



نجمه دهقانی فیروزآبادی^۱

علی اکبر جمالی^۲

محمد حسن زاده نفوتی^۳

بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر کاهش سیل خیزی حوضه آبخیز با کمک مدل ریاضی HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طزرجان یزد)

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۰۶/۱۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۰۷/۱۷

چکیده

ارزیابی کمی پروژه‌های آبخیزداری به منظور تجزیه و تحلیل اثرات آن‌ها و تصمیم‌گیری صحیح در اجرای بهینه این گونه طرح‌ها، ضروری می‌باشد. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر سیل‌خیزی در حوضه آبخیز طزرجان صورت گرفته است که بدین منظور از مدل HEC-HMS^۴ برای مقایسه تغییرات دبی و اثر داغاب قبل و بعد از اقدامات استفاده گردید. جهت تعیین تأثیر اقدامات مکانیکی و بیولوژیک، زمان تمرکز و شماره منحنی در شرایط بعد از اجرای اقدامات محاسبه و با اعمال تغییرات ایجاد شده در ورودی‌های مدل اقدام به شبیه‌سازی رفتار سیلاب گردید. مدل با داده‌های مشاهداتی، واسنجی و اعتباریابی گردید و هیدروگراف سیل با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰۰ ساله در وضعیت قبل و بعد از احداث عملیات آبخیزداری شبیه‌سازی گردید. مقادیر دبی اوج برای دو وضعیت قبل

E- mail: N.Deqhani1363@gmail.com

۱ - دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد.

۲ - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد، دانشکده منابع طبیعی، گروه آبخیزداری، میبد، ایران.

۳ - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد، دانشکده منابع طبیعی، گروه آبخیزداری، میبد، ایران.

4- Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System.

و بعد از اقدامات آبخیزداری محاسبه گردید. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، تأثیر اقدامات مکانیکی و بیولوژیک و تلفیق آن‌ها بر دبی اوج به طور متوسط $۶/۴۴$ ، $۰/۶۶$ و $۷/۱۹$ درصد بوده‌است. از طرفی با افزایش دوره بازگشت سیلاب، تأثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج کاهش یافته و تأثیر اقدامات بیولوژیک با افزایش دوره بازگشت تا ۱۰ سال روند افزایشی داشته، سپس روند کاهشی به خود گرفته‌است. تلفیق اقدامات بیولوژیک و مکانیکی بیشترین تأثیر را روی کاهش دبی اوج داشته‌است.

کلید واژه‌ها: ارزیابی سیل، مدل HEC-HMS، فرایند بارش-رواناب، حوضه آبخیز طزرجان یزد.

مقدمه

سیل یک اتفاق ناگهانی و رویدادی سریع و مخرب است که هر ساله در نقاط مختلف جهان و کشور باعث بروز خسارات جانی و مالی محسوس و نامحسوس فراوان می‌شود. با تمام تلاش‌هایی که در طول تاریخ به وسیله مردم یا دولت‌ها صورت گرفته است، هیچ کشوری صرف نظر از دارایی و پیشرفت تکنولوژی، نتوانسته است نواحی سیل‌گیر خود را کاملاً و برای همیشه از خطر سیل محفوظ نماید. به عبارتی دیگر کنترل یا کاهش این عوارض مخرب و ویرانگر نیازمند مطالعه صحیح و دقیق می‌باشد. رویداد، اندازه و تکرار سیل ناشی از عوامل متعددی است که بسته به شرایط اقلیمی، طبیعی و جغرافیایی هر منطقه تغییر می‌کند (ایزانلو، ۱۳۸۵: ۱). به طور کلی تعاریفی که از سیل ارائه شده است، مختلف می‌باشد، به عنوان نمونه سیل به وضعیتی گفته می‌شود که در آن جریان رودخانه و سطح آب به صورت غیر منتظره‌ای افزایش پیدا کرده و باعث خسارات مالی و جانی گردد (علیزاده، ۱۳۸۶: ۷۳۴).

علت اصلی عدم موفقیت پروژه‌ها را می‌توان در دو علت جداگانه مورد بررسی قرار داد. علت نخست عدم هماهنگی و یک‌سو بودن فعالیت‌های تحقیقاتی و اجرایی و علت دوم در مراکز اجرایی به خاطر ضعف نظارت و ارزیابی پروژه‌ها است (حسینی، ۱۳۸۲: ۳).

برای کنترل و هدایت رواناب و تخلیه جریان‌های سطحی در اراضی کشاورزی و انتقال آن‌ها به محل مناسب و خارج از منطقه، مدل‌های متفاوتی توسط محققین، سازمان‌های مطالعاتی-تحقیقاتی در کشورهای مختلف جهان ارائه شده و مورد استفاده قرار گرفته است (نشاط و صدقی، ۱۳۸۵: ۷۸۸). یکی از مهم‌ترین این سازمان‌ها، گروه مهندسی ارتش

آمریکا است که مدل‌های زیادی را تحت عنوان سری HEC عرضه نمودند، مانند HEC-1، HEC-2، HEC-5، HEC-6، HEC-RAS (سلاجقه، ۱۳۸۹: ۲). مدل HEC-HMS نسخه توسعه یافته HEC-1 تحت ویندوز برای شبیه‌سازی پاسخ رواناب سطحی یک حوضه آبخیز نسبت به بارندگی‌های معین طراحی شده است. این مدل، حوضه را به عنوان یک سیستم به هم پیوسته با مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش می‌دهد (USACE، ۲۰۰۰: ۶). چن و همکاران^۵ (۲۰۰۹) به بررسی تغییر 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 ارائه نمودند. کاربری A و B مشتمل بر افزایش مساحت شهری از ۹/۲ درصد به ۱۷ و ۱۴ 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 شد.

شرجمال خان و زهیرودین خان^۶ (۲۰۱۱) بیان کردند تغییرات کاربری اراضی اثرات معنی‌داری بر فرایندهای اکولوژیکی و هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز داشته است. ۵ واقعه بارش را برای واسنجی و ارزیابی مدل بارش-رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS در آبخیز لای نولاه پاکستان استفاده کردند. سپس از مدل برای پیش بینی رواناب و اوج سیلاب‌های که در اثر روند تغییر کاربری در منطقه ایجاد شدند، استفاده کردند.

هالواتورا و نجیم^۷ (۲۰۱۳) به شبیه سازی رواناب در حوضه آبریز ایا آتاگانانو با استفاده از مدل HEC-HMS پرداخت. در این مطالعه داده های بارش روزانه بیست ساله پنج ایستگاه باران سنجی در داخل حوضه و داده‌های تبخیر ماهانه برای همان سال برای ایستگاه هواشناسی کشاورزی هناراتگدا همراه با داده های جریان روزانه در دونامال از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ مورد استفاده قرار گرفت. مدل برای سه روش افت شماره منحنی سرویس حفاظت خاک، روش هیدروگراف واحد اسنایدر و کلارک تنظیم و کالیبره شد و سپس با مجموعه جدیدی از داده های بارندگی و جریان (۲۰۱۰-۲۰۰۸) مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. شبیه سازی جریان با روش هیدروگراف واحد اسنایدر قابل اعتماد تر از روش هیدروگراف واحد کلارک بود. همان طور که روش کمبود، روش شماره منحنی SCS به خوبی اجرا نمی شود.

