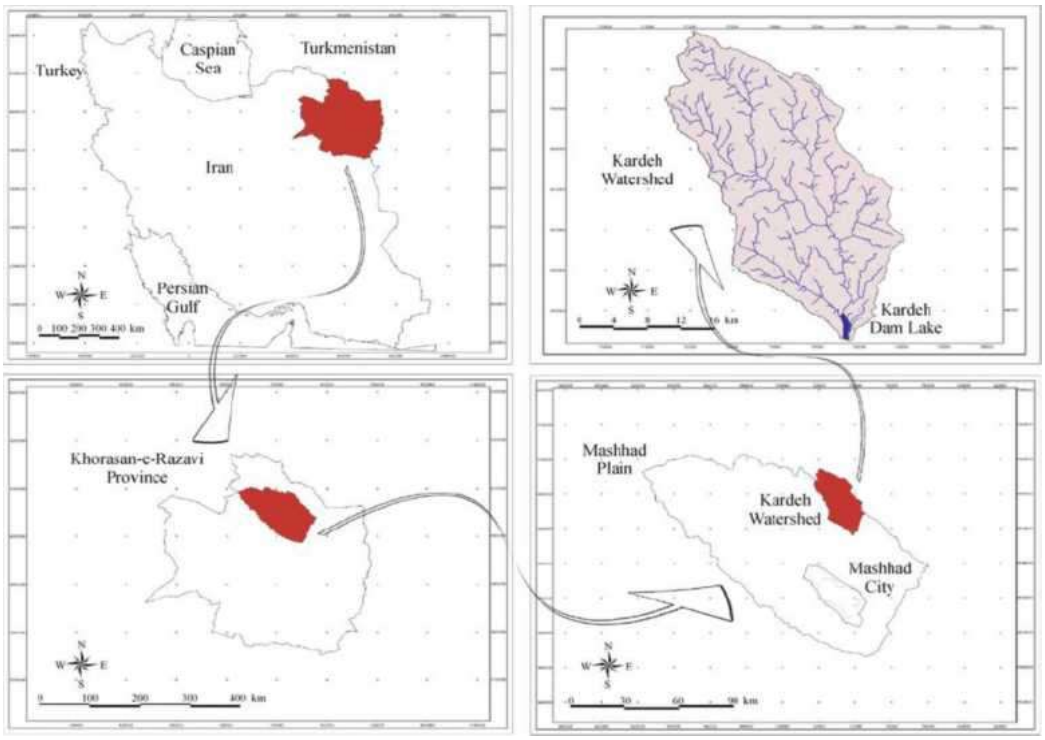
علی محمد و همکاران در سال ۲۰۱۱ به منظورشبیه سازی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب سطحی در حوضه لینولاه اسلام آباد پاکستان با ترکیب مدل های تجربی و مدل های بارش - رواناب HEC-HMS به این نتایج رسیدند که انسجام خوبی بین مقدار شبیه سازی و میزان اندازه گیری توسط هیدروگراف بود که از اطلاعات آن می توان به عنوان یک ابزار مفید برای مطالعات آینده کاربری اراضی استفاده کرد (علی محمد و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۷۱-۲۷۹).

هالواتورا و نجیم در سال ۲۰۱۳ به شبیه‌سازی رواناب در حوضه آبریز ایا اتاگاناتو با استفاده از مدل HEC-HMS پرداختند. در این مطالعه داده‌های بارش روزانه بیست ساله پنج ایستگاه باران‌سنجی در داخل حوضه و داده‌های تبخیر ماهانه برای همان سال برای ایستگاه هواشناسی کشاورزی هناراتگدا همراه با داده‌های جریان روزانه در دونامال از سال (۲۰۱۰-۲۰۰۵) مورد استفاده قرارگرفت مدل برای سه روش افت شماره منحنی سرویس حفاظت خاک، روش هیدروگراف واحد اشنایدر و کلارک تنظیم و کالیبره شد و سپس با مجموعه جدیدی از داده های بارندگی و جریان (۲۰۱۰-۲۰۰۸) مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. شبیه‌سازی جریان باروش هیدروگراف واحد اشنایدر قابل اعتمادتر از روش هیدروگراف واحد کلارک بود (هالواتورا و نجیم، ۲۰۱۳: ۱۶۲-۱۵۵).

