

تاثیر عملیات آبخیزداری بر آبنمود سیل با استفاده از مدل HEC-HMS

(مطالعه موردی: حوضه آبخیز رامیان)

پیام ابراهیمی^{۱*}، جمیله سلیمی کوچی^۲ و محسن محسنی ساروی^۳

(۱) دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(۲) دکتری علوم و مهندسی آبخیز، کارشناس ارشد سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، تهران، تهران، ایران.

(۳) استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: Ebrahimi1393@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۴

چکیده

افزایش استفاده از منابع آب و خاک حوضه‌های آبخیز در چنددهه اخیر و بهره‌برداری غیراصولی و نامتناسب با اکولوژی سرزمین، تشدید وقوع سیلاب‌ها را به همراه داشته است. در همین زمینه، عملیات آبخیزداری یکی از موثرترین راه‌های مقابله با این بحران می‌باشد. این پژوهش از طریق بررسی تغییرات حجم و دبی پیک در اثر اقدامات بیومکانیک صورت گرفته در حوضه آبخیز رامیان واقع در استان گلستان نتایج اقدامات آبخیزداری را کمی می‌نماید. با استفاده از مدل HEC-HMS و در نظر گرفتن ضرایب CN در سه دوره خشک، متوسط و مرطوب، مقدار کاهش دبی پیک و حجم سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۵۰۰ سال برآورد شد. به منظور کنترل برآوردها از چهار واقعه سیل در طول مدت آماری ۲۱ سال و با استفاده از آمار ایستگاه هیدرومتری و باران‌سنجی موجود در منطقه استفاده شد. پس از بهینه‌سازی مقادیر CN ورودی به مدل HEC-HMS، دبی پیک و حجم کل سیلاب به ترتیب با دقت ۳/۱۶ درصد و ۱۱/۳۰ درصد برآورد شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد عملیات بیومکانیکی می‌تواند با دوره بازگشت ۱۰ ساله دبی اوج را ۴۰/۷۲ درصد و حجم دبی ۲۰ ساله را ۳۰/۱۸ درصد کاهش دهد. از سوی دیگر هیدروگراف قبل و بعد از عملیات بیومکانیکی نشان می‌دهد حجم سیل و دبی اوج حوضه آبخیز رامیان با گذشت زمان کاهش پیدا کرده و عملیات آبخیزداری در این منطقه موثر بوده است. بدین ترتیب در مجموع، اثر اقدامات آبخیزداری با تاکید بر اقدامات بیومکانیک، بر روی دبی سیلابی حوزه آبخیز رامیان مثبت ارزیابی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبخیزداری، اقدامات بیومکانیک، ارزیابی، کنترل سیلاب، اکولوژی.

مقدمه

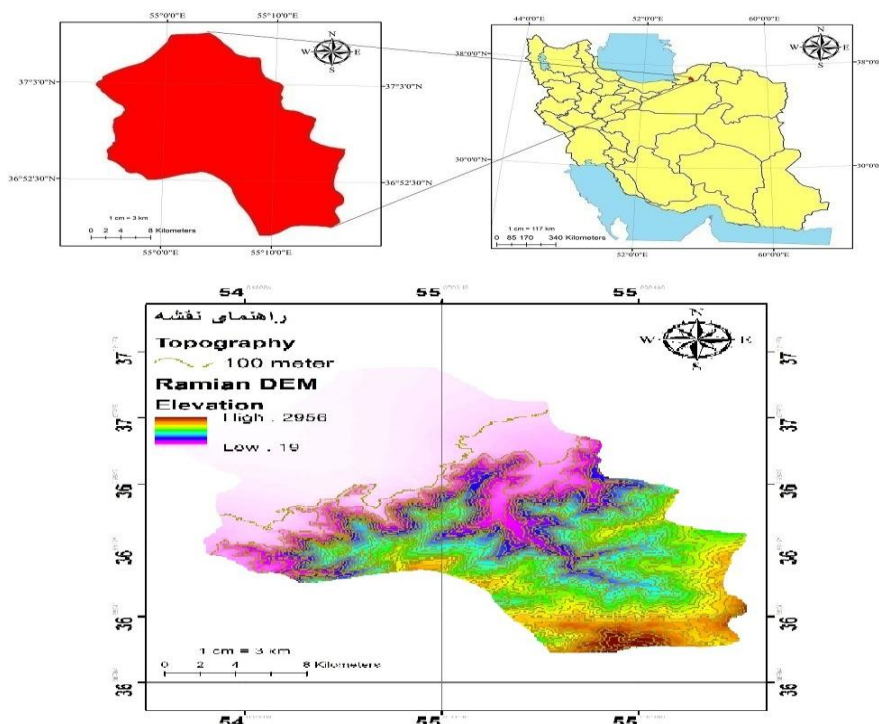
مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر در زمینه وقوع سیل در استان‌های شمالی کشور نشان می‌دهد فراوانی و قدرت تخریب سیل به دلیل تغییرات شرایط آب و هوایی و تغییراتی که در کاربری اراضی اتفاق می‌افتد، افزایش یافته است (شنایی هویزه و زارعی، ۱۳۹۵). برای جلوگیری از وقوع سیل و یا کاهش اثرات آن راهکارهای کوتاه‌مدت تا بلندمدت بسیاری در کشور پیشنهاد شده است اما یا دارای هزینه‌های بالا هستند و یا به‌منظور حل بحران وقوع سیل بیشتر جنبه هشدار دارند. با توجه به تجارب سال‌های گذشته و کشورهای پیشگام در زمینه مقابله با بحران سیل، روش‌های بلندمدت نتایج کم‌هزینه‌تر و قابل قبول‌تری را ارائه می‌کنند. بررسی نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد اجرای عملیات آبخیزداری به خصوص در زمینه عملیات بیومکانیکی نقش مهمی در کنترل رواناب‌های سطحی داشته است (مردوخ‌پور و اوشک‌سرای، ۱۳۹۴). یکی از مشکلات در زمینه بررسی کارایی و اثرگذاری عملیات آبخیزداری در بحث کاهش وقوع سیل، عدم توانایی کمی‌سازی نتایج به دست آمده است (رحیمی و رحیمی داشلی برون، ۱۳۹۵). تعیین و شناسایی مناطق سیل‌گیر به خصوص در ورودی شهرها نشان می‌دهد اطلاع از دبی پیک و حجم سیلاب باید با توجه به افزایش شهرنشینی به‌دقت مورد بررسی قرار گیرد و اثرات عملیات مکانیکی و بیولوژیکی در حوزه آبخیز تعیین گردد (Gao et al., ۲۰۱۷).

