



ISSN 2251-7480

نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال پنجم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۵

## بررسی شاخص‌های کارایی و نقش مخازن تأخیری در کنترل سیلاب خروجی از حوضه (مطالعه موردی: حوضه جعفرآباد استان گلستان)

کامی کابوسی<sup>۱\*</sup> و رضا جلینی<sup>۲</sup>

\*<sup>۱</sup> استادیار؛ گروه مهندسی آب؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد گرگان؛ گرگان، ایران

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول مکاتبات: [kkaboosi@yahoo.com](mailto:kkaboosi@yahoo.com)

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد؛ گروه عمران؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد مرودشت؛ مرودشت؛ ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۰۲

### چکیده

مهيار سيلاب با استفاده از مخازن تأخیری تأثیر مستقیم و سریعی بر سيلاب می‌گذارد. هدف از این تحقیق، بررسی شاخص‌های کارایی مخازن تأخیری و تأثیر آنها بر کاهش دبی اوج و حجم سيلاب در حوضه جعفرآباد استان گلستان است. برای این منظور فرآیند بارش- رواناب و روندیابی سيلاب در مخازن با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS شبیه‌سازی گردید. مدل تحت چهار سناریو مختلف (بدون مخزن و با مخزن خالی، نیمه‌پر و پر) و برای دوره بازگشت‌های مختلف ۲ تا ۱۰۰ سال اجرا گردید. تحلیل آماری نتایج بر اساس آزمون تجزیه واریانس یک طرفه صورت گرفت. به‌منظور بررسی اثر مخزن بر سيلاب ورودی به مخزن (کارایی مخزن)، از دو شاخص نرخ تضعیف سيلاب و نسبت ذخیره استفاده گردید. نتایج نشان داد که احداث مخازن تأخیری موجب تأخیر در زمان وقوع دبی اوج و کاهش دبی اوج و حجم سيلاب خروجی از مخزن گردید ولی این کاهش‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. اثر مخزن با افزایش دوره بازگشت سيلاب کاهش یافت. حداکثر میزان کاهش حجم سيلاب برای مخزن خالی، نیمه‌پر و پر به ترتیب ۶۱/۱، ۳۳/۲ و ۰/۸ درصد و برای دبی پیک به‌ترتیب ۶۳/۹، ۳۲/۸ و ۶/۶ درصد بود. حداکثر مقدار نرخ تضعیف سيلاب برای مخازن مورد مطالعه در شرایط خالی، نیمه‌پر و کاملاً پر به‌ترتیب ۲۶، ۱۹ و ۷ درصد و حداکثر نسبت ذخیره برای مخزن خالی و نیمه‌پر به ترتیب ۱۴ و ۵ بود که نشان‌دهنده کارایی مخازن در کنترل سيلاب است. نتایج نشان داد که کارایی مخزن در کنترل سيلاب فقط به حجم مخزن و میزان سيلاب بستگی ندارد.

**کلید واژه‌ها:** نرخ تضعیف سيلاب؛ نسبت ذخیره؛ مخازن تأخیری؛ HEC-HMS

### مقدمه

مخزن تأخیری با حجم مناسب را بدهد و منابع قرضه در فاصله کمی از محل پروژه موجود باشد، به علت تأثیر سریع آن بر تسکین سيلاب، در مقایسه با سایر روش‌ها، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Roshani, 2003). سدهای اصلاحی (سدهای رسوبگیر و مخازن تأخیری)، سازه‌های کوچکی هستند که در حوضه‌های آبخیز به منظور کاهش فرسایش، مهار رسوب و کنترل سيلاب در آبراهه‌ها ساخته می‌شوند. این

سیل مانند سایر پدیده‌های هیدرولوژیکی یک پدیده غیرقطعی است که در هر زمان و مکان احتمال وقوع آن وجود داشته و تحت تأثیر عوامل مختلف اقلیمی، مشخصات فیزیکی حوضه، وضعیت پوشش گیاهی و کاربری اراضی و دخالت‌های انسانی است (خزائی، ۱۳۹۵). مهيار سيلاب با استفاده از مخازن تأخیری، تأثیر مستقیم و سریع بر سيلاب دارد. چنانچه توپوگرافی امکان ایجاد

بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌های ایالات متحده از طریق مقایسه آمار ۲۱ ایستگاه آب‌سنجی نشان داد که احداث سدها در طول صد سال گذشته موجب تنظیم رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌های بزرگ و کوچک شده است و در این میان بیشترین تغییر در دبی حداکثر و حداقل مشاهده شده است (Magilligan and Nislow, 2005).