تاجیکی (۱۳۸۶) برای ارزیابی وضعیت قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری رامیان در استان گلستان از مدل

5- Chen et al.

6- Sher Jamal Khan and Zahiruddin Khan

7- Halwatura and Najim

HEC-HMS استفاده کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که حداکثر دبی سیلابی حوضه در دوره بازگشت‌های مختلف کاهش یافت به طوری که بیشترین کاهش دبی اوج جریان در دوره بازگشت ۱۰ سال رخ داد و با افزایش دوره بازگشت تأثیر اقدامات آبخیزداری بر روی دبی اوج کاهش یافت. این کاهش تحت تأثیر اقدامات بیولوژیکی بوده و اقدامات مکانیکی نقش ناچیزی داشته است. درکل تأثیر اقدامات آبخیزداری بر روی رسوب‌دهی و سیل‌خیزی حوضه آبخیز، مثبت ارزیابی شد.

سلطانی (۱۳۸۹) به ارزیابی تأثیر سدهای اصلاحی اجرا شده بر سیل‌خیزی و سیل‌گیری درحوضه آبخیز منشاء پرداخت، که بدین منظور از مدل HEC-HMS برای مقایسه تغییرات دبی و رفتار داغاب قبل و بعد از اقدامات استفاده کرد. هیدروگراف سیل با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ ساله در وضعیت قبل و بعد از احداث عملیات شبیه سازی گردید. براساس نتایج شبیه‌سازی، تأثیر سازه‌ها بر دبی اوج به طور متوسط ۹/۸۲ درصد و بر حجم سیل ۷/۷۵ درصد بوده‌است. از طرفی با افزایش دوره بازگشت سیلاب، تأثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش یافته است.

توکلی بنیزی (۱۳۹۰) به ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوضه آبریز سد بوستان پرداخت. وی با تلفیق GIS و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS دبی اوج سیلاب تحت دو سناریو مختلف کاربری اراضی در حوضه آبریز بالا دست ایستگاه هیدرومتری تمر واقع در رودخانه گرگان رود را با استفاده از داده‌های مشاهداتی بارش، تبخیر از تشتک و رواناب برای کاربری اراضی فعلی حوضه از طریق کالیبراسیون مدل مذکور شبیه‌سازی کرد و مدل برای شرایط کاربری اراضی آتی نیز شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد که با اعمال سناریو اول (افزایش سطح جنگل و سطح باغات) دبی اوج سیلاب برای دوره‌های بازگشت کمتر از ۱۰۰ سال به طور متوسط ۱۷/۵ درصد کاهش یافت. روغنی (۱۳۹۱) در حوضه آبخیز حیدری واقع در استان چهارمحال، در پی ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری بر تغییر رفتار حوضه روی میزان ذخیره رواناب، کاهش سیلاب و سیل‌خیزی پرداخت. بررسی‌های صحرایی و ثبت مشخصات مکانی و فیزیکی سازه‌های احداث شده و تحلیل داده‌ها انجام داد. در مرحله بعد با استفاده از مدل SCS و شبیه‌سازی سیلاب حوضه، اقدام به بررسی تأثیر سازه‌ها نمود. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که سازه‌های احداث شده، ضمن ذخیره رواناب و تأثیر بر نفوذ عمقی جریان رواناب، قادر به کنترل سیلابی با دوره بازگشت حدوداً ۵۰ ساله می‌باشد مدل جهت برآورد نسبی تعداد سازه‌های مورد نیاز متناسب با اهداف طرح پیشنهاد گردید.

با توجه به سابقه طولانی اجرای پروژه‌های آبخیزداری در کشور لزوم ارزیابی اقدامات انجام شده و بررسی تاثیرات مورد نظر از این طرح‌ها اقدامی ضروری می‌باشد. امروزه استفاده از قابلیت مدل‌های هیدرولوژیک به منظور شبیه‌سازی اثرات فعالیت‌های مدیریتی در فرایند تصمیم‌گیری نقش تعیین‌کننده‌ای به خود گرفته است. از میان این مدل‌ها در این تحقیق مدل ریاضی HEC-HMS برای شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب به کار می‌رود و اقدام به ارزیابی عملیات آبخیزداری اجرا شده در حوضه آبخیز طزرجان استان یزد با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیک و شبیه‌سازی بارش-رواناب گردید. در قسمت دیگری از این تحقیق روند تغییر اثرات اقدامات آبخیزداری بر معیارهای هیدرولوژیک با افزایش دوره بازگشت سیلاب مورد بررسی قرار گرفت.

هدف اصلی در این تحقیق این است که با استفاده از مدل HEC-HMS تاثیر اقدامات آبخیزداری شامل کارهای مکانیکی و عملیات بیولوژیک بر کاهش دبی اوج سیل مورد بررسی قرار گیرد. برای تعیین پاسخ حوضه به رگبارها اقدام به شبیه‌سازی رفتار سیلاب برای بارش‌های با دوره بازگشت‌های مختلف در قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری گردید. باتوجه به اینکه منطقه دارای بارندگی مناسبی است و خساراتی که سیل به منطقه وارد می‌کند، لزوم اجرای طرحی جهت کنترل سیل و کاهش دبی پیک در محل مناسب را ضروری می‌سازد. هدف کلی بررسی تاثیر اقدامات آبخیزداری اعم از مکانیکی و بیولوژیکی بر کاهش سیل خیزی حوضه مورد مطالعه است و اثر سدهای تأخیری را در بالادست حوضه بر کاهش آبی سیلاب و سیلاب خروجی حوضه بررسی نماید.

مواد و روش‌ها

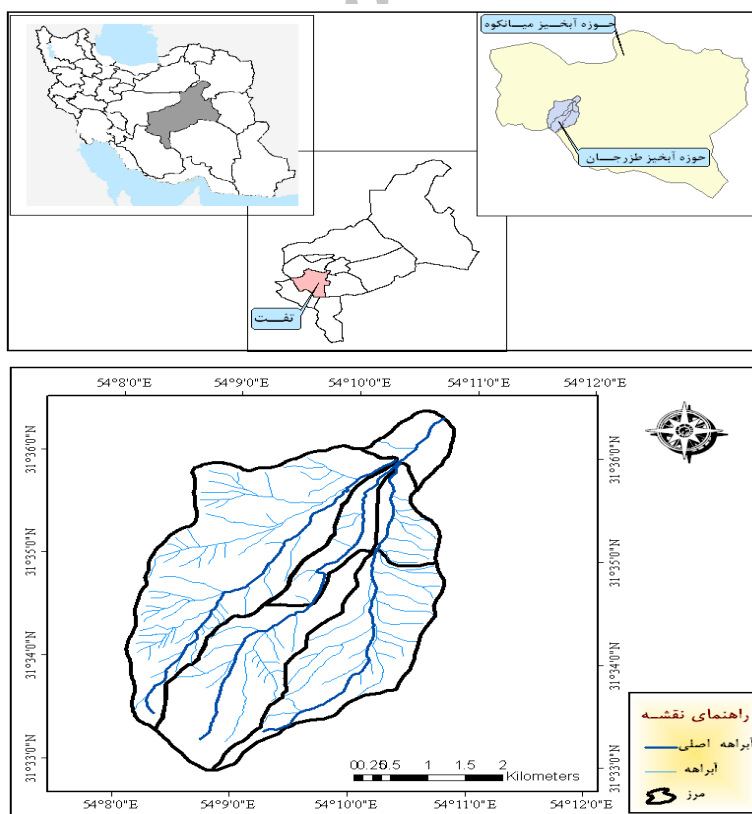
مشخصات محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی جمعاً به مساحت ۱۸/۳۲ کیلومتر مربع در جنوب غرب استان یزد و در شهرستان تفت واقع شده است. این محدوده از $۵۴^{\circ} ۸' ۷/۶۵''$ تا $۵۴^{\circ} ۱۰' ۴۸/۳''$ طول شرقی و $۳۱^{\circ} ۳۲' ۵۳/۵''$ تا $۳۱^{\circ} ۳۶' ۲۶/۵''$ عرض شمالی گسترش یافته است و طول آبراه اصلی در این حوضه ۷/۲۲ کیلومتر می‌باشد. به منظور بررسی دقیق تر، حوضه مورد مطالعه به چهار زیرحوضه مستقل از ۱ تا ۴، دو زیر حوضه غیر مستقل ۵ و ۶ نامگذاری شدند، تقسیم گردید. جدول ۱ مشخصات حوضه آبخیز طزرجان و شکل ۱ موقعیت این حوضه را در ایران، استان و حوضه آبخیز میانکوه به همراه زیرحوضه‌های مستقل و غیرمستقل و آبراهه‌های حوضه مذکور را نشان می‌دهند. رخنمون‌های زمین‌شناسی ناحیه از قدیم به جدید شامل گرانیت شیرکوه، ماسه سنگ و کنگلومرای قرمز رنگ سازند سنگستان،