تجارب سایر کشورها در زمینه بحران سیلاب نشان می‌دهد بسترسازی کاهش خسارات سیل با رویکرد اقدامات بیومکانیک نسبت به اقدامات مکانیک و یا بیولوژیک بسیار موثر بوده است اما این تاثیر همواره در بخش بیومکانیک به صورت ادامه‌دار وجود خواهد داشت (Fenicia et al., ۲۰۱۳). مهم‌ترین عواملی که دبی پیک سیلاب را تحت تاثیر قرار می‌دهد پوشش گیاهی و رطوبت خاک است که برای پیش‌بینی پاسخ هیدرولوژیک، مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS توانسته است به نیازهای مدل‌سازی پاسخ نزدیک به واقعیت دهد (Sintayehu, ۲۰۱۵). در کشور ایران با توجه به این‌که روش‌های کوتاه‌مدت از مقبولیت بالاتری برخوردار است از مزایا و منافع آبخیزداری که عموماً در بلندمدت حاصل می‌شود غافل شده و نسبت به پروژه‌های عمرانی پیشگیرانه سیل و یا هشدار دهنده کمتر علاقه نشان داده می‌شود. این درحالی است که مقابله با بحران سیل نیازمند فعالیت‌های بلندمدت می‌باشد و باید با استفاده از اکولوژی سرزمین و تغییرات آن ارزیابی‌های دقیق‌تری را برای مقابله با بحران‌هایی نظیر سیل و خشکسالی لحاظ نمود. از این رو لازم است در جهت بررسی منافع حاصل از اقدامات آبخیزداری و حفظ اکولوژی گیاهی و به تبع آن کاهش خسارات سیل نتایج کمی در اختیار قرار گیرد تا نتایج اقدامات آبخیزداری قابل لمس و بررسی گردد. برنامه‌ریزی و مدیریت پوشش گیاهی بخشی از فعالیت‌های آبخیزداری است و در نتایج بررسی‌های به‌عمل آمده کاهش ضریب رواناب و افزایش پوشش گیاهی از اثرات و اقدامات آبخیزداری در منطقه بوده است (Bouri and Ben Dhia, ۲۰۱۰؛ Ghazavi et al., ۲۰۱۰؛ Eisazadeh et al., ۲۰۱۲).

مدل HEC-HMS با استفاده از ضریب CN دقت قابل قبولی در مقایسه با سایر روش‌ها دارد (Hassan A. K., ۲۰۱۷). در برخی پژوهش‌ها به منظور امکان‌سنجی وقوع سیل بر مبنای پوشش گیاهی از روش‌هایی نظیر شماره منحنی و سازمان حفاظت خاک آمریکا استفاده شده است (احمدآبادی و غفورپور عنبران، ۱۳۹۵؛ ثروتی و همکاران، ۱۳۹۳). در صورتی که مدیریت اکولوژی سرزمین همراه با اقدامات مکانیکی صورت گیرد از وقوع سیل جلوگیری به عمل می‌آید و یا از شدت آن کاسته می‌شود (Suriya and Mudgal, ۲۰۱۱). پهنه‌بندی وقوع سیلاب در مراکز انسانی و اقتصادی نقش اکولوژی سرزمین را در مواجهه با بلایای طبیعی بیشتر نشان می‌دهد و مقابله با آن تنها با عملیات مکانیکی رهیافت ایده‌آلی نخواهد بود (مختاری هشی و رحیمی، ۱۳۹۵). شبیه‌سازی بارش - رواناب در مناطق خشک و نیمه خشک مشابه ایران در کشورهای دیگر نیز صورت گرفته است که وضعیت پوشش گیاهی را پس از اقدامات مکانیکی مورد بررسی و کارایی مدل را با ضریب ناش ساتکلیف ۹۵ درصد نشان داده است (Derdour et al., ۲۰۱۷). لذا با توجه به نتایج پژوهش‌هایی که تاکنون به دست آمده و محدودیت‌های منابع مالی و نگهداری، نیاز است تا اقدامات آبخیزداری و نتایج آن‌ها به صورت کمی برآورد گردد و زمینه توجه مدیران به فعالیت‌های آبخیزداری و اختصاص منابع مالی در این راستا فراهم شود. این پژوهش با توجه به میزان دبی اوج و حجم سیل خیزی در حوزه آبخیز رامیان واقع در استان گلستان نتایج عملیات بیومکانیک قبل و بعد از عملیات آبخیزداری را در اختیار قرار می‌دهد تا مبنای برنامه‌ریزی سال‌های آتی شود.