توانایی مدل HEC-HMS جهت شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب و روندیابی سیلاب در مخزن توسط فرج‌زاده و همکاران (۱۳۸۵)، جمشیدی (۱۳۸۵)، نورعلی قاضی‌محله و همکاران (۱۳۸۷)، مصطفی‌زاده (۱۳۸۸)، سلطانی و همکاران (۱۳۹۰) و Shokoohi (۲۰۰۷) اثبات گردیده بود. بر این اساس، پژوهش حاضر ضمن بررسی مشخصات و ویژگی‌های مخازن تأخیری حوضه جعفرآباد استان گلستان و مدل‌سازی فرآیند بارش- رواناب این حوضه به کمک مدل HEC-HMS، تأثیر این مخازن در کاهش حجم و تغییر هیدروگراف سیلاب این حوضه را تحت سناریوهای مختلف بررسی می‌کند.

#### مواد و روش‌ها

##### مشخصات حوضه مورد مطالعه

حوضه جعفرآباد یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز گرگان‌رود با مساحتی در حدود ۱۱۰ کیلومتر مربع و رودخانه‌ای به طول ۲۱ کیلومتر، در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی گرگان در محدوده جغرافیایی  $48^{\circ}45'$  تا  $48^{\circ}37'$  طول شرقی و  $36^{\circ}43'$  تا  $36^{\circ}52'$  عرض شمالی واقع شده است. شکل ۱ موقعیت این حوضه در کشور را نشان می‌دهد. کمینه و بیشینه ارتفاع منطقه به ترتیب ۸۰ و ۲۵۴۰ متر و ارتفاع متوسط وزنی حوضه ۱۲۶۱ است. متوسط بارش سالانه ۵۶۶ میلی‌متر بوده و بخش قابل توجهی از حوضه را مناطق کوهستانی پوشیده از جنگل با شیب زیاد تشکیل داده است. با توجه به تراکم زهکشی بالا و شیب زیاد حوضه، واکنش حوضه نسبت به بارش‌ها سریع است و لذا این حوضه در معرض سیل‌های شدید قرار دارد. به همین دلیل اهمیت احداث سدهای تأخیری کنترل سیلاب

سازه‌های متوالی با کاهش شیب آبراهه منجر به افزایش زمان تمرکز، افزایش زمان تأخیر و ایجاد تغییر در عکس- العمل هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز می‌گردند (دبیری و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج حاصل از برخی پژوهش‌های انجام شده در ایران نشان می‌دهد که عملکرد این سازه‌ها در افزایش زمان تمرکز حوضه بی‌تأثیر بوده و یا دارای تأثیر ناچیزی است (کاوایان و همکاران، ۱۳۹۳) و احداث این مخازن علی‌رغم تعدیل شیب آبراهه، تأثیر قابل توجهی بر حداکثر دبی حوضه ندارد. البته برخی از پژوهشگران در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که سدهای اصلاحی بر افزایش زمان تمرکز حوضه تأثیر مثبت دارند (کبیر و همکاران، ۱۳۸۶؛ دبیری و همکاران، ۱۳۹۳؛ Roshani, 2003).

گزارش شده است که مخازن تأخیری منجر به کاهش مشخصات سیلاب خروجی از مخزن نسبت به سیلاب ورودی به آن می‌گردند. میزان این کاهش در دوره بازگشت‌های مختلف برای پارامتر دبی اوج بین ۴۰ تا ۸۳ درصد (نورعلی قاضی‌محله و همکاران، ۱۳۸۷)، بین صفر تا ۱/۵ درصد با بیشترین تأثیر در دوره بازگشت‌های بین ۲ تا ۱۵ سال (مصطفی‌زاده، ۱۳۸۸)، بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد (جمشیدی، ۱۳۸۵) به نقل از سلطانی و همکاران، (۱۳۹۰)، بین ۱۴/۱۴ تا ۶/۹۵ درصد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۰)، تا ۱۰/۳ درصد (کاوایان و همکاران، ۱۳۹۳)، تا ۶۷ درصد (Christophers et al., 2001 و Graf, 2006)، تا ۲۶ درصد (Yoshikawa et al., 2010) و تا ۵ درصد (Gul et al., 2010) گزارش شده است. در عین حال، میزان این کاهش در دوره بازگشت‌های مختلف برای پارامتر حجم سیلاب به طور متوسط ۷/۷۵ درصد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۰) گزارش گردید. همچنین نتیجه پژوهش Lopez-Moreno و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که مقدار دبی اوج سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف تحت تأثیر مخزن کاهش یافت و میزان این کاهش به درصد حجم پر شده مخزن قبل از سیلاب بستگی داشت. نتایج ارزیابی اثرات سدهای بزرگ

زیر حوضه‌های حوضه جعفرآباد در جدول ۱ ارائه شده است.

