

ارزیابی اثر اقدامات آبخیزداری بر سیل خیزی حوضه رامیان با استفاده از مدل HEC-HMS

علی نجفی نژاد^۱، عبدالرسول تلوری^۲ و مریم تاجیکی^{۳*}

چکیده

کمی کردن تأثیر پروژه‌های آبخیزداری، اولین گام در ارزیابی اثربخشی این اقدامات است. مسأله مهم در ارزیابی، انتخاب شاخص متناسب با نوع پروژه، نوع ارزیابی، دقت مورد نیاز و داده‌های در دسترس است. در این بررسی برای ارزیابی اقدامات آبخیزداری در حوضه رامیان در استان گلستان است که از سال ۱۳۷۲ طرح‌های آبخیزداری به صورت مکانیکی و بیولوژیکی در آن اجرا و از شاخص‌های سیل‌خیزی (دبی حداکثر و حجم جریان) استفاده شد. در این پژوهش اطلاعات مورد نیاز شامل موقعیت و مشخصات سازه‌ها در آبراهه‌های اصلی و مقاطع روندیابی و اطلاعات پایه حوضه، با انجام بازدیدهای میدانی و مطالعات کتابخانه‌ای تهیه و سپس اثر اقدامات با شبیه‌سازی جریان با مدل HEC-HMS کمی شد؛ به گونه‌ای که برای بررسی تأثیر اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی به ترتیب از پارامترهای شماره منحنی و زمان تأخیر استفاده شد. نتایج نشان داد که سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف کاهش یافته است؛ به گونه‌ای که بیشترین کاهش دبی اوج و حجم جریان به ترتیب در دوره بازگشت‌های ۱۰ و ۲۰ سال رخ داده است و با افزایش دوره بازگشت، تأثیر اقدامات آبخیزداری بر سیلاب کاهش می‌یابد. به علاوه عمده کاهش سیلاب تحت تأثیر انجام اقدامات بیولوژیکی بوده و اقدامات مکانیکی نقش ناچیزی در حوضه رامیان داشته است. در کل تأثیر اقدامات آبخیزداری بر سیل خیزی حوضه رامیان مثبت ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، حوضه آبخیز رامیان، سیل‌خیزی، گلستان، مدل هیدرولوژیکی.

ارجاع: نجفی نژاد ع. تلوری ع. و تاجیکی م. ۱۳۹۷. ارزیابی اثر اقدامات آبخیزداری بر سیل‌خیزی حوضه آبخیز رامیان با استفاده از مدل HEC-HMS. مجله پژوهش آب ایران. ۳۰: ۱۹-۲۶.

1- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

2- دانشیار گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی.

3- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

* نویسنده مسئول: maryam.tajiki@gmail.com

تاریخ پذیرش: 1396/11/15

تاریخ دریافت: 1394/02/08

مقدمه

قابل قبول‌تری برای حجم و حداکثر رواناب شبیه‌سازی شده به‌دست آوردند.

با توجه به نتایج تحقیقات سایر پژوهشگران، به‌دلیل اهمیت پروژه‌های آبخیزداری در مدیریت منابع طبیعی و توسعه مناطق روستایی و برای دستیابی به روش مناسب برای یافتن علل شکست این طرح‌ها، ارزیابی عملکرد پروژه‌ها بخش مهمی از اقدامات حفاظت خاک و آب است. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی آثار هیدرولوژیکی اقدامات آبخیزداری با استفاده از مدل HEC-HMS به‌صورت نیمه‌توزیعی با جمع‌آوری کتابخانه‌ای آمار و اطلاعات مورد نیاز و انجام مطالعات میدانی است.