۲- مواد و روش ها

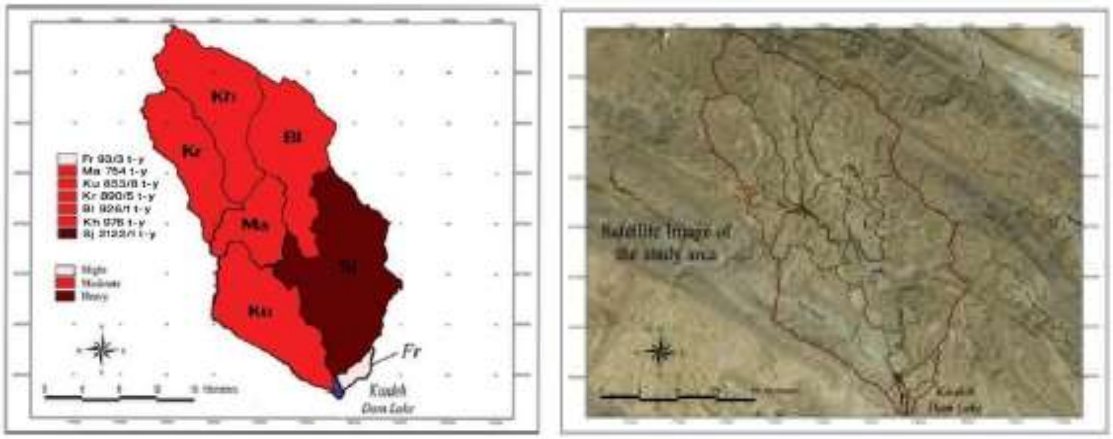
معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کارده از نظر مختصات جغرافیایی در ´۳۷،°۳۶ تا ´۵۸،°۳۶ عرض جغرافیایی و ´۲۶،°۵۹ تا ´۳۷،°۵۹ طول جغرافیایی با مساحتی حدود ۵۴۹ کیلومترمربع در بخش زون کپه داغ قرار دارد که از شمال به حوضه‌های قره نیکان و کلات نادر و ارچنگال و از جنوب و غرب با حوضه کشف رود و از شرق به حوضه رودخانه چهچه محدود است. حوضه آبریز کارده جزء نواحی کوهستانی و مرتفع شمال شهر مشهد محسوب می‌شود، به طوری که حدود ۲۶۱/۶۶ کیلومتر مربع این حوضه در ارتفاعی بالاتر از ۲۰۰۰ متر واقع شده است. پایین‌ترین نقطه ارتفاعی حوضه آبریز در قسمت خروجی و در پایین دست آبادی کارده با ارتفاع ۱۲۹۵ متر و بالاترین نقطه ارتفاعی در شمال غرب حوضه با ارتفاع ۲۹۶۱ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارندگی در بخش جنوبی حوضه ۳۷۴/۲ میلیمتر و در ارتفاعات بخش شمالی به ۴۵۰ میلیمتر می‌رسد. رودخانه کارده دارای حجم آورد سالیانه به میزان ۲۳/۲۱ میلیون متر مکعب بوده که سد کارده با هدف استفاده از آب این رودخانه، جهت مصارف شرب و کشاورزی بر روی آن احداث گردیده است. فاصله روستای کارده (در خروجی حوضه) تا مشهد ۴۳ کیلومتر است. شکل ۱، موقعیت حوضه آبریز را نشان می دهد (نژاد سلیمان و همکاران، ۱۳۸۵: ۸۲-۷۰).