نزدیک‌ترین ایستگاه باران‌سنجی و آب‌سنجی به حوضه مورد مطالعه، ایستگاه تقی‌آباد (هر دو به یک نام و در یک محدوده) به مختصات جغرافیایی  $X=288986$  و  $Y=4083239$  در خروجی حوضه بود. به منظور تعیین بارش طرح، پس از آزمون داده‌های پرت بر روی آمار حداکثر بارش ۲۴ ساعته (دوره آماری ۹۲-۱۳۵۰)، انواع مختلف توزیع آماری توسط نرم‌افزار SMADA بر داده‌های بارندگی برازش داده شد. برای انتخاب بهترین توزیع، از روش حداقل مجموع مربعات باقیمانده استفاده گردید. بر این اساس توزیع آماری لوگ نرمال سه پارامتری به عنوان مناسب‌ترین توزیع انتخاب شد و بارش طرح در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال محاسبه گردید. جهت تعمیم بارندگی ۲۴ ساعته به بارش با تداوم‌های مختلف در دوره بازگشت‌های مورد نظر (تهیه

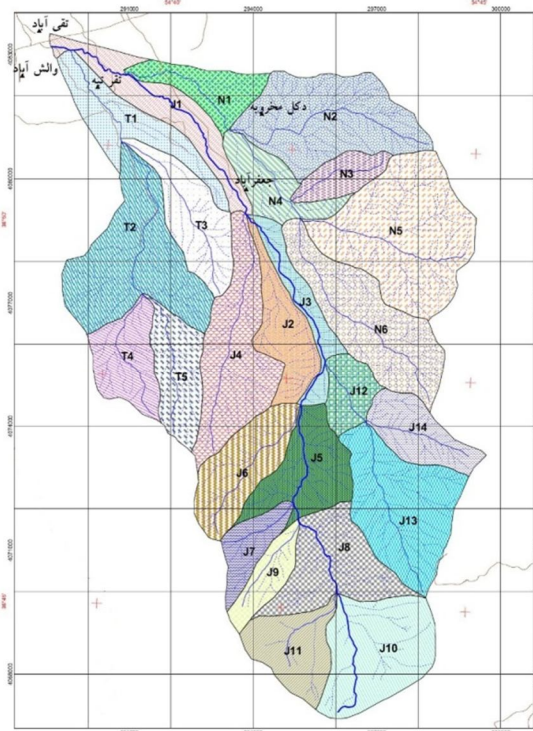
در حوضه به خوبی خود را نشان می‌دهد.

#### اطلاعات مورد نیاز مدل‌سازی

به منظور تهیه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حوضه جعفرآباد، پس از تهیه نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (اداره کل آبخیزداری و منابع طبیعی استان گلستان)، در محیط نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از روش شبکه نامنظم مثلثی (TIN<sup>۱</sup>)، مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰×۱۰ متر تهیه گردید. با توجه به شبکه آبراهه‌ها، وضعیت توپوگرافی و بر اساس اهداف پژوهش، حوضه مورد مطالعه با استفاده از بسته الحاقی ArcHydro به ۲۵ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد. سپس ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه شامل مساحت، محیط، ارتفاع حداقل، حداکثر و متوسط، شیب و زمان تمرکز (روش کریپچ) بدست آمد. نقشه شماره منحنی حوضه با تلفیق نقشه‌های گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و کاربری اراضی (۸۰/۴۲ درصد جنگل انبوه، ۱۱/۴۴ درصد جنگل نیمه انبوه و ۸/۱۴ درصد زراعی) بدست آمد. برخی از مهمترین ویژگی‌های



شکل ۱. موقعیت حوضه جعفرآباد در استان گلستان و ایران



<sup>۱</sup> Digital Elevation Model

<sup>۲</sup> Triangular Irregular Network

به منظور کاهش سیل‌خیزی حوضه، احداث مخازن تأخیری با هدف تسکین سیلاب در حوضه در حال اجرا می‌باشد. این مخازن دارای ابعادی متفاوت و متناسب با ابعاد آبراهه می‌باشند. مشخصات دقیق مخازن شامل موقعیت جغرافیایی و مشخصات ژئومتری (ارتفاع سازه، ابعاد سرریز و نقشه توپوگرافی مخزن جهت تهیه منحنی‌های ارتفاع-حجم) از روی نقشه‌های اجرایی استخراج گردید که در جدول ۳ برخی از این مشخصات ارائه شده است.