مواد و روش‌ها

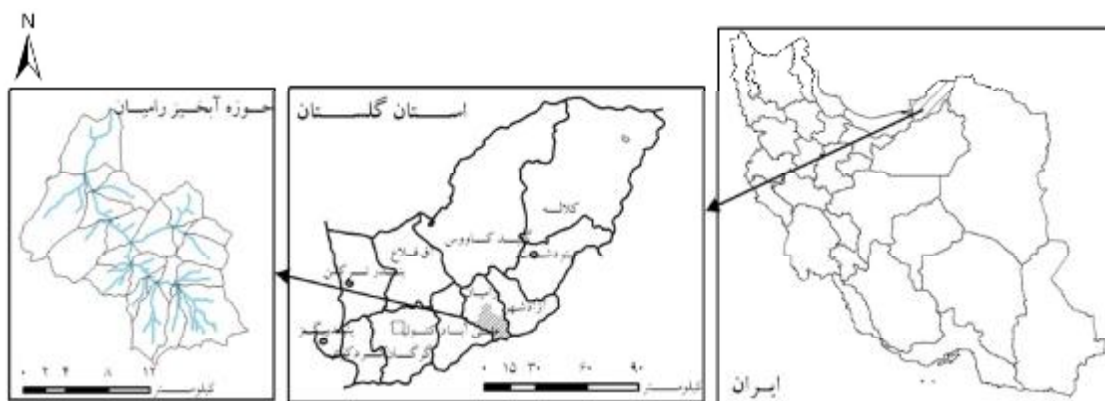
منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، با توجه به اینکه حوضه مورد ارزیابی، باید دارای ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری و اقدامات آبخیزداری در آن انجام شده باشد، حوضه رامیان در استان گلستان انتخاب شد. حوضه رامیان با مساحت ۲۴۰۳۵ هکتار در منتهی‌الیه غربی حوضه سد وشمگیر واقع شده است. این حوضه در محدوده جغرافیایی ۲' ۵۵° تا ۵۵° طول شرقی و ۱' ۳۶° تا ۲' ۳۷° عرض شمالی واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت حوضه رامیان در استان گلستان و ایران با زیرحوضه‌ها و شبکه آبراهه‌های آن نشان داده شده است.

حوضه رامیان با توجه به وضعیت هیدرولوژیکی و موقعیت سازه‌ها، به ۲۳ واحد هیدرولوژیکی تقسیم شد. قسمت اعظم حوضه در مناطق مرتفع کوهستانی واقع شده و شیب متوسط وزنی آن ۳۸/۶ درصد است. بافت خاک غالب منطقه از نوع لوم رسی سیلتی و کاربری اراضی آن شامل جنگل، زراعت، مرتع، باغ و اراضی مسکونی است؛ به‌گونه‌ای که بیش از ۷۰ درصد سطح حوضه را جنگل تشکیل داده است. حوضه مورد مطالعه دارای ایستگاه هیدرومتری و باران‌سنجی در خروجی حوضه است. بررسی آمار بارش نشان داد که متوسط بارش سالانه به‌ترتیب قبل از انجام اقدامات آبخیزداری (دوره آماری ۷۲-۱۳۵۱) ۸۵۳ میلی‌متر و بعد از انجام آن (دوره آماری ۹۰-۱۳۷۲) ۸۷۲ میلی‌متر بوده است. مقایسه آمار بارش در دو دوره آماری یاد شده، نشان می‌دهد که وضعیت بارش حوضه مورد مطالعه تغییر محسوس نداشته است.

پروژه‌های آبخیزداری شامل فعالیت‌های مختلفی هستند که هر یک به نحوی در کل حوضه تأثیرگذارند؛ بنابراین برای ارزیابی دقیق و اصولی باید مجموعه فعالیت‌هایی را در نظر گرفت و در نهایت تأثیر آنان را بر کل حوضه بررسی کرد (روشنی، ۲۰۰۳). ارزیابی این اقدامات به وسیله پژوهشگران مختلف با روش‌های متفاوت انجام شده است. بررسی اثربخشی اقدامات بیولوژیکی با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای به وسیله کومار و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که مهم‌ترین مشکل در این روش، این است که تغییراتی که ناشی از انجام اقدامات آبخیزداری نیستند نیز در نظر گرفته می‌شوند. آنان برای به حداقل رساندن این اشتباهات، پیشنهاد کردند تغییرات انجام شده با مناطق شاهد مقایسه شود و با این کار اثرات اقدامات غیر از آبخیزداری را در هنگام ارزیابی تفکیک کردند. نتایج مطالعه آنان روی چهار حوضه آبخیز کوچک در منطقه ویداربا در مهارشتر نشان داد که حوضه‌ها از نظر پوشش گیاهی و منابع آبی بهبود پیدا کرده‌اند.

پژوهش‌های انجام شده در مورد اثر سازه‌های اصلاحی عمدتاً بر اساس آثار هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی آنان است. زو و همکاران (۲۰۱۳) اثر هیدرولوژیکی سازه‌های اصلاحی در فلات چین را با استفاده از مدل SWAT بررسی کردند. آنان پس از کالیبره کردن مدل، به این نتیجه رسیدند که در اثر احداث سازه‌های اصلاحی، رواناب سالانه ۱۴/۳ درصد و رسوب در فصل مرطوب به میزان ۸۵/۵ درصد کاهش یافت. براساس پژوهش‌های برخی پژوهشگران از جمله زوزانگ زو و همکاران (۲۰۰۴) و روشنی (۲۰۰۳) احداث سدهای اصلاحی در حفاظت آب و خاک بسیار مؤثر است؛ به‌گونه‌ای که وی روشی را برای تعیین بهترین شیب آبراهه و مناسب‌ترین موقعیت سدهای اصلاحی ارائه کرد. البته برخی پژوهشگران اثر هیدرولوژیکی سازه‌های اصلاحی را ناچیز ارزیابی کرده‌اند. گلرنگ و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، میزان تأثیر اقدامات مکانیکی اجرا شده در حوضه کوشک‌آباد روی زمان تمرکز را به مقدار کم تعیین کردند؛ به‌گونه‌ای که اقدامات بیولوژیکی را عامل کاهش شماره منحنی (CN) به مقدار ۴/۵ واحد و دبی حداکثر جریان و حجم جریان به مقدار ۱۹ و ۱۴ درصد معرفی کردند. اسدی و بوستانی (۲۰۱۳) با به کار بردن مدل HEC-HMS به‌صورت نیمه‌توزیعی، نتایج