آهک‌های خاکستری رنگ و اوربیتولین دار سازند تفت می‌باشد. رسوبات ناپیوسته کواترنری از تخریب و فرسایش تشکیلات فوق الذکر حاصل شدند (مهندسان مشاور عمران کویر، ۱۳۷۵).

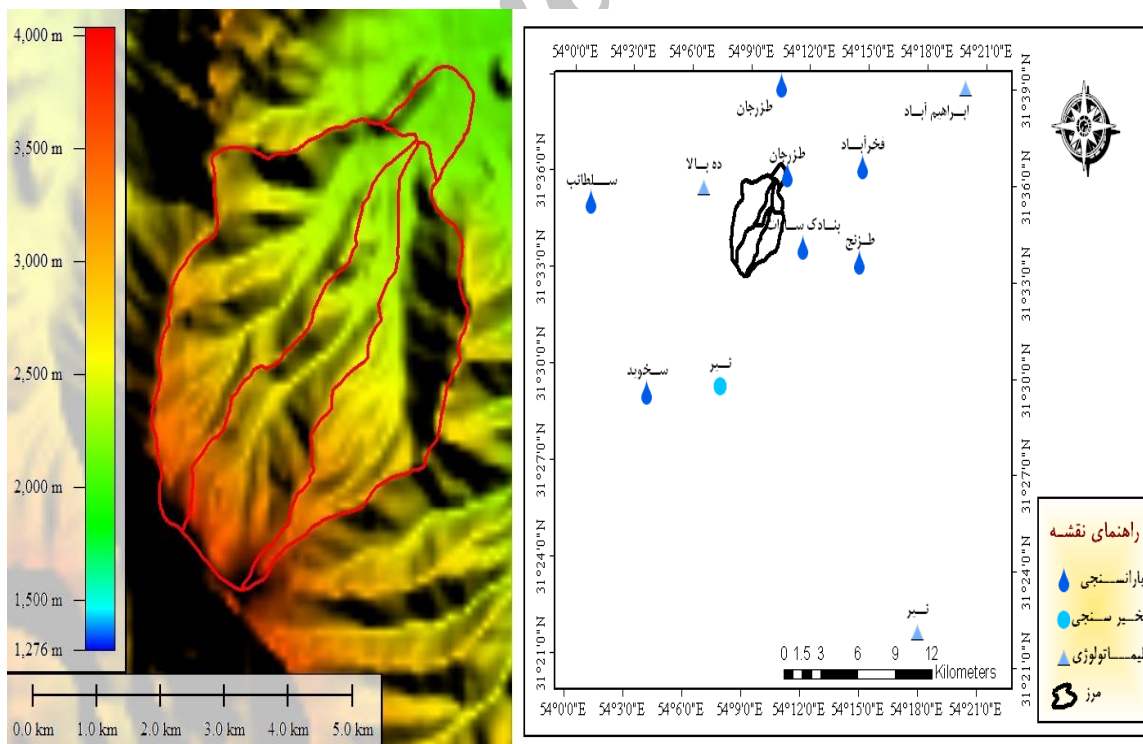
جدول ۱- مشخصات حوضه آبخیز طزرجان و زیرحوضه‌ها

حوضه	محیط (km)	مساحت (km ²)	طول آبراه‌ها (Km)	ارتفاع حداقل (m)	ارتفاع حداکثر (m)	ارتفاع متوسط وزنی	شیب متوسط آبراهه	شیب حداقل	شیب حداکثر	شیب متوسط	بارندگی mm	درجه حرارت °c
۱	۱۴/۳۷	۷/۲۵	۳۴/۷۹	۲۱۹۸/۷۷	۳۶۸۸/۶۶	۲۷۲۱/۳۰	۲۳/۰۲	۰/۰۲	۱۸۴/۶۵	۵۲/۷۵	۳۰۲/۰۴	۱۱/۲۰
۲	۱۰/۷۷	۳/۹۲	۱۳/۶۸	۲۳۳۷/۷۱	۳۹۷۵/۰۵	۳۰۱۲/۳۲	۲۵/۹۲	۰/۹۰	۱۸۹۰/۰۶	۷۰/۵۶	۳۵۴/۴۳	۹/۴۲
۳	۱۱/۲۰	۴/۰۱	۱۹/۵۹	۲۳۳۲/۱۸	۳۹۷۰/۳۵	۲۷۳۴/۸۲	۲۶/۱۱	۱/۸۵	۱۴۳/۵۹	۴۸/۷۳	۳۰۴/۴۸	۱۱/۱۲
۴	۷/۱۸	۱/۲۲	۵/۱۱	۲۱۹۷/۹۹	۲۷۴۱/۱۴	۲۴۰۶/۴۱	۱۲/۲۶	۰/۱۷	۸۶/۷۸	۳۳/۱۰	۲۴۵/۳۶	۱۳/۱۲
۵	۴/۷۶	۱/۰۶	۶/۰۲	۲۱۹۵/۳۷	۲۶۵۲/۶۶	۲۳۵۵/۷۸	۸/۲۸	۰/۷۱	۸۹/۱۱	۳۳/۸۵	۲۳۶/۲۵	۱۳/۴۳
۶	۴/۲۶	۰/۸۶	۱/۷۹	۲۱۳۵/۰۸	۲۳۲۹/۰۲	۲۱۹۴/۵۶	۶/۱۳	۰/۲۱	۶۹/۲۱	۱۹/۴۴	۲۰۷/۲۳	۱۴/۴۱
T	۱۸/۵۰	۱۸/۳۲	۸۱/۰۵	۲۱۳۴/۴۳	۳۹۷۵/۰۵	۲۷۱۹/۶۱	۱۸/۶۴	۰/۰۲	۱۸۹/۰۶	۵۱/۷۰	۳۰۱/۷۴	۱۱/۲۱