سبحانی (1976, Sobhani و Schwab, 1993؛ ضیایی، ۱۳۸۹) استفاده گردید. نهایتاً مقدار بارش معادل زمان تمرکز و بارش ۶ ساعته حوضه از روی منحنی شدت-مدت-فراوانی تعیین شد. لازم به ذکر است که با توجه به کوتاه بودن زمان تمرکز حوضه مورد بررسی، در مدل-سازی بارش ۶ ساعته مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲). همچنین به دلیل عدم دسترسی به باران‌سنج ثبات، برای تهیه توزیع زمانی بارندگی از روش SCS استفاده شد (علیزاده، ۱۳۷۷).

جدول ۱. برخی ویژگی‌های زیر حوضه‌های حوضه جغرافیای

ردیف	زیر حوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	شیب متوسط (درصد)	ارتفاع متوسط (متر)	زمان تمرکز (دقیقه)	شماره منحنی
۱	N1	۲/۶	۸/۹۳	۷/۰۲	۴۴۲/۳۵	۲۰/۱۶	۶۷/۰۷
۲	N2	۷/۷۱	۱۲/۵۸	۱۶/۵۱	۷۸۲/۲۵	۰/۸۸	۷۱/۷۴
۳	N3	۱/۷۵	۶/۰۲	۲۷/۳۶	۱۰۳۴/۷۸	۱۲/۳۴	۷۰/۰۰
۴	N4	۲/۸۰	۹/۶۴	۸/۸۳	۳۴۶/۵۳	۱۵/۶۵	۷۰/۱۵
۵	N5	۹/۸۵	۱۳/۲۱	۲۴/۷۳	۱۰۴۲/۲۵	۲۰/۲۷	۷۰/۰۰
۶	N6	۶/۸۸	۱۳/۴۰	۲۴/۵۵	۱۱۴۹/۳۶	۲۷/۸۲	۷۰/۰۰
۷	T1	۳/۸۸	۱۳/۵۳	۳/۱۸	۱۹۱/۹۷	۱۶/۶۴	۶۷/۰۱
۸	T2	۸/۰۴	۱۴/۶۲	۱۲/۵۸	۷۳۸/۷۹	۲۸/۴۶	۶۷/۳۳
۹	T3	۴/۰۰	۱۰/۵۱	۱۰/۵۹	۵۸۷/۲۱	۳۱/۱۸	۶۳/۲۱
۱۰	T4	۳/۳۲	۸/۳۲	۱۷/۷۲	۱۳۲۰/۰۰	۱۸/۶۹	۷۰/۰۰
۱۱	T5	۳/۳۱	۹/۱۵	۱۹/۵۰	۱۴۱۲/۶۰	۱۸/۰۷	۷۰/۰۰
۱۲	J1	۴/۰۸	۱۵/۷۳	۳/۵۱	۲۰۹/۹۷	۴۸/۸۸	۶۸/۴۴
۱۳	J2	۳/۲۷	۱۱/۱۳	۲۰/۵۱	۱۰۱۱/۶۶	۲۵/۲۷	۷۰/۰۲
۱۴	J3	۲/۲۶	۱۲/۲۴	۱۸/۷۲	۸۰۲/۷۴	۲۱/۳۷	۷۰/۰۶
۱۵	J4	۶/۶۴	۱۴/۸۶	۲۰/۴۳	۱۲۶۰/۰۴	۲۷/۷۵	۷۰/۱۰
۱۶	J5	۴/۱۸	۱۱/۵۲	۲۸/۵۳	۱۵۵۱/۰۸	۱۱/۷۶	۷۰/۰۰
۱۷	J6	۴/۱۷	۹/۱۶	۲۸/۵۱	۱۷۰۰/۹۰	۱۹/۲۲	۷۰/۰۰
۱۸	J7	۱/۹۲	۶/۹۹	۳۲/۹۶	۱۹۸۶/۰۷	۷/۹۷	۷۰/۰۰
۱۹	J8	۵/۰۵	۱۱/۹۷	۳۳/۷۳	۲۰۱۱/۳۶	۱۱/۳۶	۷۰/۰۰
۲۰	J9	۱/۸۳	۶/۷۹	۳۵/۱۷	۲۱۹۵/۰۶	۱۰/۶۴	۷۰/۰۰
۲۱	J10	۶/۳۱	۱۰/۱۶	۳۲/۲۹	۲۳۸۳/۲۵	۱۳/۴۳	۷۰/۰۰
۲۲	J11	۳/۴۹	۸/۴۴	۳۲/۷۶	۲۳۸۶/۹۱	۱۰/۹۳	۷۰/۰۰
۲۳	J12	۱/۸۹	۵/۷۷	۲۸/۰۶	۱۲۸۰/۴۳	۹/۲۵	۷۰/۰۰
۲۴	J13	۷/۰۸	۱۱/۷۹	۳۳/۳۹	۲۰۴۲/۲۹	۱۸/۷۰	۷۰/۰۰
۲۵	J14	۳/۰۳	۷/۷۷	۳۲/۸۶	۱۷۷۵/۰۷	۱۰/۸۱	۷۰/۰۰
	حوضه	۱۰۹/۳۵	۴۹/۰۲	۲۲/۰۸	۱۲۶۱/۷۳	۹۶/۲۰	۶۹/۴۶