مواد و روش‌ها

یکی از مناطقی که در راستای پیش‌گیری از وقوع سیل، اقدامات آبخیزداری بسیار خوبی صورت گرفته حوضه آبخیز رامیان می‌باشد. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز رامیان واقع در استان گلستان موقعیت مناسبی را به وجود آورده است تا به بررسی فعالیت‌های آبخیزداری صورت گرفته در این منطقه پرداخته شود. حوضه آبخیز رامیان در عرض‌های ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول ۵۴ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی در جنوب استان گلستان واقع شده است (شکل ۱). بلندترین ارتفاع حوضه ۲۹۰۰ متر و متوسط بارندگی ۶۵۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی در پژوهش

بررسی تحقیقات مربوط به ارزیابی اقدامات آبخیزداری نشان داد، یکی از ابزارهایی که ارتباط میان پوشش گیاهی و رواناب را به دقت مورد بررسی قرار می‌دهد استفاده از مدل HEC-HMS می‌باشد. به طوری که با انجام شبیه‌سازی بارش و رواناب قبل و بعد از انجام اقدامات آبخیزداری و بررسی تغییر پیک جریان، اثربخش بودن این اقدامات بررسی می‌شود. با استفاده از آمار ایستگاه هیدرومتری و باران‌سنجی حوضه آبخیز رامیان تغییرات میزان بارش و دبی پس از انجام اقدامات آبخیزداری مورد بررسی قرار گرفت. شماره منحنی مربوط به هر یک از زیرحوضه‌ها با استفاده از نقشه گروه هیدرولوژیک خاک و نقشه کاربری اراضی در شرایط رطوبت پیشین متوسط خاک (حالت II) تعیین شد. نقشه گروه هیدرولوژیک خاک با نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۳۷۲ و ۱۳۸۵ تلفیق شد. پس از تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک و تعیین CN در هر یک از پلی‌گون‌های حاصل با استفاده از جدول تعیین شماره منحنی، CN متوسط وزنی به دست آمد. CN به دست آمده مربوط به شرایط رطوبت خاک در وضعیت رطوبت پیشین متوسط می‌باشد و با توجه به این که رویداد بارش مورد استفاده ممکن است مربوط به شرایط با رطوبت پیشین خشک یا شرایط مرطوب باشد، CN در شرایط رطوبت پیشین I و III نیز محاسبه شد. همچنین زمان تمرکز از رابطه حفاظت خاک آمریکا به دست آمده است. بدین منظور ابتدا زمان تاخیر محاسبه و سپس با استفاده از روابط ۱ و ۲ زمان تمرکز محاسبه شد. روابط زمان تاخیر و زمان تمرکز در ذیل آورده شده است.

$$T_l = \frac{2.587.L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)^{0.7}}{1900Y^{0.5}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$T_c = \frac{5}{3} T_l \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این روابط L طول آبراهه اصلی بر حسب متر، CN شماره منحنی، Y شیب متوسط وزنی حوضه بر حسب درصد، T_l زمان تاخیر و T_c زمان تمرکز می‌باشد. به‌منظور محاسبه زمان تاخیر در شرایط قبل از احداث سازه‌ها زمان تاخیر هر یک از زیرحوضه‌ها و کل حوضه با استفاده از رابطه SCS محاسبه شد. برای به‌دست آوردن شیب آبراهه، پروفیل طولی آبراهه اصلی حوضه و هر یک از زیرحوضه‌ها ترسیم شد. سپس با استفاده از پروفیل طولی ترسیم شده، شیب متوسط وزنی آبراهه‌های اصلی زیرحوضه‌ها و کل حوضه محاسبه شد. از اطلاعات ایستگاه هیدرومتری رامیان و باران‌سنجی فاضل آباد در حوضه آبخیز رامیان استفاده شده است که اطلاعات این ایستگاه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: ایستگاه هیدرومتری رامیان و باران‌سنجی فاضل آباد

عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه	حوضه آبخیز	نوع ایستگاه	استان
۳۷-۰۱-۰۰۰	۵۵-۰۸-۰۰۰	رامیان	رامیان	هیدرومتری	گلستان
۳۶-۰۹-۰۰۰	۵۴-۷۵-۰۰۰	فاضل آباد	رامیان	باران‌سنجی	گلستان

با توجه به این‌که نقشه کاملی از اقدامات بیولوژیکی انجام شده در حوزه آبخیز رامیان در دسترس نیست، با توجه به مساحت زیاد حوضه مورد مطالعه، نقشه‌های کاربری اراضی حوضه آبخیز رامیان با کمک تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر گوگل ارث مربوط به دوره‌هایی که اطلاعات بارش و رواناب در ایستگاه هیدرومتری رامیان و ایستگاه باران‌سنجی فاضل آباد وجود داشتند در زمان قبل و بعد از انجام اقدامات تهیه و اصلاح شدند تا میزان موفقیت طرح‌های بیولوژیک و مکانیک از طریق حجم عملیات آبخیزداری و مقایسه مساحت‌های انواع پوشش گیاهی در دو زمان قبل و بعد از عملیات بررسی شود.

به‌منظور محاسبه زمان تمرکز پس از احداث سازه‌ها، با توجه به نقشه اقدامات آبخیزداری تهیه‌شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری و نیز بازدیدهای میدانی، تعداد و محل سازه‌های احداثی در آبراهه اصلی هر زیرحوضه مشخص شد. محل سازه‌ها بر روی مسیر آبراهه مشخص و شیب جدید پشت سازه‌ها معادل نصف شیب قبلی یعنی شیب حد در نظر گرفته شد و پس از آن طول و متوسط شیب وزنی آبراهه اصلی در شرایط فعلی محاسبه و با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده زمان تاخیر و تمرکز حوضه و نیز رواناب در شرایط فعلی با در نظر گرفتن وجود سازه‌ها نیز محاسبه شد.