شکل ۱- زیرحوضه‌ها و شبکه آبراهه‌های حوضه آبخیز رامیان و موقعیت آن در استان گلستان و ایران

داده‌های مورد استفاده

بارش: بررسی گردید با بارش با ترسیم خطوط هم‌باران انجام شد و تغییرات زمانی هر رویداد با استفاده از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه ثبات (ایستگاه فاضل‌آباد) به دست آمد. توزیع زمانی بارش طرح از الگوی تغییرات زمانی بارش ایستگاه فاضل‌آباد که توسط پقه (۱۳۸۰) تهیه شده، استفاده شد. حداکثر دبی، در بارندگی با تداومی برابر با زمان تمرکز به وقوع می‌پیوندد؛ بنابراین بارش طرح (بارش با زمان تداوم معادل زمان تمرکز حوضه) با دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از روابط ارائه شده به وسیله وزیری (۱۳۷۱) که برای محاسبه مقادیر بارش با تداوم‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف برای ایستگاه‌های شمال کشور ارائه شده است، محاسبه شد.

دبی جریان: برای اعتبارسنجی و واسنجی مدل نیاز به هیدروگراف جریان است. بدین منظور اطلاعات مربوط به سیلاب‌های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری رامیان که با فواصل زمانی دو ساعته قرائت و ثبت شده، از اداره امور آب استان گلستان دریافت و بررسی شد. از بین ۱۹۴ هیدروگراف سیل موجود تنها ۴۸ رویداد دارای هیستوگرام بارش ثبت شده در ایستگاه ثبات فاضل‌آباد بودند که از بین این ۴۸ رویداد، ۱۲ رویداد مناسب در زمان قبل و بعد از انجام اقدامات آبخیزداری انتخاب شد. از بین تمامی رویدادهای ثبت شده، رویدادهایی انتخاب شدند که مقدار دبی جریان در تمام ساعات وقوع رویداد ثبت شده و بین مقدار دبی و بارش تطابق وجود داشته باشد.

اقدامات مکانیکی: با انجام مطالعات میدانی، وضعیت عمومی و موقعیت جغرافیایی اقدامات مکانیکی با استفاده از GPS ثبت و نقشه اقدامات سازه‌ای پایه (نقشه اجرایی

اقدامات مکانیکی سازمان جهاد و کشاورزی) تدقیق شد. با توجه به اینکه سازه‌های مورد استفاده در این پژوهش سازه‌هایی هستند که پنج سال از زمان احداث آنان گذشته و عدم تخریب و تثبیت شیب بالادست آنان با بازدیدهای میدانی تأیید شده باشد، در مطالعات میدانی مشخصات سازه‌های یاد شده برداشت و سازه‌های مناسب برای استفاده در مدل HEC_HMS مشخص شدند. بررسی نتایج مطالعات میدانی نشان داد که ۱۵٪ سازه‌ها اخیراً احداث شده و ۳٪ سازه‌ها تخریب شده بودند. در ۵۸٪ موارد سازه‌ها کاملاً سالم هستند و خاک پشت آنان تثبیت شده و در ۲۴٪ موارد کف بند یا سرریز سازه تخریب شده؛ ولی خاک پشت سازه تثبیت شده است؛ در نتیجه از ۷۳٪ سازه احداثی، در بخش بررسی تغییر شیب آبراهه ۱۸٪ سازه‌ها در نظر گرفته نشدند.

زمان تأخیر: با در نظر داشتن این‌که احداث سازه‌های کنترل سیلاب و سدهای اصلاحی در یک آبراهه موجب کاهش شیب آبراهه و افزایش زمان تمرکز می‌شود، تأثیر اقدامات مکانیکی روی سیل‌خیزی حوضه با محاسبه زمان تأخیر، با و بدون در نظر گرفتن سازه‌ها، بررسی شد. بدین منظور پروفیل طولی آبراهه اصلی هر زیرحوضه با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS ترسیم شد. سپس با استفاده از پروفیل طولی ترسیم شده و موقعیت مکانی سدهای اصلاحی، طول و شیب آبراهه‌های اصلی زیرحوضه‌ها برای زمان قبل و بعد از انجام اقدامات مکانیکی و سپس زمان تمرکز و زمان تأخیر زیرحوضه‌ها محاسبه شد.