جدول ۲. بارش ۲۴ ساعته و بارش طرح ایستگاه تقی‌آباد در دوره بازگشت‌های مختلف

دوره بازگشت (سال)						
۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	
۱۱۹/۱۵	۱۰۶/۲۶	۹۳/۶۳	۷۷/۱۳	۶۴/۴۸	۴۶/۱۹	بارش ۲۴ ساعته (میلی‌متر)
۷۱/۲۵	۶۳/۶۵	۵۶/۲۸	۴۶/۸۹	۳۹/۵۴	۲۹/۱۲	بارش طرح (میلی‌متر)

جدول ۳. موقعیت و مشخصات سازه‌های حوضه جعفرآباد

ردیف	نام سازه	موقعیت جغرافیایی UTM		حجم مخزن در تراز سرریز (m <sup>3</sup> )	ارتفاع سرریز (m)	عرض سرریز (m)	ارتفاع کل (m)
		X	Y				
۱	Reservoir 1	۲۹۰۶۷۴	۴۰۸۲۶۷۱	۹۷۵۰۰	۱/۵	۱۰	۱۳
۲	Reservoir 2	۲۹۳۶۸۷	۴۰۷۹۴۶۴	۱۰۶۴۰۰	۱/۹	۸	۱۳
۳	Reservoir 3	۲۹۳۲۷۴	۴۰۸۱۴۹۴	۵۸۲۵۰	۱/۷	۶	۱۰
۴	Reservoir 4	۲۹۰۶۷۱	۴۰۸۱۱۰۱	۹۰۰۰۰	۱/۸	۷	۱۳

### روش کار و مدل‌سازی

در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب و اثر مخزن بر مشخصات سیلاب از مدل HEC-HMS نسخه ۳.۵ (USACE, 2000) استفاده گردید. شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز در این مدل توسط سه مؤلفه اساسی به نام‌های مدل حوضه، مدل هواشناسی و مشخصه‌های کنترل انجام می‌گیرد. داده‌های لازم جهت ساخت این مؤلفه‌ها در مدل شامل خواص فیزیکی حوضه آبریز، مؤلفه‌های هیدرولوژیکی موجود در مدل حوضه (محاسبات مربوط به تعیین میزان تلفات در حوضه، انتخاب روش تبدیل بارش مازاد به رواناب، مقدار جریان پایه و شبیه‌سازی جریان در کانال‌ها و مخازن و روندیابی آنها)، محاسبات تولید رواناب در زیر حوضه‌ها، تحلیل داده‌های هواشناسی توسط مدل هواشناسی و کنترل محدوده زمانی شبیه‌سازی است.