شکل ۱: موقعیت حوضه آبخیز طزرجان در ایران، استان و زیرحوضه‌های مستقیم و غیرمستقیم و آبراه‌های آن

طبق مطالعات میدانی و بررسی‌های به عمل آمده مشخص گردید که در حوزه آبخیز طرزجان اقدامات مکانیکی شامل بند سنگ و سیمانی و ۶ گوراب جانبی است که در حال حاضر ۵ گوراب فعال می‌باشد. اقدامات بیولوژیک شامل ۸۰ هکتار بذرکاری و ۴۰ هکتار کپه کاری است که به دلیل خشکسالی‌های اخیر تنها ۱۰ هکتار کپه کاری از نوع Agropyron به نتیجه رسید که در زیرحوضه ۱ انجام گردید. برای تعیین مقدار بارندگی سالیانه حوضه از یازده ایستگاه موجود که در شکل ۲ نشان داده شده، استفاده گردیده است. جهت تعیین بارندگی سالیانه حوضه از گرادیان بارندگی $P = 0.18H - 187.79$ با ضریب همبستگی 0.8 به دست آمد. براساس این رابطه به ازاء هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۱۸ میلی متر بر میزان بارندگی افزوده می‌گردد. جهت تعیین درجه حرارت متوسط سالانه از آمار چهار ایستگاه ده بالا، ابراهیم آباد، نیر (کلیماتولوژی) و نیر (تبخیرسنجی) استفاده شد. با توجه به مقادیر متوسط سالیانه درجه حرارت و ارتفاع ایستگاه‌ها، رابطه همبستگی $T = 27.8 - 0.0061H$ با ضریب همبستگی 0.97 به دست آمد. با توجه به رابطه گرادیان حرارتی حوضه، به ازاء هر ۱۰۰ متر ارتفاع 0.61 درجه سانتی‌گراد دما کاهش پیدا می‌کند. شکل ۳ مدل رقومی ارتفاع حوضه مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نقشه موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی در طرزجان و اطراف

شکل ۳: نقشه مدل رقومی ارتفاع حوضه آبخیز طرزجان

الف) استخراج نقشه کاربری اراضی

براساس تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای، گوگل ارث و عملیات میدانی انواع کاربری اراضی مشخص گردید. سپس در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی مساحت هر کاربری در هر زیر حوضه تعیین شد.

ب) تهیه نقشه شماره منحنی

نقشه زمین شناسی با کاربری اراضی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تلفیق شد. با استفاده از جداول مربوط به تعیین شماره منحنی (مهدوی، ۱۳۸۸ ص ۱۵۹) امتیازدهی انجام گردید، سپس میانگین امتیازات کسب شده به عنوان شماره منحنی هر کاربری تعریف شد. آنگاه شماره منحنی متوسط وزنی در هر زیر حوضه محاسبه گردید.

ج) تعیین میزان تلفات حوضه

مقدار تلفات کل توسط رابطه بدون بعد $s = \frac{25400}{CN} - 254$ تعیین شد، در آن S تلفات بر حسب میلی متر و CN بر حسب شماره منحنی است.

د) محاسبه زمان تمرکز و زمان تأخیر حوضه

۱- محاسبه زمان تمرکز و زمان تأخیر قبل از اجرا:

در این تحقیق زمان تمرکز از روش برانسی ویلیامز استفاده شد. زمان تأخیر از رابطه ۱ به دست آمده است.

$$T_{lag} = 0.6T_c \quad (1)$$

۲- محاسبه زمان تمرکز و زمان تأخیر بعد از اجرا:

جهت بررسی میزان تأثیر سازه‌ها بر روی شیب آبراهه، محل سازه با رعایت ارتفاع مفید آن‌ها بر روی پروفیل مشخص گردید و شیب در محل احداث سازه‌ها محاسبه شد. بدین منظور در مورد هر یک از سازه‌ها، طول رسوب گذاری اندازه گیری شده و به دنبال آن شیب جدید در قسمت احداث سازه به طور وزنی محاسبه گردید.

$$S' = \frac{(p' \times L') + (p \times l)}{L} \quad (2)$$

S' شیب جدید ایجاد شده در بستر اصلی بر حسب متر بر متر، P' شیب حد بر حسب متر بر متر، P شیب طبیعی بر حسب متر بر متر، l طول قسمتی از آبراهه که تحت تأثیر سازه نیست (بر حسب متر) و L طول آبراهه اصلی قبل از

اقدامات برحسب متر می‌باشد. با قرار دادن شیب جدید در فرمول زمان تمرکز، زمان تمرکز جدید آبراهه تعیین گردید.

ه) بررسی آمار سیلاب و تعیین رویدادهای بارش مناسب

به منظور شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در مدل HEC-HMS، هیدروگراف سیل‌های مشاهده شده در حوضه مورد نیاز می‌باشد. بدین منظور اطلاعات سیلاب‌های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری طزرجان از شرکت آب منطقه‌ای استان یزد جمع‌آوری شد. پس از بررسی هیدروگراف سیل‌های مشاهده شده، رویدادهای مناسب انتخاب و آب پایه از آن‌ها کسر گردید.

و) محاسبه بارش طرح

۱ - مطالعه تغییرات مکانی بارش - برای تهیه نقشه توزیع مکانی بارش، ابتدا موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و مقدار بارش ثبت شده در هر رویداد بارندگی به صورت فایل جدولی به محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی معرفی و با استفاده از روش عکس مربع فاصله، نقشه رستری توزیع مکانی بارش تهیه گردید. در هر زیرحوضه، نقشه برداری زیرحوضه‌ها با این نقشه تقاطع داده شد که نتیجه آن ایجاد فایلی است که در آن متوسط بارندگی هر زیرحوضه مشخص می‌شود.

۲ - الگوی تغییرات زمانی بارش - حوضه مورد مطالعه فاقد باران‌سنج ثابت می‌باشد به منظور بررسی الگوی زمانی بارش از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه که عبارت است از ایستگاه ثابت ده‌بالا استفاده گردید و فرض شد که حوضه آبخیز طزرجان از الگوی تغییرات زمانی حوضه آبخیز ده‌بالا پیروی می‌کند. بارش طرح با زمان تداوم معادل زمان تمرکز با دوره بازگشت‌های مختلف برای شبیه‌سازی استفاده گردید. به منظور به دست آوردن توزیع زمانی بارش، کلیه بارندگی‌های ثبت شده در ایستگاه ده‌بالا استخراج و برحسب مدت تداوم بارندگی گروه‌بندی شدند. سپس اقدام به بی‌بعد نمودن زمان (نسبت به کل زمان بارندگی) و مقدار بارندگی (نسبت به کل بارندگی) گردید و از این اعداد بی‌بعد میانگین گرفته شد.

ح) وارد کردن داده‌ها به مدل

در این مرحله، مدل با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا برای رویدادهای بارش - رواناب مشاهده شده، اجرا گردید و برای محاسبه انتقال از روش هیدروگراف واحد SCS استفاده می‌شود. در این بخش تنها زمان تأخیر

حوضه برحسب ساعت یا دقیقه به مدل وارد می‌شود. در این تحقیق مدل در تمام زیرحوضه‌ها بدون آب پایه اجرا می‌گردد. در این تحقیق در قسمت بازه از روش تأخیر استفاده شده است.