شماره منحنی: برای بررسی اثر اقدامات بیولوژیکی، نقشه کاربری اراضی با نقشه اقدامات بیولوژیکی موجود و مطالعات میدانی و ثبت میزان موفقیت اقدامات تدقیق و شماره

درصد خطا در دبی اوج:

$$Z = 100 \left| \frac{Q_o(peak) - Q_s(peak)}{Q_o(peak)} \right| \quad (۴)$$

درصد خطا در حجم جریان:

$$Z = 100 \left| \frac{V_o - V_s}{V_o} \right| \quad (۵)$$

که در این روابط Z تابع هدف، Q_o دبی مشاهداتی، Q_s دبی محاسباتی، Q_A متوسط دبی مشاهداتی، $Q_o(peak)$ دبی حداکثر هیدروگراف مشاهداتی، $Q_s(peak)$ دبی حداکثر هیدروگراف محاسباتی، V_o حجم هیدروگراف مشاهداتی و V_s حجم هیدروگراف محاسباتی هستند.

ارزیابی اثر اقدامات آبخیزداری: تأثیر اقدامات سازه‌ای با استفاده از پارامتر زمان تأخیر، بررسی شد. نظر به این که در مطالعات مربوط به سیل، خصوصیات سیل خیزی در کاربری نهفته است (خسروشاهی و ثقفیان، ۱۳۸۲) تأثیر اقدامات بیولوژیکی نیز با استفاده از شماره منحنی بررسی شد. شماره منحنی با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک توسط نرم‌افزار Arc GIS به دست آمد. بدین منظور ابتدا مدل هیدرولوژیکی با استفاده از رویدادهای بارش واقعی اعتبارسنجی و واسنجی و سپس با شبیه‌سازی بارش طرح قبل و بعد از انجام اقدامات آبخیزداری و بررسی تغییر حداکثر و حجم جریان، اثربخش بودن این اقدامات مشخص شد.

نتایج و بحث

مقایسه شماره منحنی قبل و بعد از انجام اقدامات بیولوژیکی، نشان داد که شماره منحنی متوسط وزنی حوضه، در زمان قبل و بعد از انجام اقدامات در وضعیت رطوبتی متوسط به ترتیب معادل ۶۹ و ۷۲ است و میزان درصد تغییرات شماره منحنی در دو زمان در سطح ۲۳ زیرحوضه بین صفر تا ۱۱ درصد به دست آمد که افزایش شماره منحنی نشان‌دهنده تأثیر اقدامات بیولوژیک بر شماره منحنی زیرحوضه‌هاست. با مقایسه مشخصات آبراهه‌ها، پس از انجام اقدامات مکانیکی افزایش طول آبراهه‌ها ۰/۱ تا ۱/۲ درصد و کاهش شیب متوسط وزنی آبراهه‌ها ۰/۲ تا ۳/۴ درصد و زمان تأخیر با در نظر گرفتن تأثیر اقدامات مکانیکی و تغییر طول آبراهه بین ۰/۱ تا ۰/۹۸ درصد کاهش داشته است. چنانچه برای محاسبه زمان تأخیر اقدامات بیولوژیکی نیز در نظر گرفته شود، به علت این که برای محاسبه زمان تأخیر از معادله SCS استفاده شده است و در این معادله،

منحنی متوسط وزنی زیرحوضه‌ها با تلفیق نقشه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک در وضعیت رطوبت پیشین مختلف برای قبل و بعد از انجام اقدامات به دست آمد.

بازه‌های روندیابی: روندیابی جریان در زیرحوضه‌های میانی به روش ماسکینگ کانچ انجام شد؛ به گونه‌ای که محاسبه ضرایب روندیابی K و x پروفیل عرضی در محل بازه‌ها با انجام نقشه‌برداری و تعیین ضریب مانینگ با استفاده از جدول کاون (۱۹۵۶) انجام شد.

روش انجام پژوهش

مدل‌سازی با مدل HEC-HMS: این مدل در سال ۱۹۶۷ به وسیله مهندسان ارتش ایالات متحده برای شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوضه‌های آبخیز با آبراهه‌های شاخه درختی توسعه یافته (شکوهی، ۲۰۰۷) است. مدل یاد شده از انواع مدل‌های ریاضی کامپیوتری است که پس از اعتبارسنجی می‌تواند برای مدل‌سازی حوضه و پیش‌بینی اثر تغییر پارامترها به کار رود (رسته مهندسی ارتش ایالات متحده، ۲۰۰۱).

واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS: سیربوردنا و همکاران (۲۰۰۶) نتایج حاصل از تبدیل بارش به رواناب بدون کالیبره کردن را مناسب ارزیابی نکردند. لذا با استناد به پژوهش‌های چن (۱۹۸۱) و نصیری‌مقدم (۱۳۸۳) مبنی بر این که حساسیت مدل نسبت به پارامتر شماره منحنی بیش از سایر پارامترهاست، در این پژوهش مدل به وسیله پارامتر CN واسنجی و اعتبارسنجی شد.

ارزیابی کارایی مدل: در مرحله واسنجی میزان تطابق داده‌های شبیه‌سازی شده با مشاهداتی با پنج تابع هدف بررسی شد:

مجذور پیک وزنی متوسط مربعات خطا:

$$Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2 \frac{Q_o + Q_s}{2Q_A}}{n}} \quad (۱)$$

مجموع قدرمطلق خطا:

$$Z = \sum_{i=1}^n |Q_o - Q_s| \quad (۲)$$

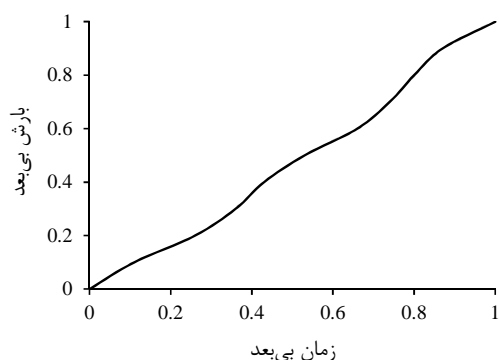
مجذور پیک وزنی مربعات خطا:

$$Z = \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2 \quad (۳)$$

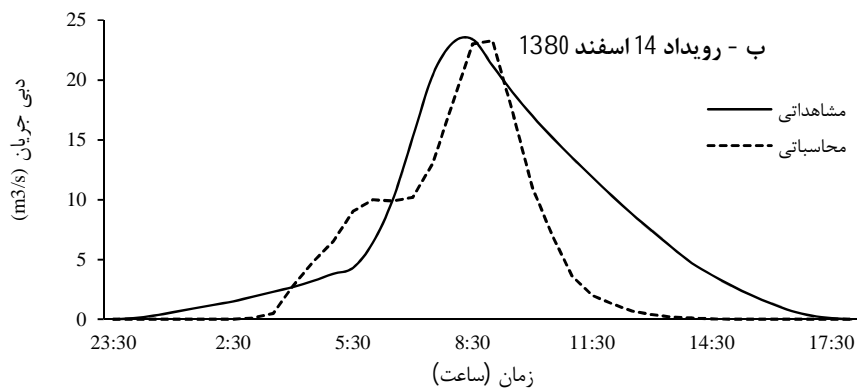
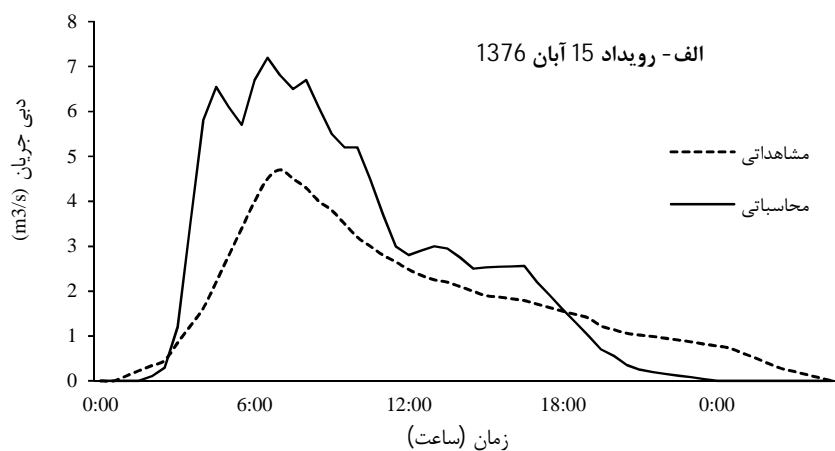
هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی یادشده پس از واسنجی در شکل ۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۱- بارش با تداوم برابر با زمان تمرکز حوضه با دوره بازگشت‌های مختلف (بر حسب میلی‌متر)

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



شکل ۲- الگوی تغییرات زمانی بارش به صورت تجمعی



شکل ۳- هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی پس از واسنجی برای رویداد ۱۵ آبان ۱۳۷۶ (الف) و رویداد ۱۴ اسفند ۱۳۸۰ (ب)