از بین روش‌های مختلف محاسبه تلفات در مدل، از روش SCS-CN استفاده گردید. در این پژوهش ۲۰ درصد حداکثر نگهداشت به عنوان تلفات اولیه منظور شد (نورعلی قاضی‌محله و همکاران، ۱۳۸۷). همچنین رواناب مستقیم حوضه با استفاده از روش هیدروگراف واحد SCS شبیه‌سازی گردید. با توجه به سیلابی بودن رودخانه

و بر اساس داده‌های ایستگاه آب‌سنجی، جریان پایه وجود نداشته و لذا در مدل لحاظ نشد. همچنین به دلیل کمبود ایستگاه‌های هواشناسی درون حوضه و فاصله ایستگاه‌های بیرون حوضه از آن، با این فرض که مقدار بارش در کل مساحت حوضه ثابت و یکنواخت باشد، اطلاعات بارش (با در نظر گرفتن توزیع زمانی بارش به روش Storm SCS) به مدل وارد شد. به منظور واسنجی و صحت-سنجی مدل، پس از بررسی هیدروگراف سیل‌های مشاهده شده و داده‌های باران‌سنجی متناظر آن، رویدادهای مناسب انتخاب گردید. برای این منظور حداقل به دو واقعه نیاز بود به طوری که پارامترهای مدل با یک واقعه واسنجی گردد و بر اساس مدل واسنجی شده، اعتباریابی مدل از طریق واقعه دوم با پارامترهای بهینه شده انجام شود. جهت بررسی تغییرات بین هیدروگراف‌های مشاهده شده و محاسبه شده از تابع هدف حداقل‌سازی مجموع مربعات باقیمانده استفاده گردید. واسنجی مدل با استفاده از پارامتر شماره منحنی (CN) صورت گرفت. وقایع مورد استفاده جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل در جدول ۴ ارائه شده است.

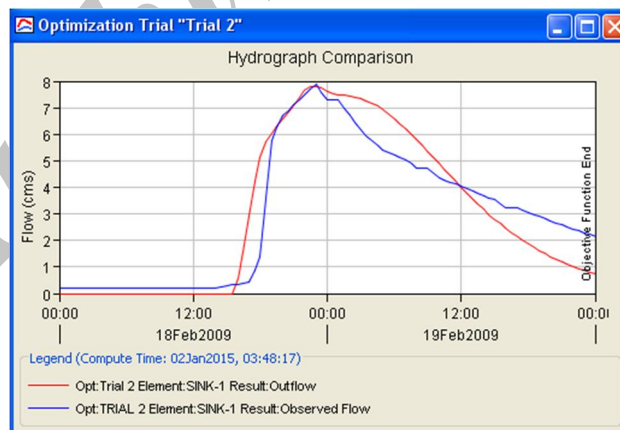
فرآیند واسنجی مدل به نحوی انجام شد که تغییر پارامتر شماره منحنی در همه زیرحوضه‌ها یکسان باشد

شده بود که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. روندیابی مخزن با استفاده از روش مخزن خطی (Level Pool) صورت گرفت. برای این منظور، با استفاده از پارامتر CN بهینه شده، مدل تحت چهار سناریو شامل ۱- بدون وجود مخازن تاخیری (شرایط موجود)، ۲- با وجود مخازن تاخیری و خالی بودن آنها، ۳- با وجود مخازن تاخیری و نیمه پر بودن آنها (۵۰ درصد ظرفیت مخزن خالی باشد) و ۴- با وجود مخازن تاخیری کاملاً پر (تا تراز سرریز) و برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال اجرا شد. بر این اساس، مدل در هر یک از سناریوها و برای هر یک از دوره بازگشت‌ها به صورت جداگانه اجرا (مجموعاً ۲۴ بار) و مشخصات سیلاب خروجی از مخزن و حوضه استخراج گردید.

(گزینه Curve Number Scale Factor). بر این اساس، شماره منحنی همه زیرحوضه‌ها با ضریب ۹۶/۰۴ توسط مدل بهینه گردید (معادل ۳/۹۶ درصد کاهش شماره منحنی همه زیرحوضه‌ها نسبت به مقدار اولیه آن مطابق جدول ۱). هیدروگراف سیلاب شبیه‌سازی شده در فرآیند بهینه‌سازی (واسنجی) مدل و واقعه متناظر آن در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین مشخصات سیلاب شبیه‌سازی شده و واقعی در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که فرآیند بارش-رواناب در حوضه مورد مطالعه می‌تواند به خوبی توسط مدل HEC-HMS شبیه‌سازی گردد. توانایی مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب توسط نشاط و صدقی (۱۳۸۵)، ثقفیان و همکاران (۱۳۸۵)، سلطانی و همکاران (۱۳۹۰) و رزمخواه و همکاران (۱۳۹۲) گزارش