همچنین جدول ۲ مقادیر بارش و رواناب را قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در طول دوره آماری ۳۱ ساله نشان

می‌دهد.

جدول ۲: مقادیر بارش و رواناب در طول دوره آماری ۱۳۶۲-۱۳۹۳

متغیرهای بارش و رواناب	پیش از اجرای عملیات آبخیزداری	پس از اجرای عملیات آبخیزداری
متوسط بارش سالانه (mm)	۸۹۵	۹۰۲
انحراف معیار (سالانه)	۱۱۲	۱۱۹
ضریب تغییرات (cv)	۰/۱۲۵	۰/۱۳۲
حداکثر (mm)	۱۱۲۶	۱۰۸۵
حداقل (mm)	۷۲۷	۷۲۲
دبی پایه جریان	۰/۵۴	۰/۵۰
متوسط دبی سالانه (m ³ /s)	۱/۲۸	۰/۹
انحراف معیار (سالانه)	۲/۴۷	۱/۶
ضریب تغییرات (cv)	۱/۸۶	۱/۶۹
متوسط دبی حداکثر سالانه (m ³ /s)	۴۱/۷۱	۲۲/۷۵

زمان تاخیر کل حوضه معادل ۱۶۲ دقیقه می‌باشد. با در نظر داشتن این که زمان تاخیر معادل ۰/۶ زمان تمرکز می‌باشد، زمان تمرکز حوزه معادل ۲۷۰ دقیقه می‌باشد. بدین ترتیب بارش با تداوم ۲۷۰ دقیقه برای محاسبه مقادیر بارش با تداومها و دوره بازگشت‌های مختلف برای ایستگاه‌های مورد بررسی برآورد شد. این دوره بازگشت‌ها شامل دوره‌های ۲ تا ۵۰۰ سال می‌باشد. جدول ۳ اطلاعات مربوط به ایستگاه باران‌سنجی فاضل آباد و جدول ۴ توزیع زمانی بارش طرح را در حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۳: بارش با تداوم برابر با زمان تمرکز حوضه با دوره بازگشت‌های مختلف (بر حسب میلی متر)

تداوم بارش (دقیقه)	دوره بازگشت (سال)					
	۲	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
۲۷۰	۳۷/۶	۶۳/۵	۷۳/۸	۸۷/۱	۹۷/۲	۱۰۷/۱
						۱۲۰/۳

جدول ۴: توزیع زمانی بارش طرح حوزه آبخیز رامیان با دوره بازگشت های مختلف

بارش با دوره بازگشت (سال)

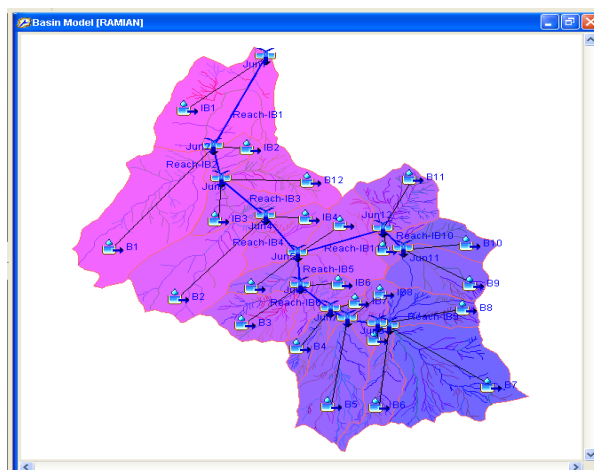
زمان (دقیقه)	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۰	۶	۷	۸	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۶۰	۱۴	۱۶	۱۹	۲۲	۲۵	۲۷	۳۱
۹۰	۱۹	۲۳	۲۷	۳۱	۳۵	۳۹	۴۳
۱۲۰	۲۳	۲۷	۳۲	۳۷	۴۲	۴۶	۵۲
۱۵۰	۲۸	۳۴	۳۹	۴۶	۵۲	۵۷	۶۴
۱۸۰	۳۵	۴۲	۴۹	۵۷	۶۴	۷۱	۷۹
۲۱۰	۳۹	۴۷	۵۵	۶۵	۷۲	۸۰	۸۹
۲۴۰	۴۳	۵۱	۵۹	۷۰	۷۸	۸۶	۹۷
۲۷۰	۴۶	۵۵	۶۴	۷۵	۸۴	۹۳	۱۰۴
۳۰۰	۵۳	۶۴	۷۴	۸۷	۹۷	۱۰۷	۱۲۰

در این مطالعه، رویدادهایی که هم دارای هیدروگراف ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری رامیان و هم دارای بارش ثبت شده در ایستگاه ثبات فاضل آباد هستند که در نهایت ۱۲ رویداد مناسب در زمان قبل و بعد از انجام اقدامات آبخیزداری است انتخاب شد. از بین رویدادهای موجود، رویدادهای شماره ۱ و ۲ و ۵ برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در زمان قبل از انجام اقدامات آبخیزداری و از رویدادهای شماره ۸ و ۹ و ۱۳ به منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل در زمان بعد از انجام اقدامات انتخاب شدند و سایر رویدادها به علت عدم تناسب هیدروگراف جریان و هیستوگرام بارش حذف شدند (جدول ۵). سالهای مذکور به خوبی نشان می دهد ارتفاع رواناب در بعد از اقدامات بیومکانیک کاهش یافته است. در مدل HEC-HMS شکل شماتیک حوضه آبخیز رامیان شبیه سازی شد و از نتایج مدل در پژوهش استفاده شد.