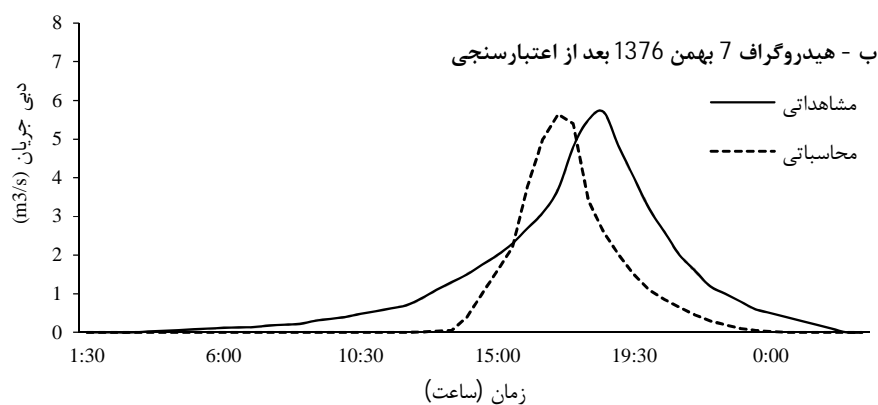
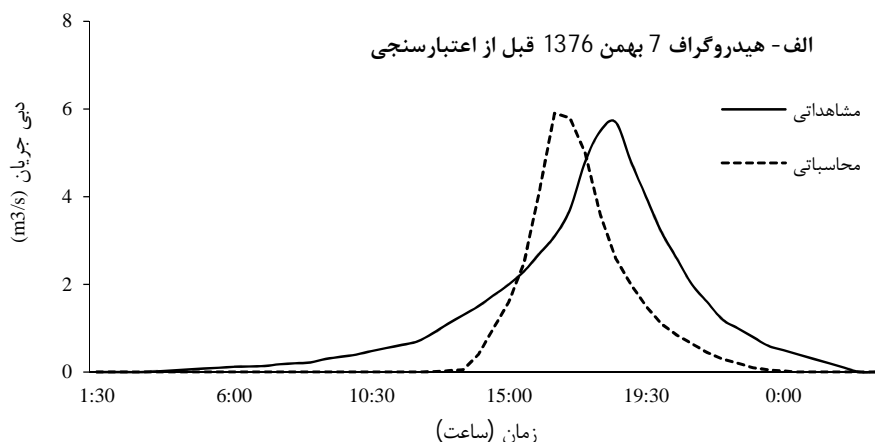
عامل شماره منحنی وجود دارد، زمان تأخیر به مقدار $1/3$ تا $12/3$ درصد کاهش می‌یابد.

مدت بارش طرح، یعنی بارش با تداوم برابر با زمان تمرکز حوضه با استفاده از روش SCS معادل ۲۷۰ دقیقه محاسبه شد. بدین ترتیب بارش با تداوم ۲۷۰ دقیقه در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ سال با استفاده از معادله وزیری (۱۳۷۱) محاسبه شد و نتایج در جدول ۱ آورده شده است. الگوی تغییرات زمانی بارش طرح نیز با استفاده از توزیع زمانی بارش ایستگاه ثابت فاضل‌آباد به صورت نمودار ارائه شده در شکل ۲ است.

برای ارزیابی اقدامات آبخیزداری پس از تهیه بخش‌های مختلف مدل HEC-HMS شامل مدل حوضه، مدل اقلیمی، شاخص‌های کنترل و وارد کردن اطلاعات توزیع زمانی و مکانی بارش و هیدروگراف مشاهداتی هر رویداد، مدل اجرا و سپس با استفاده از نتایج حاصل از اجرای مدل، واسنجی و اعتبارسنجی انجام شد. برای واسنجی مدل از رویدادهای ۱۵ آبان ۱۳۷۶ و ۱۴ اسفند ۱۳۸۰ استفاده شد.

با انجام واسنجی، مقادیر بهینه پارامتر شماره منحنی به‌دست آمد. سپس با استفاده از رویداد ۷ بهمن ۱۳۷۶ و قراردادن این مقادیر بهینه در مدل HEC-HMS اعتبارسنجی مدل انجام شد. هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و محاسباتی یادشده پس از اعتبارسنجی در شکل ۴ ارائه شده‌اند.