ط) وارد کردن هیدروگراف‌های مشاهداتی

جهت وارد کردن داده‌های بارش به مدل هواشناسی باید هیدروگراف سیل‌های مشاهداتی در حوضه، به مدل معرفی شود. در این مرحله، با استفاده از روش هایتوگراف سفارشی، بارش‌ها به مدل هواشناسی وارد می‌گردند.

ک) تعیین شاخص‌های کنترلی

در این قسمت باید تاریخ و ساعت شروع و اتمام یک پروژه، همچنین دسته‌بندی زمان محاسبات معرفی گردد. پس از ورود داده‌ها و تکمیل مدل حوضه، مدل هواشناسی و شاخص‌های کنترلی، مدل برای داده‌های بارش-رواناب مشاهده شده اجرا و هیدروگراف شبیه‌سازی شده مدل به دست آمد. تمام رویدادهای مشاهده شده در شرایط رطوبت پیشین خاک (حالت I) روی داده بودند، بنابراین مدل نیز در این شرایط اجرا گردید.

ل) آنالیز حساسیت مدل نسبت به تغییر پارامترها

آنالیز حساسیت، شدت تغییر یک عامل وابسته با توجه به تغییر یک عامل مستقل را بررسی می‌کند. بدین منظور منحنی تغییرات نتایج مدل نسبت به تغییر پارامتر مورد نظر ترسیم می‌گردد. هرچه انحنای منحنی این تغییرات بیشتر باشد یک تغییر کوچک در پارامتر مربوطه، باعث تغییرات زیادی در جواب مدل می‌شود و در این صورت، مدل را نسبت به آن پارامتر، حساس می‌گویند. برای این منظور آنالیز حساسیت برای چهار پارامتر شماره منحنی، زمان تأخیر، در صد نفوذ ناپذیری و تلفات اولیه انجام گرفت.

م) واسنجی و اعتباریابی مدل HEC-HMS

در این مرحله پارامترهای مدل با یک گروه از داده‌ها واسنجی می‌گردد. سپس اعتباریابی مدل از طریق اجرای مدل با پارامترهای بهینه شده برای گروه دوم داده‌ها انجام می‌شود. نهایتاً هیدروگراف شبیه‌سازی شده با هیدروگراف مشاهده شده مقایسه می‌شود. کارایی مدل هیدرولوژی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در مرحله اعتبارسنجی، با استفاده از شاخص اریبی مدل در برآورد حجم جریان (معادله ۳) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

$$\text{Bias} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n Q_{si}}{\sum_{i=1}^n Q_{oi}} \right) - 1 \quad (3)$$

Q_{oi} و Q_{si} مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده می باشد، هر چه میزان اریبی مدل در برآورد حجم جریان کم تر باشد کارایی مدل بالاتر خواهد بود.

ن) بهینه سازی مدل

پس از اجرای مدل، جهت حصول نتیجه بهتر، مدل کالیبره گردید. برای بهینه سازی مدل، از پارامترهایی که طبق نتایج آنالیز حساسیت دارای تأثیر بیشتری نسبت به پارامترهای دیگر بودند استفاده شد.

س) تعیین بارش طرح با دوره بازگشت های مختلف

تهیه رگبارهای طرح نیاز به عمل کل بارش و توزیع زمانی بارش دارد. پراکنش مکانی بارش در سطح حوضه برای هر دوره بازگشت از روی منحنی های شدت - مدت - فراوانی حوضه ده بالا تعیین گردید و مقدار متوسط بارش در هر زیرحوضه به دست آمد. جهت تهیه منحنی شدت - مدت - فراوانی از روش بل - فائو استفاده شد. در مرحله بعد مقادیر درصد بارش در فواصل زمانی ۱۵ دقیقه از روی نمودار بی بعد الگوی توزیع زمانی رگبارهای طزرجان استخراج گردید.

ع) شبیه سازی جریان با استفاده از مدل HEC-HMS به منظور ارزیابی اقدامات مکانیکی

در این مرحله، ابتدا طرح شماتیک عنصر هیدرولوژیک سد حوضه آبخیز طزرجان در مدل حوضه، تهیه گردید. سپس مدل حوضه با پارامترهای بهینه شده و در نظر گرفتن ضرابی که از بخش واسنجی مدل به دست آمده بود و بارش طرح، مدل HEC-HMS برای هریک از شرایط قبل و بعد از اقدامات مکانیکی اجرا شد تا میزان تغییر دبی پیک جریان و در نتیجه اثر بخشی اقدامات صورت گرفته بررسی شود.

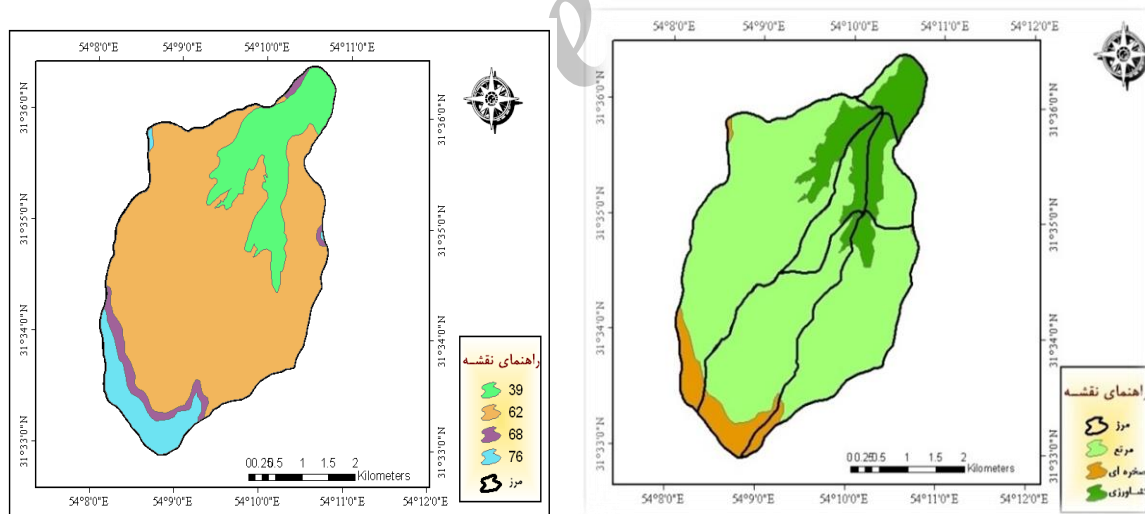
ف) شبیه سازی جریان با استفاده از مدل HEC-HMS به منظور ارزیابی اقدامات بیولوژیک

برای بررسی تاثیر اقدامات بیولوژیک از دو سری تصاویر ماهواره ای قبل و بعد از اقدامات استفاده گردید و برای ارزیابی اثر پوشش گیاهی نیز از تغییرات روی CN استفاده شد. در ابتدا میزان تغییر وضعیت پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI (باند ۳ و ۴ ماهواره لندست) بررسی گردید. سپس نقشه زمین شناسی و کاربری اراضی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تلفیق شد و با استفاده از جداول مربوط به تعیین شماره منحنی امتیازدهی انجام شد. آن گاه شماره منحنی متوسط وزنی در هر زیرحوضه محاسبه و نهایتاً شماره منحنی های جدید وارد مدل گردید و تغییرات دبی در دوره بازگشت های مختلف بررسی شد.