جدول ۵: مشخصات بارش و دبی رویدادهای مشاهداتی

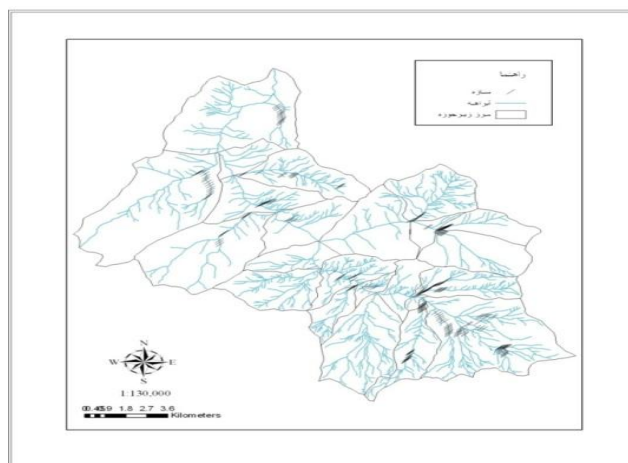
ردیف	زمان	تاریخ رویداد	بارندگی ایستگاه رامیان (mm)	بارش ۵ روز قبل (mm)	دبی حداکثر جریان	ارتفاع رواناب (mm)
۱	قبل از اقدامات	۱۳۶۹/۱۲/۱۷ و ۱۶	۷۰/۵	۰	۳۱/۹	۲/۴
۲		۱۳۷۱/۳/۱۶	۴۹	۲۱/۵	۲۱/۹۶	۲
۳		۱۳۷۲/۸/۲۳	۶۱	۱۲/۵	۳/۰۳	۰/۴۷
۴		۱۳۷۲/۱۰/۱۶	۹۶	۱۲/۸	۹/۸۵	۱/۵
۵		۱۳۷۲/۱۰/۲۷	۵۵	۰	۱۱/۴۲	۱/۴۲
۶		۱۳۷۲/۱۲/۲۱	۴۶	۸/۵	۱۲/۲۸	۴/۰۱
۷	بعد از اقدامات	۱۳۷۶/۷/۱۵	۵۶	۰	۴/۷	۰/۵
۸		۱۳۷۶/۸/۱۵	۶۰	۷/۵	۴/۲۱	۰/۷
۹		۱۳۷۶/۱۱/۷	۲۴/۵	۱۰/۵	۶/۱	۰/۴۷
۱۰		۱۳۷۷/۱۲/۲	۵۶	۰	۱۱/۴	۱/۷۵
۱۱		۱۳۷۹/۹/۱۹	۲۳	۰	۱/۳	۰/۱۷
۱۲		۱۳۸۰/۷/۱۰	۲۱	۵	۰/۷۴	۰/۱۷
۱۳		۱۳۸۰/۱۲/۱۴	۶۷	۳	۲۳/۳۸	۲

پس از ترسیم مدل حوضه و مشخص کردن موقعیت زیرحوزه‌ها و بازه‌های روندیابی، اطلاعات مربوط به تلفات، انتقال و آب پایه به مدل حوضه داده شد. شماتیک حوضه در (شکل ۲) آورده شده است.



شکل ۲: شماتیک مدل حوضه آبخیز رامیان

در شکل ۳ اقدامات مکانیکی صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. این اقدامات شامل بندهای گابیونی و خشکه چین است که در منطقه بیشترین حجم عملیات آبخیزداری را به خود اختصاص داده است. احجام مربوط به این بندها مشخص و ثابت است که در بخش نتایج مقادیر آن بیان شده است.



شکل ۳: نقشه اقدامات مکانیکی صورت گرفته در حوضه آبخیز رامیان

نتایج و بحث

با استفاده از نتایج مدل HEC-HMS دبی پیک و حجم سیلاب به دست آمده در ۴ رویداد که اطلاعات مربوط به دبی و بارش مربوط به آن در ایستگاه هیدرومتری رامیان و ایستگاه باران‌سنجی فاضل آباد موجود بود بررسی شد. نتایج این بررسی در جدول ۶ آورده شده است. خطای شبیه‌سازی در هر دو بخش نشان می‌دهد مقادیر CN به خوبی کالیبره نشده

است. بخشی از این خطا مربوط به اضافه شدن جریان زیرقشری به جریان رودخانه رامیان است. برای حل این مسئله مقادیر CN مجدد بهینه شد تا دبی مشاهداتی و دبی برآوردی نتایج قابل قبولی داشته باشند (جدول ۷).

جدول ۶: مقادیر دبی پیک، حجم سیلاب و زمان رسیدن به اوج دبی

پارامتر	دبی پیک		حجم سیلاب (هزار متر مکعب)		خطای شبیه‌سازی به درصد
	مشاهداتی (m^3/s)	شبیه‌سازی (m^3/s)	مشاهداتی	شبیه‌سازی	
رویداد	۳۱/۹	۳۸/۴	۵۷۶/۰	۴۲۴/۴	۱۳۶۹/۱۲/۱۷
	۲۱/۹۶	۲۳/۹۱	۳۶۶/۸	۱۹۴/۹	۱۳۷۱/۳/۱۶
	۴/۷۷	۷/۱۸	۱۸۹/۹۵	۲۴۷/۷	۱۳۷۶/۸/۱۵
	۲۳/۳۸	۲۶/۵۹	۴۸۰/۷	۳۳۲/۹	۱۳۸۰/۱۲/۱۴

جدول ۷: شماره منحنی تعیین شده در زیر حوزه های آبخیز رامیان با شرایط رطوبت پیشین خشک، متوسط و مرطوب