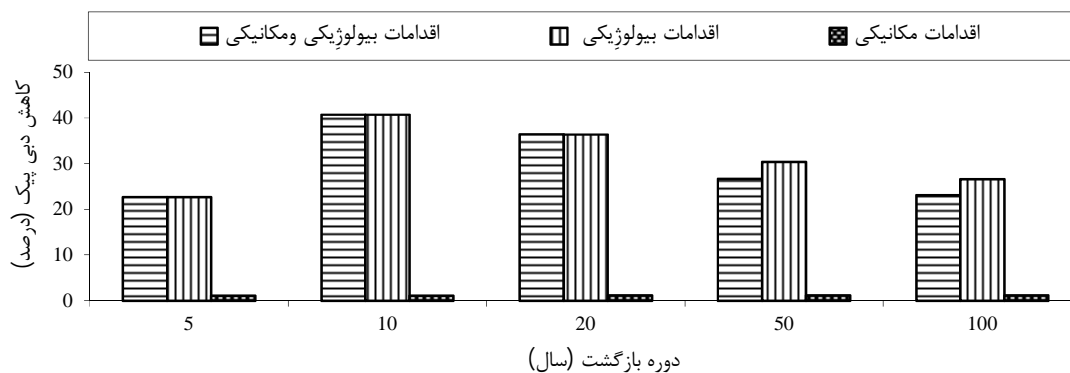
برای هر رویداد ۵ تابع هدف به‌دست آمد. اندازه تابع هدف نشان‌دهنده میزان اختلاف بین هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهده‌ای است. بدین ترتیب بهترین تابع هدف رویدادهای سال ۷۶ و ۸۰ به ترتیب درصد خطا در حجم جریان و درصد خطا در دبی اوج انتخاب شد.



شکل ۴- مقایسه هیدروگراف شبیه‌سازی شده قبل (الف) و بعد از اعتبارسنجی (ب)

با بررسی شکل‌های ۵ و ۶ مشخص می‌شود که بیشترین کاهش دبی حداکثر سیلاب تحت تأثیر اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی در دوره بازگشت ۱۰ سال رخ داده و با افزایش دوره بازگشت میزان تأثیر اقدامات کاهش یافته است. به علاوه مقایسه مقادیر دبی اوج هیدروگراف سیل و حجم سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف با در نظر گرفتن اقدامات مکانیکی نشان داد که مقدار حداکثر سیلاب حداکثر ۱/۱۲٪ و حجم سیل نیز ۴/۱۷٪ کاهش یافته است.

برای ارزیابی اقدامات آبخیزداری، ابتدا مقادیر پارامتر شماره منحنی بهینه و بارش طرح برای زمان قبل و بعد از انجام اقدامات آبخیزداری به مدل HEC-HMS داده شد و نتایج شبیه‌سازی بارش با در نظر گرفتن سه وضعیت در نظر داشتن اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی، اقدامات بیولوژیکی، اقدامات مکانیکی مقایسه شد. این تغییرات بر حسب درصد در شکل‌های ۵ و ۶ به صورت هیستوگرام نشان داده شده است.



شکل ۵- کاهش دبی حداکثر بعد از انجام اقدامات آبخیزداری (بر حسب درصد) در دوره بازگشت‌های مختلف



شکل ۶- کاهش حجم سیل بعد از انجام اقدامات آبخیزداری (بر حسب درصد) در دوره بازگشت‌های مختلف

هماهنگی دارد. این در حالی است که مطابق با نتایج پژوهش‌های زو و همکاران (۲۰۱۳) و زوزانگ زو و همکاران (۲۰۰۴) و روشنی (۲۰۰۳) سدهای اصلاحی اثربخشی قابل توجهی دارند.

با در نظر داشتن این‌که در حوضه رامیان تأثیر اقدامات مکانیکی روی سیلاب ناچیز است، پیشنهاد می‌شود احداث سازه‌های گابیونی را برای مقابله با لغزش دیواره‌های جانبی آبراهه و در بالادست محل پل‌ها برای رسوبگیری و کاهش تجمع رسوب در محل پل و در نتیجه جلوگیری از تخریب جاده و کاهش میزان رسوبدهی حوضه احداث کرد. با توجه به این‌که عمده کاهش سیلاب در اثر انجام اقدامات بیولوژیک بوده است، پیشنهاد می‌شود که در برنامه‌های آبخیزداری اقدامات بیولوژیک در اولویت قرار داده شوند و در صورت لزوم و با در نظر گرفتن وضعیت آبراهه و بررسی امکان تثبیت پوشش گیاهی، اقدام به احداث سازه‌های گابیونی توأم با اقدامات بیولوژیکی شود. با مدل‌سازی حوضه می‌توان رویکردهای کاربری اراضی را در آینده برای پیش‌بینی تغییرات ممکن در رژیم هیدرولوژیکی جریان آبراهه، بررسی و رویکرد مناسب را انتخاب کرد.