ص) شبیه سازی جریان با استفاده از مدل HEC-HMS به منظور ارزیابی تلفیق اقدامات مکانیکی و بیولوژیک در اینجا میانگین وزنی شماره منحنی حاصل از اقدامات بیولوژیک با داده‌های حاصل از اقدامات مکانیکی وارد مدل گردید و نتایج حاصل از اثر این اقدامات روی دبی پیک در دوره بازگشت‌های متفاوت ارزیابی شد.

بحث

براساس تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای، گوگل ارث و کنترل زمینی انواع کاربری اراضی مشخص گردید. انواع کاربری های موجود در حوضه آبخیز طزرجان در شکل ۴ نشان داده شده است. شماره منحنی هر زیرحوضه، در جدول ۲ و شکل ۵ نشان داده شده است. زمان تمرکز حوضه و زیرحوضه‌ها از روش برانسیبی ویلیامز محاسبه گردید. با قرار دادن شیب جدید ناشی از اقدامات مکانیکی در فرمول زمان تمرکز، زمان تمرکز جدید آبراهه تعیین شد که زمان تمرکز حوضه قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری در جدول ۳ آمده است.



شکل ۴: نقشه انواع کاربری اراضی در حوضه طزرجان برحسب کیلومتر مربع

شکل ۵: نقشه شماره منحنی حوضه طزرجان

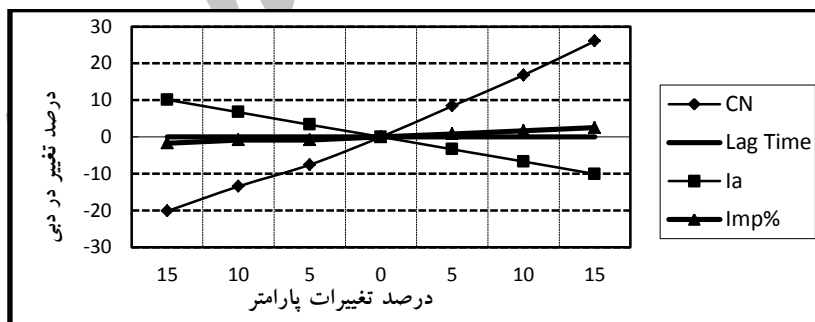
جدول ۲- میانگین وزنی شماره منحنی مربوط به هر یک از زیرحوضه‌ها

زیرحوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
شماره منحنی	۵۹/۵۸	۶۳/۵۱	۶۱/۰۱	۵۲/۹۶	۵۷/۸۸	۴۳/۰۹

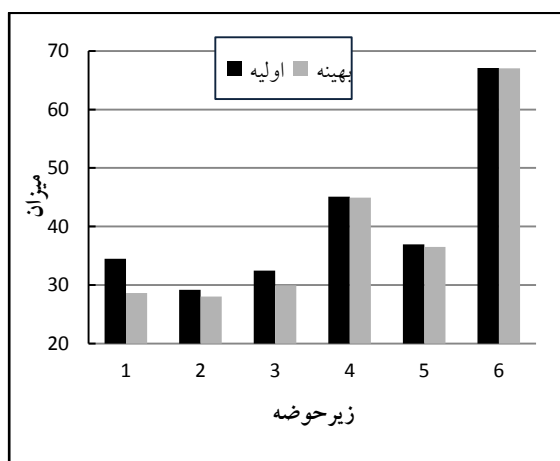
جدول ۳- مقدار زمان تمرکز و زمان تأخیر زیرحوضه‌ها

زیرحوضه	قبل از اجرا		بعد از اجرا	
	زمان تمرکز (دقیقه)	زمان تاخیر (دقیقه)	زمان تمرکز (دقیقه)	زمان تاخیر (دقیقه)
۱	۹۵/۳۳	۵۷/۲۰	۹۵/۸۰	۵۷/۴۸
۲	۷۲/۳۰	۴۳/۳۸	۷۳/۱۳	۴۳/۸۸
۳	۶۵/۷۲	۳۹/۴۳	۶۹/۷۰	۴۱/۸۹
۴	۷۲/۷۴	۴۳/۶۵	۷۲/۷۴	۴۳/۶۵
۵	۳۸/۷۹	۲۳/۲۷	۴۰/۳۲	۲۴/۱۹
۶	۲۶/۰۴	۱۵/۶۲	۲۶/۰۴	۱۵/۶۲

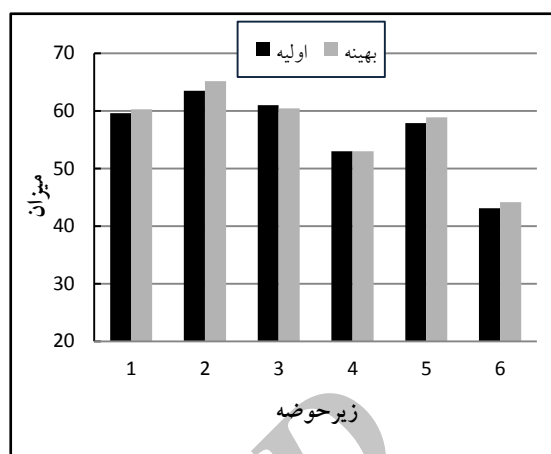
شماره منحنی و تلفات اولیه، بیشترین حساسیت را در منطقه دارا می‌باشد که در شکل ۶ نمایان است. شکل ۷ منحنی مقادیر اولیه و بهینه پارامترهای شماره منحنی و تلفات اولیه را نشان می‌دهد. کارایی مدل با توجه به شاخص اریبی مدل ۰/۳۵- می‌باشد، با توجه به اینکه هر چه میزان اریبی مدل در برآورد جریان کم‌تر و نزدیک به صفر باشد کارایی مدل بالاتر خواهد بود. مدل دارای کارایی بالایی است. توزیع زمانی بارش طرح در حوضه با استفاده از توزیع زمانی بارش ایستگاه ده بالا تعیین شده است. پراکنش مکانی بارش در سطح حوضه برای هر دوره بازگشت از روی منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی حوضه ده‌بالا تعیین گردید و مقدار متوسط بارش در هر زیرحوضه به دست آمد. جدول ۴ این مقادیر را نشان می‌دهد.