شکل ۱- موقعیت و مکان جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه

حوضه آبریز کارده مطابق شکل ۲ به ۷ زیرحوضه: کریم آباد، خرکت، بلغور، مارشک، آل و سیج، کوشک آباد و فیروز آباد تقسیم می شود و مشخصات کلی هر کدام از این زیرحوضه ها در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۲- تصویر ماهواره ای و نقشه جانمایی زیرحوضه های حوضه آبریز کارده

جدول ۱- مشخصات کلی زیرحوضه های حوضه آبریز کارده

کد زیرحوضه	نام زیرحوضه	علامت اختصاری زیرحوضه	مساحت زیرحوضه (Km^2)	اختلاف ارتفاع (m)
۱	کریم آباد	Kr	۶۹/۱۶	۱۱۹۰
۲	خرکت	Kh	۹۷/۳۹	۱۲۰۰
۳	بلغور	Bl	۹۳/۰۹	۱۱۵۰
۴	مارشک	Ma	۴۴/۴۹	۷۲۰
۵	آل و سیج	Sj	۱۴۶/۴۷	۱۳۰۰
۶	کوشک آباد	Ku	۹۱/۳۰	۹۰۰
۷	فیروز آباد	Fr	۷/۰۸	۵۲۰

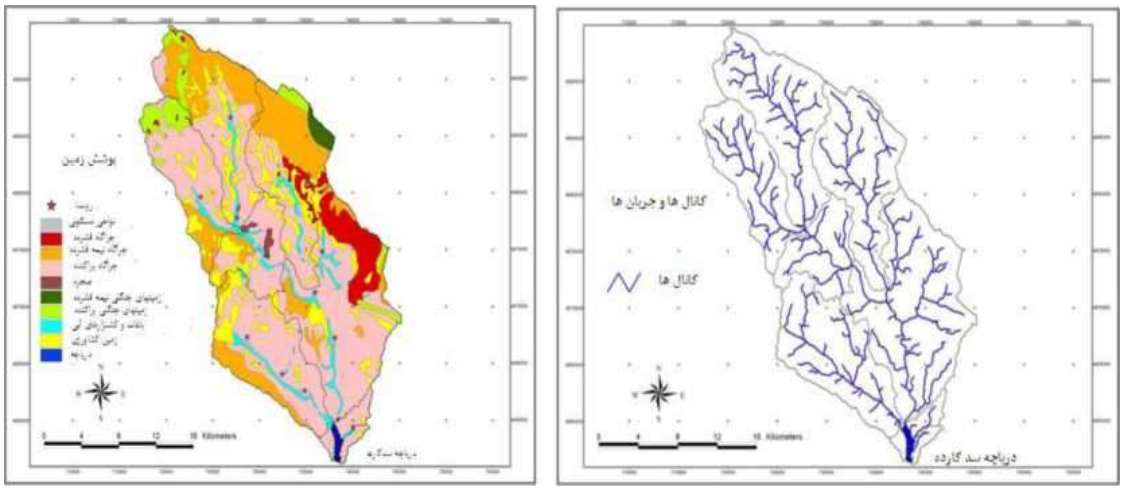
اقلیم منطقه با توجه به اقلیم نمای آمبرژه در موقعیت نیمه خشک سرد و اقلیم نمای دومارتن در موقعیت مدیترانه‌ای واقع می‌باشد. شبکه رودخانه‌ها در این حوضه نسبتاً تکامل یافته است و رودخانه کارده از ۲ شاخه اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: ۱- شاخه آل و ۲- شاخه کوشک آباد. لازم به توضیح است که مطالعات و مدل‌سازی انجام گرفته در این مقاله براساس اطلاعات شاخه آل می‌باشد.

توپوگرافی حوضه آبریز متشکل از کوهستان‌های مرتفع، دره‌ها، فلات و نواحی کوهستانی است.

پوشش گیاهی در حوضه در کل فقیر و به ۴ دسته به شرح ذیل تقسیم می‌شوند:

۱- مراتع ضعیف، ۲- مراتع متوسط، ۳- مجتمع های درختی و تاکستان و ۴- مخروط های جنگلی و مرتع.