نام زیر حوزه	CN قبل از عملیات آبخیزداری			CN بعد از عملیات آبخیزداری		
	خشک	متوسط	مرطوب	خشک	متوسط	مرطوب
B1	۴۶	۶۷	۸۲	۴۴	۶۵	۸۱
B2	۵۸	۷۷	۸۹	۵۸	۷۷	۸۸
B3	۵۵	۷۴	۸۷	۵۴	۷۴	۸۷
B4	۶۲	۸۰	۹۰	۵۶	۷۵	۸۸
B5	۴۳	۶۴	۸۱	۴۱	۶۳	۷۹
B6	۳۸	۵۹	۷۷	۳۷	۵۸	۷۶
B7	۴۰	۶۱	۷۸	۳۸	۶۰	۷۷
B8	۵۰	۷۱	۸۵	۴۹	۷۰	۸۴
B9	۵۶	۷۵	۸۷	۵۱	۷۱	۸۵
B10	۵۳	۷۳	۸۶	۵۱	۷۱	۸۵
B11	۴۹	۷۰	۸۴	۴۶	۶۷	۸۳
B12	۵۸	۷۷	۸۸	۵۶	۷۶	۸۸
IB1	۴۶	۶۷	۸۲	۴۳	۶۴	۸۰
IB2	۶۱	۷۹	۹۰	۶۱	۷۹	۸۹
IB3	۵۹	۷۷	۸۹	۵۴	۷۴	۸۷
IB4	۵۲	۷۲	۸۶	۴۸	۶۹	۸۳
IB5	۶۲	۷۹	۹۰	۵۹	۷۷	۸۹
IB6	۵۹	۷۷	۸۹	۵۴	۷۴	۸۷
IB7	۵۶	۷۵	۸۸	۵۱	۷۱	۸۵
IB8	۵۴	۷۳	۸۶	۵۳	۷۳	۸۶
IB9	۵۸	۷۷	۸۸	۵۷	۷۶	۸۸
IB10	۶۲	۸۰	۹۰	۶۰	۷۸	۸۹
IB11	۶۱	۷۹	۹۰	۵۴	۷۴	۸۷
کل حوزه	۵۱	۷۲	۸۵	۴۹	۶۹	۸۴

مدل از طریق مقادیر CN بهینه شده به صورت تصادفی برای رویداد سال ۱۳۸۰ ارزیابی شد. مقادیر خطا به ترتیب در دبی پیک ۳/۱۶ درصد بیش برآورد و ۱۱/۳۰ درصد کم برآورد نشان می‌دهد که قابل قبول است. مقادیر دبی پیک مشاهداتی و حجم آن به ترتیب ۲۳/۳۸ مترمکعب بر ثانیه و ۴۸۰/۷ هزار مترمکعب می‌باشد که پس از بهینه سازی مدل به ۲۴/۱۲ مترمکعب بر ثانیه و ۴۲۶/۳۶ مترمکعب تغییر یافته است (جدول ۸).

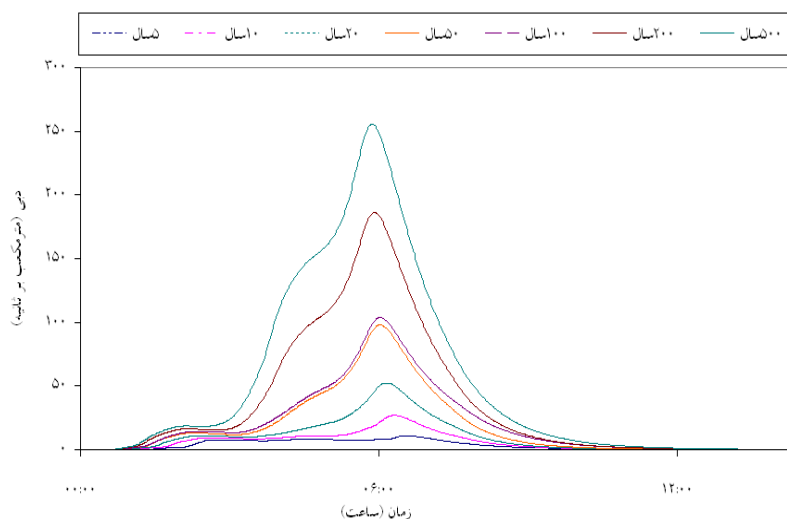
جدول ۸: مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی

پارامتر	مقادیر مشاهداتی	CN اولیه	CN بهینه شده	مقادیر خطا به درصد
دبی پیک (مترمکعب بر ثانیه)	۲۳/۳۸	۲۶/۵۹	۲۴/۱۲	+۳/۱۶
حجم سیل (هزار مترمکعب)	۴۸۰/۷	۳۳۲/۹	۴۲۶/۳۶	-۱۱/۳۰