شکل ۶: منحنی تغییرات مدل به ازای تغییر در پارامترها (Lag time زمان تأخیر، CN شماره منحنی، Ia تلفات اولیه، Imp% درصد نفوذناپذیری)



تلفات اولیه



شماره منحنی

شکل ۷: منحنی مقادیر اولیه و بهینه پارامترها

جدول ۴- مقادیر بارش به ازای دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از منحنی شدت-مدت-فراوانی برحسب mm/hr

زیرحوضه	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
۱	۱۵/۵۳	۲۴/۸۳	۳۱/۰۶	۳۸/۴۲	۴۲/۹۲	۴۹/۵۶	۵۶/۷۱	۶۳/۳۵
۲	۱۵/۳۹	۲۴/۶۰	۳۰/۷۷	۳۸/۰۶	۴۲/۵۱	۴۹/۰۹	۵۶/۱۸	۶۲/۷۶
۳	۱۵/۲۳	۲۴/۳۵	۳۰/۴۶	۳۷/۶۸	۴۲/۰۹	۴۸/۶۰	۵۵/۶۲	۶۲/۱۳
۴	۱۴/۶۱	۲۳/۳۶	۲۹/۲۲	۳۶/۱۴	۴۰/۳۷	۴۶/۶۲	۵۳/۳۴	۵۹/۵۹
۵	۱۴/۱۲	۲۲/۵۸	۲۸/۲۵	۳۴/۹۳	۳۹/۰۲	۴۵/۰۶	۵۱/۵۷	۵۷/۶۰
۶	۱۳/۵۸	۲۱/۷۲	۲۷/۱۷	۳۳/۶۰	۳۷/۵۳	۴۳/۳۴	۴۹/۶۰	۵۵/۱۴

به طور کلی در چند سال اول بعد اجرای اقدامات مکانیکی که هنوز پشت سازه خالی بوده و تخریب صورت نگرفته، نقش بسزایی در کاهش دبی اوج داشته است ولی پس از پرشدن پشت سازه با رسوبات، تأثیر مثبت سازه کم شده است. نتایج بازدید از اقدامات مکانیکی حوضه نشان داد که از ۳۳ سازه اجرا شده در حوضه، حدود ۵۴/۵ درصد آن در زیرحوضه ۱ متمرکز شده است و بعد زیرحوضه‌های ۵، ۲ و ۳ بیشترین اقدامات را در خود جای داده‌اند. با توجه به اینکه اجرای این اقدامات مربوط به سال‌های مختلف می‌باشد، عملکرد سازه در خصوص اخذ رسوب متفاوت بوده است. جدول ۵ اثر اقدامات مکانیکی بر دبی اوج در دوره بازگشت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۵- اثر اقدامات مکانیکی بر دبی اوج در دوره بازگشت‌های مختلف

اختلاف نسبی دبی به درصد	دبی بعد اقدامات m^3/s	دبی قبل اقدامات m^3/s	دوره بازگشت
۱۰/۷۱	۲/۸	۳/۱	۲
۷/۶۹	۴/۵۵	۴/۹	۵
۷/۰۲	۵/۷	۶/۱	۱۰
۶/۵۸	۷/۷۵	۸/۲۶	۲۵
۵/۵۸	۹/۸۵	۱۰/۴	۵۰
۵	۱۴	۱۴/۷	۱۰۰
۴/۵۲	۱۹/۹	۲۰/۸	۵۰۰
۴/۳۷	۲۶/۵۴	۲۷/۷	۱۰۰۰

مقایسه دو بازه زمانی قبل و بعد از احداث اقدامات بیولوژیک در دوره بازگشت‌های متفاوت نشان می‌دهد که این اقدامات به دلیل میزان کم آن در حوضه آبخیز طزرجان تأثیر بسیار کمی را بر دبی اوج داشته‌اند و بین دبی قبل و بعد از اقدامات تفاوت خیلی کمی مشاهده می‌گردد. اثر این اقدامات بر دبی اوج در دوره بازگشت‌های مختلف در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶- اثر اقدامات بیولوژیک بر دبی اوج در دوره بازگشت‌های مختلف

اختلاف نسبی دبی به درصد	دبی بعد اقدامات m^3/s	دبی قبل اقدامات m^3/s	دوره بازگشت
۰/۹۸	۳/۰۷	۳/۱	۲
۱/۰۳	۴/۸۵	۴/۹	۵
۱/۱۶	۶/۰۳	۶/۱	۱۰
۰/۶۱	۸/۲۱	۸/۲۶	۲۵
۰/۵۸	۱۰/۳۴	۱۰/۴	۵۰
۰/۴۱	۱۴/۶۴	۱۴/۷	۱۰۰
۰/۲۹	۲۰/۷۴	۲۰/۸	۵۰۰
۰/۲۲	۲۷/۶۴	۲۷/۷	۱۰۰۰

با ترکیب اقدامات مکانیکی با بیولوژیک در حوضه آبخیز طزرجان نتایج بهتری حاصل شدند و تفاوت بین دبی قبل با دبی بعد از اقدامات آبخیزداری بیشتر شده است. جدول ۷ اثر این اقدامات بر دبی اوج در دوره بازگشت‌های

مختلف را نشان می‌دهد. در این حوضه به دلیل حجم پایین اقدامات بیولوژیک تفاوت تلفیق اقدامات مکانیکی و بیولوژیک نسبت به اقدامات مکانیکی به تنهایی ناچیز بوده است.

جدول ۷- اثر اقدامات مکانیکی و بیولوژیک بر دبی اوج و حجم سیل در دوره بازگشت‌های مختلف

اختلاف نسبی دبی به درصد	دبی بعد اقدامات m3/s	دبی قبل اقدامات m3/s	دوره بازگشت
۱۱/۹۱	۲/۷۷	۳/۱	۲
۸/۸۹	۴/۵	۴/۹	۵
۸/۳۵	۵/۶۳	۶/۱	۱۰
۷/۲۷	۷/۷	۸/۲۶	۲۵
۶/۲۳	۹/۷۹	۱۰/۴	۵۰
۵/۴۵	۱۳/۹۴	۱۴/۷	۱۰۰
۴/۸۴	۱۹/۸۴	۲۰/۸	۵۰۰
۴/۶۱	۲۶/۴۸	۲۷/۷	۱۰۰۰

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مقدار ضریب کارایی (مقدار عددی ۰/۳۵-۰/۳۵) شاخص آریبی) حاکی از نتایج قابل قبول شبیه‌سازی است. نتایج شبیه‌سازی مدل مذکور از نظر تطابق بین هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در تحقیقات نیکوکار (۱۳۸۸) و شیاه و همکاران^۸ (۲۰۰۷) نیز رضایت بخش بوده است. نتایج نشان می‌دهد که در اثر اجرای اقدامات مکانیکی، دبی اوج در دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ سال به میزان ۱۰/۷۱ تا ۴/۳۷ درصد تغییر داشته است. نتایج حاصل در این خصوص با مطالعات تاجیکی (۱۳۸۶) و بوستانی و همکاران^۹ (۲۰۰۹) مطابقت دارد. با در نظر گرفتن درصد تأثیر عملیات مکانیکی، می‌توان گفت که با افزایش دوره بازگشت، میزان تأثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج کم شده است و بیشترین تأثیر در دوره بازگشت‌های پایین بوده است. نتایج مصطفی‌زاده (۱۳۸۷) و سلطانی (۱۳۸۹) مبنی بر گزارش بیشترین تأثیر عملیات آبخیزداری در کاهش سیل‌خیزی حوضه آبخیز در دوره بازگشت‌های پایین مؤید نتایج تحقیق حاضر است. پس از بررسی اثر اقدامات مکانیکی بر زمان تمرکز و زمان تأخیر دیده شد، عملیات مذکور تأثیر چندانی بر بهبود وضعیت زمان تأخیر حوضه آبخیز نداشت که دلیل آن ناشی از کافی نبودن حجم سازه یا عدم اجرای

8- Shieh et al

9- Bustami et al

آن در بعضی از آبراهه‌ها بوده است. بیشترین میزان تغییر زمان تمرکز مربوط به زیرحوضه‌های ۳ و ۵ می‌باشد که در این خصوص زمان تمرکز قبل از اقدامات ۶۵/۷۲ و ۳۸/۷۹ و بعد از اقدامات ۶۹/۷ و ۴۰/۳۲ دقیقه می‌باشد. کبیر و همکاران (۱۳۸۶) و عباسی (۱۳۸۸) در بررسی اقدامات آبخیزداری به نتایج مشابهی دست یافته‌اند.