جدول ۴. وقایع مورد استفاده جهت واسنجی و صحت سنجی مدل

ردیف	تاریخ واقعه (شمسی)	تاریخ واقعه (میلادی)	نوع استفاده
۱	۲۰ بهمن ۱۳۸۷	۱۸ فوریه ۲۰۰۹	واسنجی
۲	۳ اسفند لغایت ۵ اسفند ۱۳۸۳	۲۱ لغایت ۲۳ فوریه ۲۰۰۵	صحت‌سنجی



شکل ۲. هیدروگراف سیلاب شبیه‌سازی شده و واقعی در فرآیند واسنجی مدل

جدول ۵. مقادیر دبی و حجم سیلاب شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در فرآیند واسنجی مدل

شاخص	واحد	شبیه‌سازی شده	مشاهده شده	میزان اختلاف	درصد اختلاف
حجم سیلاب	هزار مترمکعب	۴۸۵۰	۴۸۱۰	۴۰	۰/۸۹
دبی سیلاب	مترمکعب بر ثانیه	۷/۸	۷/۹	-۰/۱	-۰/۸
زمان دبی اوج	-	۲۳:۰۰	۲۳:۰۰	۰	۰

طرفه (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم-افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. برای این منظور هر سناریو به عنوان یک تیمار و هر دوره بازگشت به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. بنابراین آزمون تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۶ تکرار صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

اثر احداث مخازن تأخیری بر حجم سیلاب، دبی اوج و زمان وقوع دبی اوج در خروجی حوضه جعفرآباد تحت سناریوها و دوره بازگشت‌های مختلف در جدول ۶ و درصد تغییرات این پارامترها تحت سناریوهای مختلف نسبت به وضع موجود (عدم وجود مخزن) در جدول ۷ و شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین نتایج تجزیه واریانس اثر مخزن بر دبی اوج و حجم سیلاب خروجی از حوضه در جدول شماره ۸ ارائه شده است. نتایج نشان داد که احداث مخازن تأخیری در حوضه جعفرآباد بر کاهش دبی پیک و حجم سیلاب تأثیر داشت (جدول ۶ و ۷) اما این تأثیر از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۸).

### نحوه تحلیل نتایج و شاخص بررسی اثر مخزن

به منظور بررسی اثر مخزن بر سیلاب خروجی از حوضه، اثر مخزن بر حجم و دبی اوج سیلاب و زمان رسیدن به دبی اوج در خروجی حوضه در دوره بازگشت-های مختلف در سناریوهای ۲ تا ۴ (سناریوهای وجود مخزن) با سناریو ۱ (وضع موجود) مقایسه گردید. همچنین به منظور بررسی کارایی مخازن در کنترل سیلاب علاوه بر مقایسه میزان دبی ورودی و خروجی از مخزن در دوره بازگشت‌ها و سناریوهای مختلف، از دو شاخص نرخ تضعیف سیلاب (Flood Attenuation Ratio or FAR) و نسبت ذخیره (Storage Ratio or SR) استفاده گردید. شاخص FAR به صورت نسبت دبی کاهش حداکثر دبی ورودی و خروجی از مخزن به دبی اوج ورودی به مخزن تعریف گردید. شاخص SR نیز از حاصل تقسیم حجم سیلاب ذخیره شده در مخزن به حجم کل سیلاب ورودی به مخزن محاسبه شد. بدیهی است که هر چه این شاخص‌ها بیشتر باشند، نشان می‌دهد که مخزن از کارایی بیشتری در کنترل سیلاب برخوردار بوده است.

به منظور تحلیل آماری اثر مخزن بر دبی اوج و حجم سیلاب خروجی از حوضه، آزمون تجزیه واریانس یک

جدول ۶. حجم، دبی اوج و زمان وقوع دبی اوج سیلاب در خروجی حوضه تحت سناریوها و دوره بازگشت‌های مختلف