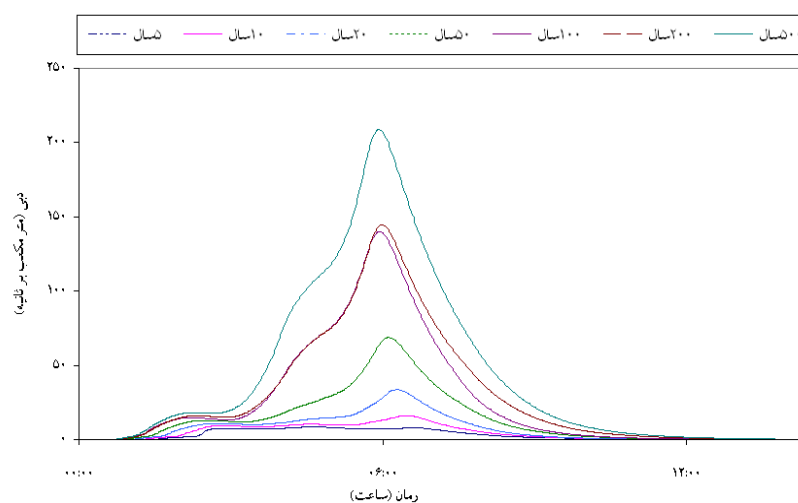
با استفاده از مقادیر دبی قبل و بعد از عملیات آبخیزداری دبی پیک و حجم سیل با توجه به دوره بازگشت ۲ تا ۵۰۰ در انتهای حوضه کاهش یافته است (جدول ۹). بیشترین مقدار کاهش دبی اوج در دوره بازگشت ۱۰ سال با توجه حجم گابیون و بندهای خشکه چین و عملیات بیولوژیک با مقدار ۴۰/۷۲ درصد می‌باشد. اما میزان حجم انباشت شده در پشت عملیات مکانیکی و با توجه به استقرار پوشش گیاهی به ویژه درختان و مصرف آب و افزایش ضریب نفوذپذیری بستر و کناره‌های آبراهه‌ها، بیشترین حجم مربوط به دوره بازگشت ۲۰ سال با مقدار ۳۰/۱۸ درصد می‌باشد. با توجه به مقادیر به-دست آمده، هیدروگراف سیلاب حوضه آبخیز رامیان قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری تهیه شد (شکل ۴ و ۵). با مقایسه هیدروگراف‌های جریان با دوره بازگشت‌های مختلف بین زمان قبل و بعد از انجام اقدامات آبخیزداری ملاحظه می‌شود که هیدروگراف جریان مربوط به زمان پس از انجام اقدامات دارای شاخه خشکیدگی با شیب کمتر می‌باشد و از سوی دیگر شاخه تا اوج هیدروگراف پس از اقدامات آبخیزداری شیب ملایم‌تر و پیک جریان کندتری است. اما نکته قابل بررسی، عمر سازه‌ها می‌باشد که در بهترین حالت ۵۰ سال خواهد بود، لذا دوره بازگشت بالاتر جنبه پژوهشی داشته و کاربردی نیست.

جدول ۹: مقادیر دبی با دوره بازگشت‌های ۵ تا ۵۰۰ ساله در اقدامات بیولوژیک و مکانیک

دوره بازگشت	قبل از انجام اقدامات آبخیزداری		بعد از انجام اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی		کاهش دبی اوج و حجم سیل در اثر اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی (درصد)	
	دبی اوج	حجم	دبی اوج	حجم	دبی اوج	حجم
۵	۱۰/۵۵	۲۵۷/۳۷	۸/۱۶	۲۲۲/۶۶	۲۲/۶۶	۱۳/۴۹
۱۰	۲۵/۸	۴۳۹/۰۵	۱۵/۲۹	۳۲۶/۸۳	۴۰/۷۲	۲۵/۵۶
۲۰	۵۰/۲۲	۷۴۵/۶۹	۳۱/۹۵	۵۲۰/۶۱	۳۶/۳۸	۳۰/۱۸
۵۰	۹۳/۸۷	۱۳۵۶/۹۸	۶۵/۳۳	۹۷۰/۷۶	۳۰/۱۴	۲۸/۴۶
۱۰۰	۱۳۴/۲۸	۱۹۷۹/۲	۹۸/۵۳	۱۴۸۳/۳۹	۲۶/۶۲	۲۵/۰۵
۲۰۰	۱۷۸/۷۶	۲۷۲۱/۲۱	۱۳۷/۵۳	۲۱۱۹/۴۳	۲۳/۰۶	۲۲/۱۱
۵۰۰	۲۴۵/۰۷	۳۸۹۶/۹۲	۱۹۸/۳۹	۳۱۴۷/۸۶	۱۹/۰۵	۱۹/۲۲



شکل ۴: هیدروگراف سیل کل حوضه با دوره بازگشت‌های ۵ تا ۵۰۰ سال قبل از اقدامات آبخیزداری



شکل ۵: هیدروگراف سیل کل حوضه با دوره بازگشت‌های ۵ تا ۵۰۰ سال پس از انجام اقدامات آبخیزداری

نتیجه‌گیری

با مقایسه مقادیر دبی اوج و پیک سیلاب حوضه آبخیز رامیان مشاهده شد عملیات آبخیزداری بیومکانیک تاثیر قابل قبولی در کاهش سیل خیزی داشته است که با نتایج مردوخ‌پور و اوشک‌سرایبی (۱۳۹۴) و Haq et al. (۲۰۱۲) مطابقت دارد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که تاثیر اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی بر دبی اوج با افزایش دوره بازگشت تا ۱۰ سال روند افزایشی داشته اما با افزایش دوره بازگشت از ۱۰ سال تا ۵۰۰ سال روند کاهشی دارد. در مورد حجم سیلاب نیز تاثیر اقدامات آبخیزداری با افزایش دوره بازگشت تا ۲۰ سال روند افزایشی و با افزایش دوره بازگشت از ۲۰ سال تا ۵۰۰ سال روند کاهشی دارد. با مقایسه هیدروگراف‌های جریان با دوره بازگشت‌های مختلف بین زمان قبل و بعد از انجام اقدامات آبخیزداری ملاحظه می‌شود که هیدروگراف جریان مربوط به زمان پس از انجام اقدامات دارای شاخه خشکیدگی با شیب کمتر می‌باشد و این مسئله ناشی از تاثیر مثبت اقدامات آبخیزداری بر روی هیدروگراف جریان می‌باشد. بدین ترتیب در کل اثر اقدامات آبخیزداری با تاکید بر تاثیر اقدامات بیولوژیکی و مکانیک، بر روی دبی سیلابی حوضه آبخیز رامیان مثبت ارزیابی می‌شود به طوری که بیشترین تاثیر اقدامات در دوره بازگشت ۱۰ سال می‌باشد. نتایج این پژوهش در تایید تحقیقات Meenu و همکاران (۲۰۱۳) کارایی مدل HEC-HMS و تاثیر اقدامات آبخیزداری را در مدت ۱۰ تا ۲۰ سال می‌داند. با مثبت ارزیابی شدن اثر اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی روی سیل خیزی حوضه آبخیز رامیان و مشاهده کاهش دبی پیک جریان با استفاده از آمار موجود، می‌توان با پهنه‌بندی سیلاب و بررسی خطر سیلاب با استفاده از حداکثر دبی جریان به دست آمده در این تحقیق نسبت به ادامه انجام اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی در حوضه آبخیز رامیان تصمیم‌گیری نمود و یا مناطقی که عملیات مکانیکی در آن انجام شده و نیاز به افزایش اقدامات بیولوژیکی دارند را تعیین و نسبت به بهبود وضعیت منطقه اقدامات لازم را انجام داد.