موارد فوق الذکر در شکل ۳، که شامل نقشه شبکه هیدروگرافی حوضه کارده و نقشه پوشش گیاهی و کاربری حوضه‌ی آبریز کارده می‌باشد بهتر قابل مشاهده و درک می‌باشد (نژاد سلیمان و همکاران، ۱۳۸۵: ۸۲-۷۰).



شکل ۳- شبکه هیدروگرافی حوضه کارده و پوشش گیاهی و کاربری حوضه آبریز کارده

برخی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز کارده مشهد

برای بررسی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه با توجه به اینکه در این پژوهش صرفاً شاخه آل از رودخانه کارده را مورد مطالعه و مدل‌سازی قرار داده‌ایم جهت اجرای مدل HEC-HMS برخی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه نظیر مساحت، شیب، طول آبراهه اصلی، شماره منحنی و زمان تأخیر حوضه را متناسب با شاخه مورد مطالعه محاسبه گردیده و به اختصار در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه

نام حوضه	مساحت به کیلومترمربع	شیب بر حسب درصد	طول آبراهه اصلی به متر	شماره منحنی	زمان تأخیر بر حسب ساعت
کارده مشهد	۴۵۸	۵/۲	۴۴/۲۴	۷۴	۴/۳

۳- روش شناسی

در این پژوهش ابتدا کلیه مطالعات لازم جهت برآورد رواناب و همچنین شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب انجام شد. در انجام این مورد از داده‌های ثبت شده در ایستگاه باران‌سنجی آل، ایستگاه هیدرومتری کارده و آمار ایستگاه هواشناسی استفاده گردیده است. در مرحله بعد نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه تهیه شد سپس با استفاده از برنامه الحاقی Arc Hydro حوضه مورد مطالعه به زیرحوضه‌های فوق الذکر تفکیک شد و با استفاده از برنامه الحاقی HEC-Geo HMS مدل حوضه تهیه شد. در این پژوهش جهت مدل‌سازی هیدرولوژیکی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS[1])، پارامترها و

[1]- Geographic Information System

داده‌های ورودی و اولیه مدل برآورد گردید و در ادامه به منظور اعتبارسنجی مدل ۵ واقعه بارش – رواناب از ایستگاه هیدرومتری کارده استخراج و بعد از مدل‌سازی مقدار دبی مشاهده‌ای با مقدار دبی برآورد شده توسط مدل مورد مقایسه قرار گرفت. ابزار مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و اطلاعات و دادهای هواشناسی جمع آوری شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی، باران‌سنجی و هیدرومتری نصب در حوضه مورد مطالعه می‌باشد.

۴- اجرای مدل و تحلیل نتایج

۴-۱- تهیه اطلاعات مورد نیاز مدل شبیه‌سازی

مدل HEC-HMS یک مدل رایانه‌ای مناسب جهت ارائه سیستم آب‌شناسی است که توسط مهندسان هیدرولوژی مرکز مهندسی ارتش آمریکا در سال ۱۹۸۱ میلادی برای شبیه سازی رواناب سطحی یک آبخیز نسبت به بارندگی های معین طراحی شده است. از قابلیت‌های مهم آن می‌توان به امکان برقراری ارتباط با دیگر نرم افزارها از جمله سیستم اطلاعات جغرافیایی اشاره کرد. این ویژگی باعث ارتباط درست و سریع تر با دیگر ابزار نرم افزاری شده و روند بررسی هر رخداد هیدرولوژیکی را در زمان کمتری امکان پذیر می‌سازد. ساختار مدل HEC-HMS شامل ۳ بخش اصلی می‌باشد که عبارتند از: الف) مدل حوضه، ب) مدل هواشناسی و ج) شاخص‌های کنترلی.