در اثر اجرای اقدامات بیولوژیک، دبی اوج در دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ سال به میزان ۱/۱۶ تا ۰/۲۲ درصد تغییر کرده است. تأثیر اقدامات بیولوژیک به تنهایی بر روی دبی اوج با افزایش دوره بازگشت تا ۱۰ سال روند افزایشی داشته ولی با افزایش دوره بازگشت از ۱۰ سال تا ۱۰۰۰ سال روند کاهشی به خود گرفته است که بیشترین تأثیر مربوط به دوره بازگشت ۱۰ سال می‌باشد. تاجیکی (۱۳۸۶) به نتیجه مشابه دست یافت. کاستا و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۳) نیز نقش کاربری اراضی و اقدامات حفاظت آب و خاک را بر روی دبی متوسط سالانه موثر ارزیابی نمودند.

همچنین در اثر تلفیق اقدامات مکانیکی و بیولوژیک در دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ سال درصد تغییر دبی اوج از ۱۱/۹۱ تا ۴/۶۱ درصد می‌باشد. با ارزیابی اقدامات بیولوژیک و مکانیکی مشاهده شد که تأثیر اقدامات مکانیکی بر روی دبی اوج حوضه آبخیز طزرجان بسیار بیشتر از تأثیر اقدامات بیولوژیک می‌باشد. اگر اقدامات بیولوژیک در سطح وسیع تری اجرا می‌گردید می‌توانست تأثیری بیش از این را داشته باشد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که تأثیر تلفیق اقدامات بیولوژیک و مکانیکی بیشترین تأثیر را روی کاهش دبی اوج داشته است و بیشترین تأثیر مربوط به دوره بازگشت‌های پایین بوده است. این نتایج با نتایج اوجاقلو (۱۳۸۰) در حوضه آبخیز رامیان مطابقت ندارد و با نتایج صادقی و همکاران (۱۳۸۳) و ونگسا و شیمیزو^{۱۱} (۲۰۰۴) در بررسی اقدامات آبخیزداری به ترتیب در حوضه‌های آبخیز کشار(کن) تهران و ایشیکاری ژاپن مشابه است.

10- Costa

11- Wongsan and Shimizu

منابع

- اوجاقلو، ف (۱۳۸۰)، «بررسی سازه‌های آبی بر روی سیلاب‌ها»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ایزانلو، ح (۱۳۸۵)، «اولویت بندی زمانی و مکانی سیل خیزی زیرحوضه‌های آبخیز کوشک‌آباد خراسان رضوی با استفاده از مدل HEC-HMS»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.
- تاجیکی، م (۱۳۸۶)، «ارزیابی اثر اقدامات آبخیزداری بر روی سیل خیزی و رسوبدهی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رامیان)»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- توکلی بنیزی، م (۱۳۹۰)، «ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر سیل خیزی حوضه آبریز سد بوستان»، ششمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، صص ۲۳-۳۵.
- حسینی، س (۱۳۸۲)، «ارزیابی فنی و اقتصادی عملیات آبخیزداری (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رامیان استان گلستان)»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- روغنی، م (۱۳۹۱)، «بررسی نقش عملیات مکانیکی آبخیزداری در کنترل رواناب حوضه آبخیز زاینده رود؛ مطالعه موردی در حوضه آبخیز حیدری»، *مهندسی آبیاری و آب*، شماره ۷، صص ۲۳-۱۱.
- سلاجقه، ع؛ رضوی‌زاده، س؛ خلیقی سیگارودی، ش (۱۳۸۹)، «بررسی کارایی مدل HEC-HMS در شبیه سازی دبی سیلاب حوضه آبخیز طالقان»، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، ۹ الی ۱۰ بهمن ماه ۱۳۸۹. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۱۲ صفحه.
- سلطانی، م (۱۳۸۹)، «ارزیابی اقدامات آبخیزداری بر سیل خیزی با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز منشاد)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.
- صادقی، س.ح.ر؛ شریفی، ف؛ فروتن، ا؛ رضایی، م (۱۳۸۳)، «ارزیابی کمی عملکرد اقدامات آبخیزداری (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کشاور)»، *پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، شماره ۶۵، صص ۱۰۲-۹۶.
- عباسی، م (۱۳۸۸)، «ارزیابی اقدامات فنی آبخیزداری با کمک مدل ریاضی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کن)»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

- علیزاده، ا (۱۳۸۶)، «اصول هیدرولوژی کاربردی»، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا.
- کبیر، آ؛ نجفی نژاد، ع؛ همت زاده، ی؛ کورکی نژاد، م (۱۳۸۶)، «بررسی احداث سازه‌های اصلاحی بر روی زمان تمرکز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودبار قشلاق استان گلستان)»، *علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*، شماره ۱۴، صص ۱-۷.
- مصطفی زاده، ر (۱۳۸۷)، «شبیه‌سازی تأثیرات هیدرولوژیکی سازه‌های اصلاحی به منظور ارزیابی سناریوهای سازه ای کنترل سیل در آبخیز جعفرآباد- استان گلستان»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- مهدوی، م (۱۳۸۸)، «هیدرولوژی کاربردی»، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- مهندسان مشاور عمران کویر (۱۳۷۵)، «مطالعات کنترل سیلاب طزرجان»، مرحله اجرایی.
- نشاط، ع؛ صدقی، ح (۱۳۸۵)، «برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک (SCS) و مدل HEC-HMS در حوضه آبخیز باغ ملک- استان خوزستان»، *علوم کشاورزی*، شماره ۴، صص ۷۹۸-۷۸۷.
- Bustami, R., Bong, C., Mach, D., Hamzah, A., Patrice, M., (2009), "Modeling of flood mitigation structures for Sarawak river sub-basin using info works river simulation (RS)". *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 3: 14-18.
- Chen, Y., XU, Y., Yin, Y., (2009), "Impacts of land use scenarios on storm run/off generatin in Xitiaoxi basin china". *Journal of Hydrology*, 289(1-4):1-8.
- Costa, M., Botta, H., Cardille, A., (2003), "Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia". *Journal of Hydrology*, 283 (1-4): 206-217.
- Halwatura, D., Najim, M. M., (2013), "Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment". *Environmental Modelling & Software*, 46: 155-162.
- Shieh, Ch.L., Guh, Y.R., Wang, Sh., (2007), "The application of range of variability approach to the assessment of a checkdam on riverine habitat alteration". *Environment Geology*, 1(52): 427-435.
- Sher Jamal Khan, M.A., Zahiruddin Khan, I.A., (2011), "Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan". *Landscape and Urban Planning*, 102: 271-279.

- USACE (US Army Corps of Engineers), (2000), "HEC-HMS Technical Reference Manual". *Hydrologic Engineering Center*. Davis. CA. pp: 157.
- Wongs, S., Shimizu, Y., (2004), "Modeling artificial channel and land-use changes and their impact on floods and sediment yield to the Ishikari Basin". *Journal of Hydrologic Process*, 18: 1837-1852.

Archive of SID