سیاسگزاری

این پژوهش زیر پروژه بررسی مسایل آبخیزداری استان گلستان بوده و با همکاری دانشگاه تهران و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به انجام رسیده است. نویسندگان این پژوهش بر خود لازم می‌دانند از زحمات چندین ساله مجری این پروژه در به اتمام رساندن آن کمال تقدیر و تشکر را به عمل آورند.

منابع

- رحیمی، د. و رحیمی داشلی برون، ی. (۱۳۹۵). بررسی اثر تغییرات اقلیمی و کاربری ارضی بر سیلاب در شمال ایران (حوضه مادرسو)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۷، شماره ۱، صفحات ۸۹-۱۰۲.
- هويزه، ش.، مائده، س.، و زارعی، و. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات کاربری اراضی طی دو دهه دوره زمانی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ابوالعباس)، پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی، سال ۷، شماره ۱۴، صفحات ۲۳۷-۲۴۴.
- محمدی، م.، امیری، م.، و دستورانی، ج. (۱۳۹۴). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان رامیان در استان گلستان، فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی و آمایش فضا، سال ۱۹، شماره ۴، صفحات ۱۵۸-۱۴۱.
- مختاری هشی، ح.، و رحیمی، د. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی با استفاده از منطق فازی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۷، شماره ۱، ۱۹۹-۲۱۶.
- مردوخ پور، ع.، و اوشک سرایی، ل. (۱۳۹۴). ارزیابی تاثیر کاهش پوشش جنگلی بر میزان دبی پیک سیلاب توسط مدل کینفیل (KINFIL) (مطالعه موردی: حوضه آبریز سپیدرود)، علوم و تکنولوژی محیط زیست، سال ۱۷، شماره ۴، صفحات ۲۱۳-۲۲۲.
- Bouri, S., and Ben Dhia, H. (2010).** A Thirty- Year artificial recharge experiment in acoastal aquifer in an arid zone. The Teboulba aquifer system. (Tunisian Sahel), Comptes Rendus Geoscience, 342 (1), 60-74.
- Demetrio, A. Z., Antonino, L., Domenico, M., and Santo M. Z. (2017).** Comparing Different Infiltration Methods of the HEC-HMS Model: The Case Study of the Mésima Torrent (Southern Italy). Land Degradation and Development, 28 (1), 294-308.
- Derdour, A., Bouanani, A., and Babahamed, K. (2017).** Hydrological modeling in semi-arid region using hec-hms model. case study inain sefra watershed, ksour mountains (sw-algeria). Journal of Fundamental and Applied Sciences, 9 (2), 1027-1049.
- Eisazadeh, L., Sokouti, R., and Ebrahim, P. (2012).** Impacts of Floodwater Spreading in some Chemical Soil Properties. International journal of Agronomy and Plant Production, 3 (Special Issue), 771-774.
- Fenicia, F., Kavetski, D., Savenije, H.H., Clark, M.P., Schoups, G., Pfister, L., and Freer, J. (2013).** Catchment properties, function, and conceptual model representation: is there a correspondence?. Hydrological Process, 28 (4), 2451-2467.

- Gao, Y., Yuan, Y., Wang, H., Schmidt, A. R., Wang, K., and Ye, L. (2017).** Examining the effects of urban agglomeration polders on flood events in Qinhuai River basin, China with HEC-HMS model. *Water science and technology*, 75 (9-10), 2130-2138.
- Ghazavi, R., Vali, A., and Eslamian, S. (2010).** Impact of Flood Spreading on Infiltration Rate and Soil Properties in an Arid Environment. *Journal of Water Resour Manage*, 24 (11), 2781–2793.
- Haq, M., Akhtar, M., Muhammad, S., Paras, S., and Rahmatullah, J. (2012).** Techniques of RemoteS and GIS for Flood Monitoring and Damage Assessment: A Case Study of Sindh Province. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 15(2), 135-141.
- Hassan A. K. M. B., Heather, N., Jarrett, P., and Amine, M. (2017).** Application of HEC-HMS in a Cold Region Watershed and Use of RADARSAT-2 Soil Moisture in Initializing the Model. *Hydrology*, 4 (1), 9: 1-19.
- Meenu, R., Rehana, S., Mujumdar, P. P. (2013).** Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga-Bhadra basin, India with HEC-HMS and SDSM. *Hydrological Processes*, 27 (11), 1572–1589.
- Sintayehu L. G. (2015).** Application of the HEC-HMS Model for Runoff Simulation of Upper Blue Nile River Basin. *Hydrology: Current Research*, 6 (2), 1-8.
- Suriya, S., and Mudgal, B.V. (2011).** Impact of urbanization on flooding: the Thirusoolam sub watershed-A case study. *Journal of Hydrology*, 4, 210-219.