الف) مدل حوضه: در این بخش، حوضه به طور شماتیک به مدل معرفی گردیده که شامل زیرحوضه‌ها، اتصال آنها به یکدیگر و بازه‌ها می‌باشند. سپس باید روش مناسبی برای تعیین تلفات اولیه رواناب، آب‌پایه و ردیابی سیل در رودخانه انتخاب شود و اطلاعات فیزیکی حوضه آبخیز وارد گردد. در این مدل روش‌های متعددی برای برآورد تلفات وجود دارد. در این تحقیق از روش تلفات شماره منحنی (SCS-Curve Number) استفاده شده است.

ب) مدل هواشناسی حوضه: در این بخش باید داده‌های بارندگی و تبخیر و تعرق برای شبیه‌سازی حوضه وارد گردند. مدل هواشناسی که در این مطالعه استفاده شده است، روش هایتوگراف سفارشی می‌باشد. در این تحقیق، از داده‌های ایستگاه باران‌سنجی آل و هیدرومتری کارده استفاده شده است و مقدار رواناب حاصل از ۵ رگباری که بصورت تصادفی و در بازه زمانی سال ۱۳۹۳ انتخاب شدند برآورد گردید.

ج) شاخص‌های کنترلی: در این بخش، تاریخ و ساعت شروع و پایان شبیه‌سازی و فواصل زمانی مورد نظر به مدل معرفی می‌شوند. کار اصلی مشخصه‌های کنترل، سنجش سرعت و دقت محاسبات می‌باشد. لازم به ذکر است که گام زمانی انتخابی در مدل باید از ۰/۲۹ زمان تأخیر حوضه کمتر باشد (قشقایی زاده، ۱۳۹۱). در این پژوهش به دلیل اینکه شبیه‌سازی برای رگبارهای منتخب تصادفی و در بازه زمانی سال ۱۳۹۳ انجام می‌شود، لذا از گام زمانی ۱ ساعته در انجام محاسبات استفاده شده است.

د) محاسبه زمان تأخیر: زمان تأخیر، فاصله زمانی بین مرکز ثقل بارش مازاد و مرکز ثقل هیدروگراف می باشد و غالباً به جای آن، زمان تأخیر تا اوج در نظر گرفته می‌شود که فاصله زمانی بین مرکز ثقل بارش مازاد و نقطه اوج می‌باشد (مهدوی، ۱۳۹۰). در روش SCS زمان تأخیر از رابطه ۱ محاسبه می گردد:

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

که در آن T_{Lag} زمان تأخیر حوضه بر حسب ساعت، L طول آبراهه (رودخانه) اصلی بر حسب فوت، S ضریب نگهداشت رطوبت توسط خاک در داخل حوضه بر حسب اینچ ($S = (1000/CN) - 100$) و Y متوسط شیب حوضه بر حسب درصد می‌باشند (علیزاده، ۱۳۹۴).

۴-۲- اعتبارسنجی مدل HEC-HMS :

برای استفاده از مدل در شبیه‌سازی حوضه، باید اعتبارسنجی مدل برای حوضه‌هایی که دارای آمار بارش – رواناب هستند با موفقیت انجام گیرد. در این پژوهش به منظور تهیه هیدروگراف بارش – رواناب ابتدا برای اجرای مدل از داده‌های بارش رگبار تصادفی در بازه زمانی سال ۱۳۹۳ حوضه آبریز کارده استفاده شده است، سپس جهت اعتبارسنجی از داده‌های مربوط به ۵ رویداد بارش – رواناب ایستگاه هیدرومتری کارده استفاده شده است و در مرحله بعد میزان دبی اوج پیش محاسبه شده توسط مدل با مقدار رواناب مشاهده شده توسط ایستگاه هیدرومتری واقع در منطقه مورد مقایسه قرار گرفته است.