نتیجه‌گیری

با بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری روی سیل‌خیزی آبخیز رامیان، مشخص شد که تأثیر اقدامات مکانیکی و بیولوژیکی روی دبی اوج با افزایش دوره بازگشت تا ۱۰ سال روند افزایشی و با افزایش دوره بازگشت از ۱۰ سال تا ۵۰۰ سال روند کاهشی دارد. در مورد حجم سیلاب نیز تأثیر اقدامات آبخیزداری با افزایش دوره بازگشت تا ۲۰ سال روند افزایشی و با افزایش دوره بازگشت از ۲۰ تا ۱۰۰ سال روند کاهشی دارد. با ارزیابی اقدامات بیولوژیک و مکانیکی به طور جداگانه، مشاهده شد که تأثیر اقدامات بیولوژیک روی دبی سیلابی حوضه رامیان بسیار بیشتر از تأثیر اقدامات مکانیکی است. بیشترین کاهش دبی حداکثر، زمانی رخ می‌دهد که شیب آبراهه به شیب حد (یعنی یک دوم شیب اولیه) برسد. اما در حوضه رامیان بیشترین کاهش شیب آبراهه مربوط به زیرحوضه B10 و از ۲۱/۶٪ به ۱۸/۲٪ که این مقدار کاهش شیب کمتر از شیب حد است. البته چنانچه تعداد سازه‌ها بیشتر بود، بالطبع تأثیر آنان بر کاهش شیب آبراهه و در نتیجه سرعت و دبی جریان نیز بیشتر خواهد بود. این نتیجه، با نتایج پژوهش‌های گلرنگ و همکاران (۲۰۱۳)

منابع

11. Shokoohi A. 2007. Assessment of Urban Basins Flood Control Measures Using Hydrogis Tools. *Journal of applied science*. 7(13): 1726-33.
 12. Siriwardena L. Finlayson B. L. and McMahon T. A. 2006. The impact of land use change on catchment hydrology in large catchments, The Comet River, Central Queensland, Australia. *Journal of Hydrology*. 326(1-4): 199-214.
 13. USACE. HEC-HMS user's Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2001. 178 p.
 14. Xiang-zhou Xu. Hong-wu Zh. and Ouyang Zh. 2004. Development of check-dam systems in gullies on the Loess Plateau, China. *Environmental Science and Policy*. 7(2): 79-86.
 15. Xu Y. D. Fu B. J. and He C. S. 2013. Assessing the hydrological effect of the check dams in the Loess Plateau, China, by model simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 17(6): 2185-93.
۱. بقیه ا. ۱۳۸۲. بررسی سهم اثر زیرحوضه‌ها در سیل‌خیزی حوضه آبخیز گرماب‌دشت با استفاده از مدل هیدرولوژی HEC-HMS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۴۹ ص.
 ۲. خسروشاهی م. و تقفیان ب. ۱۳۸۲. بررسی نقش مشارکت زیرحوضه‌های آبخیز در شدت سیل‌خیزی حوضه. *مجله پژوهش و سازندگی*. ۵۹: ۶۷-۷۵.
 ۳. نصیری‌مقدم ف. ۱۳۸۳. ارزیابی اثر عملیات آبخیزداری بر سیلاب واریزه‌ای با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۸ ص.
 ۴. وزیری ف. ۱۳۷۱. تخمین روابط منطقه‌ای بارندگی‌های کوتاه مدت در ایران. *طرح پژوهشی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی*. ۲۷ ص.
 5. Asadi A. and Boustani F. 2013. Performance Evaluation of the HEC-HMS Hydrologic Model for Lumped and Semi-distributed Storm flow Simulation (Study Area: Delibajak Basin). *American Journal of Engineering Research (AJER)*. 02(11): 115-121.
 6. Chen Ch L. 1981. An evaluation of the mathematics and physical significance of the Soil Conservation Service Curve Number procedure for estimating runoff volume, rainfall-runoff relationship. Edited by Singh, V.P: 387-419.
 7. Cowan W. L. 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural Engineering*. 37(7): 473-475.
 8. Golrang B. M. Lai F. S. Sadeghi S. H R. Khamurudin M. N. Kamziah A. Mashayekhi M. and Bagherian R. 2013. Assessment of watershed management implemented on Springal peak flood discharge and flood volume, using HEC-HMS model (Case study: Kushk Abad sub-basin in Iran). *Science and Nature*. 2(2): 59-64.
 9. Kumar G. Sena D. R. Kurothe R. S. Pande V. C. Rao B. K. Vishwakarma A. K. Bagdi G. L. and Mishra P. K. 2014. Watershed impact evaluation using remote sensing. *Current science*. 106(10): 1369-1378.
 10. Roshani R. 2003. Evaluating the effect of check dams on flood peaks to optimize the flood control measures, Kan case study in Iran. MA thesis. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation in partial fulfillment of the requirements. 43 p.