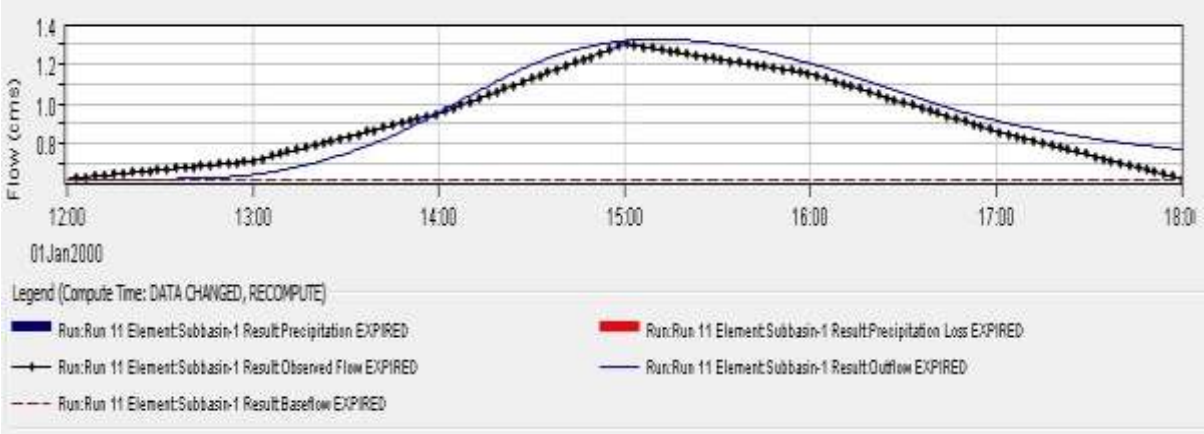
۵- ارائه نتایج

برآورد رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS :

پس از وارد کردن داده‌های سری زمانی و تکمیل مدل حوضه، مدل هواشناسی و شاخص‌های کنترل، مدل HEC-HMS را برای داده‌های مشاهده شده ۵ رگبار منتخب که در بازه زمانی سال ۱۳۹۳ توسط ایستگاه باران‌سنجی آل به ثبت رسیده‌اند اجرا کرده و هیدروگراف شبیه‌سازی شده به دست می‌آید. لازم به توضیح است که حوضه در شرایط رطوبتی متوسط در نظر گرفته شده است. فواصل زمانی ثبت بارش یک دقیقه ای و فواصل زمانی ثبت رواناب یک ساعته می‌باشد. جدول ۳ محاسبات حاصل از اجرای مدل را برای یک رخداد بارش در حوضه کارده نشان می‌دهد. همچنین هیدروگراف شبیه‌سازی شده حوضه در شکل ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۳- نتایج شبیه سازی بارش – رواناب حاصل از اجرای مدل HEC-HMS حوضه آبریز کارده

مقدار کل بارش (mm)	مقدار رواناب برآورد شده (mm)	هدر رفت بارش (mm)	دبی اوج (m3/s)
۳/۵۰	۰/۰۲	۳/۴۸	۱/۳



شکل ۴- هیدروگراف شبیه سازی شده حوضه آبریز کارده

با توجه به هیدروگراف شبیه‌سازی شده حوضه آبریز کارده براساس دوره آماری می‌توان گفت که هیدروگراف حوضه مورد مطالعه، نوک تیز نبوده و دبی سیلابی آن در واحد سطح، کمتر می‌باشد. لذا در زمان طولانی‌تری به دبی اوج می‌رسد.

جدول ۴- نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل HEC-HMS در حوضه آبریز کارده

تاریخ رخداد رگبار	مساحت حوضه km^2	دبی پیک محاسباتی m^3	دبی پیک مشاهداتی m^3	اختلاف بین دبی پیک محاسباتی و مشاهداتی
۹۳/۰۲/۱۵	۴۵۸	۱/۳	۱/۴	۰/۱
۹۳/۰۲/۰۸	۴۵۸	۱/۷	۱/۸	۰/۱
۹۳/۰۳/۰۹	۴۵۸	۱/۵	۱/۷	۰/۲
۹۳/۰۳/۱۰	۴۵۸	۱/۳	۱/۴	۰/۱
۹۳/۰۳/۱۱	۴۵۸	۱/۷	۱/۸	۰/۱

برآورد رواناب حوضه مورد مطالعه از مقادیر دبی پیک (دبی اوج) مشاهداتی برای رگبارهای انتخاب شده استفاده است. سپس مقادیر دبی پیک محاسباتی با مقادیر دبی پیک مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری کارده مورد مقایسه قرار گرفت.

جدول ۴ نتایج محاسبات عددی پارامترها در مرحله اعتبارسنجی توسط مدل را نشان می دهد.

۶- نتیجه گیری

بر اساس مقدار شماره منحنی و نتایج اجرای مدل برای بارندگی‌های رگباری روزانه می‌توان گفت که در اکثر این رخدادهای رگباری پتانسیل تولید رواناب بالا و قابل توجهی وجود دارد. همچنین در مطالعه‌ی دیگری که توسط ذبیحی در سال ۱۳۹۶ بر روی همین حوضه آبریز انجام شد، نشان داده شد که نتایج حاصل از اجرای مدل تطابق خوب و مناسبی با واقعیت و داده‌های هیدرومتری ثبت شده در منطقه مورد مطالعه دارد. بنابراین به طور کلی با توجه به کارایی این مدل می توان اذعان داشت که، مدل مذکور به دلیل قابلیت‌های بالا و امکان دسترسی آسان به روش‌های متنوع برای محاسبه پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی، مدل مناسبی جهت مطالعات (کنترل سیل و هیدرولوژی) به شرط منظور کردن پارامترهای منطقی و واسنجی می‌باشد.

مراجع

۱. اسدی، ه، زاهدی، ا، لسانی،م.ت، ملکشاهی، م، اولویت بندی سیل خیزی در حوضه آبخیز درون گز با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، ۱۳۹۱.

۲. برخورداری، جلال، خسروشاهی، محمد، بررسی اثرات تغییرات پوشش اراضی و اقلیم بر جریان رودخانه (مطالعه موردی حوضه آبخیز میتاب)، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۴، صص ۱۹۹-۱۹۱، ۱۳۸۶.

۳. بشارتی،ط، اولویت بندی مکانی مناطق سیل خیز در حوضه آبخیز رودک با استفاده از مدل شبیه سازی بارش-رواناب با مدل HEC-HMS، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی ساری، ص ۱۱۶، ۱۳۸۵.

۴. چیداز، آ، محسنی ساروی، م، وفاخواه، م، ارزیابی مدل HEC-HMS به منظور برآورد هیدروگراف سیلاب در حوضه آبخیز کسیلیان، مجله پژوهش های آبخیزداری، جلد ۵، صص ۸۴-۷۱، ۱۳۸۸.

۵. حسین زاده، محمد مهدی، ایمنی، سپیده، مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی حوضه آبخیز قوچک – رودک)، پژوهشهای دانش زمین، سال هفتم، شماره ۲۵، صص ۴۳-۳۱، ۱۳۹۴.

۶. دستورانی، م، خداپرست، ت، طالبی، ر، وفاخواه، م، دشتی، ج، ارزیابی و واسنجی پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز با استفاده از نرم افزار HEC-HMS (مطالعه موردی حوضه آبخیز سد طرق مشهد)، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، صص ۸-۱، ۱۳۸۹.

۷. رحیمی، داریوش، تأثیر رگبارهای منفرد بر مدیریت بحران سیل (نمونه موردی حوضه فارسان)، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی مشهد، شماره ۳، صص ۹۵-۸۵، ۱۳۸۸.

۸. سرحدی، علی، سلطانی، سعید، خواجه الدین، سید جمال الدین، مدرس، رضا، آنالیز سیل خیزی منطقه جیرفت با استفاده از مدل دبی آستانه، مجله علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۳، صص ۳-۲، ۱۳۸۷.

۹. سلیمانی،ک، گنبد، م، ب، موسوی، س، ر، خلیقی، ش، پتانسیل تولید سیل در حوضه های آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه معرف کسلیان، پژوهش جغرافیایی طبیعی شماره ۶۵، صص ۶۰-۵۱، ۱۳۸۶.

۱۰. شکری کوچک، س، بهنیا، ع. ا، رادمنش، ف، آخوند علی، ع. م، تخمین آبنمود سیلاب حوضه آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی حوضه ایدنک)، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال سوم، شماره ۵، صص ۸۸-۶۳، ۱۳۸۵.

۱۱. طلایی، س، ملکیان، آ، بررسی پتانسیل سیل‌خیزی و اولویت بندی حوضه‌های آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS و مقایسه آن با روش فرانکو - رودیر در حوضه آبخیز نازولچای آذربایجان غربی، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی امیر کبیر- تهران، ۱۳۹۰.

۱۲. علیزاده، ا، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ چهلم، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۱۳۹۴.

۱۳. قشقایی زاده، ن، واسنجی و اعتبارسنجی و اعتباریابی مدل HEC-HMS و آنالیز حساسیت آن در برآورد مشخصه های هیدروگراف سیلاب (مطالعه موردی حوضه آبریز جاماش استان هرمزگان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پردیس دانشگاهی قشم، ۱۳۹۱.

۱۴. مزیدی، احمد، کوشکی، سمیرا، شبیه سازی بارش – رواناب و تخمین سیل (مطالعه موردی حوضه آبریز خرم آباد)، جغرافیا و توسعه، شماره ۴، صص ۱۰-۱، ۱۳۹۲.

۱۵. مهدوی، م، هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۰.

۱۶. میکائیل زاده، ح، طالبی، ع، بررسی اثر اقدامات آبخیزداری (مکانیکی و بیولوژیکی) بر میزان رواناب حوضه با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی در حوضه آبخیز نهند)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ۱۳۹۳.

۱۷. نژاد سلیمان، حمید، مینائی، مسعود، قلی زاده، وجیه، بررسی پتانسیل تولید رسوب به روش هیدروفیزیکی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حوضه آبریز کارده، مجله علوم جغرافیایی، شماره ۲۵، صص ۸۲-۷۰، ۱۳۹۵.

۱۸. نشاط، ع، صدقی، ح، "برآورد میزان رواناب با استفاده از روش حفاظت خاک آمریکا (SCS) و مدل HEC-HMS در حوضه آبخیز باغ ملک استان خوزستان"، مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی، شماره ۴، صص ۷۹۸-۷۸۶، ۱۳۸۵.

19.Ali Mohammad, J. k., Aslam, I. and Khan, Z., (2011). Simulation of the impacts of landuse change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan, Landscape and Urban Planning, v. 102, pp. 271–279.

20. Arnaud, P., Bouvier, C., Cisneros, L. and Dominguez, R., (2001). Influence of rainfall spatial variability on flood prediction, Journal of Hydrology, v. 26, pp. 216-230.

21. Chen, Y., Xu, Y. and Yin, Y., (2009). Impacts of land use scenarios on storm run off

generation in Xitiaoxi basin China, Journal of Hydrology, v. 28(1-4), pp.1-8.

22. Emerson, CH., Welty, C. and Traver, R.G., (2003). Application of HEC-HMS to model the

additive effects of multiple detention basins over a range of measured storm volumes,Civil Engineering Database, Part of world water & Environmental Resources Congress 2003 and Related Symposia.

23. Halwatura D .Najmin. m (2013). applieation of hec_hms model for run offsimulation in a tropical catchment "Enviroment modeling & softwar" v.46, pp.155-162.

24. Kafle, T.P., Hazarika, M.K., Karki, S., Shrestha, R.M., Sharma, R. and Samarakoon,L., (2007). Basin scale rainfall runoff modeling for flood forecasts, 5th Annual Mekong flood

Forum, Vietnam.