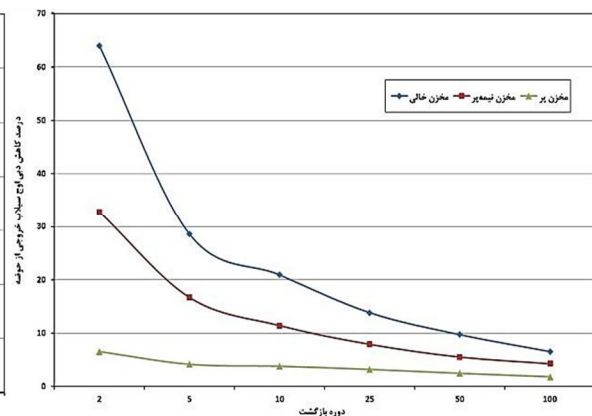
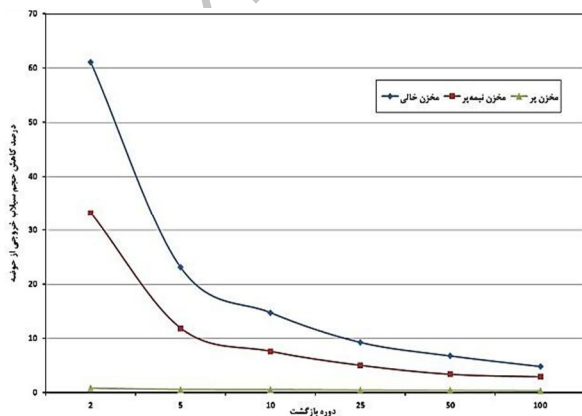
دوره بازگشت	حجم سیلاب خروجی از حوضه (هزار مترمکعب)			دبی اوج سیلاب در خروجی حوضه (مترمکعب بر ثانیه)			زمان وقوع دبی اوج سیلاب		
	وضع موجود	مخزن خالی	مخزن نیمه پر	وضع موجود	مخزن خالی	مخزن نیمه پر	مخزن خالی	مخزن نیمه پر	مخزن پر
۲	۴۰۴/۶	۱۵۷/۴	۲۷۰/۱	۶/۱	۲/۲	۴/۱	۲۲:۳۰	۰۷:۰۰	۰۵:۳۰
۵	۱۱۲۲/۹	۸۶۳/۸	۹۸۹/۵	۱۶/۸	۱۲/۰	۱۴/۰	۲۲:۳۰	۰۴:۳۰	۲۳:۳۰
۱۰	۱۷۶۵/۸	۱۵۰۵/۶	۱۶۳۱/۴	۲۶/۳	۲۰/۸	۲۳/۳	۲۲:۳۰	۰۳:۰۰	۲۳:۳۰
۲۵	۲۷۴۱/۲	۲۴۸۷/۵	۲۶۰۳/۴	۴۰/۵	۳۴/۹	۳۷/۳	۲۲:۳۰	۲۳:۳۰	۲۳:۳۰
۵۰	۳۵۷۲/۱	۳۳۳۰/۵	۳۴۵۱/۹	۵۲/۵	۴۷/۴	۴۹/۶	۲۲:۳۰	۲۳:۰۰	۲۳:۳۰
۱۰۰	۴۴۷۹/۷	۴۲۶۴/۳	۴۳۴۹/۵	۶۵/۶	۶۱/۳	۶۲/۸	۲۲:۳۰	۲۳:۰۰	۲۳:۳۰

با پژوهش سلطانی و همکاران (۱۳۹۰) که اظهار داشتند با افزایش دوره بازگشت از ۲ به ۱۰۰ سال، درصد کاهش دبی اوج از ۱۴/۱۴ به ۶/۹۵ کاهش می‌یابد همخوانی دارد. چنین امری با کاهش حجم خالی مخزن (به ترتیب از سناریوی ۲ به ۴) نیز مشاهده گردید. به عبارت دیگر، بیشترین تاثیر مخازن بر مشخصات سیلاب خروجی از حوضه در شرایطی حاصل شد که مخزن کاملاً خالی بود. نتایج پژوهش Lopez-Moreno و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که وقتی سطح آب درون مخزن از ۵۰ درصد پایین‌تر بود، کنترل سیلاب به خوبی صورت گرفت ولی وقتی بین ۵۰ تا ۷۰ درصد بود، سودمندی مخزن کاهش یافت.

احداث مخازن موجب به تأخیر افتادن زمان وقوع دبی پیک در خروجی حوضه گردید. نتایج این تحقیق با نتایج Horn (۱۹۸۷)، Lee و همکاران (۲۰۰۱)، Lopez-Moreno و همکاران (۲۰۰۲) و سلطانی (۱۳۹۰) همخوانی دارد. بر اساس نتایج، سودمندی مخازن تأخیری بر کاهش حجم سیلاب و دبی اوج و به تأخیر انداختن زمان وقوع دبی اوج با افزایش دوره بازگشت کاهش یافت و بیشترین تاثیر در دوره بازگشت‌های پایین مشاهده شد. در این راستا، Lee و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که با افزایش دوره بازگشت از ۱۰ به ۱۰۰ سال، نرخ تضعیف سیلاب از ۱۷ به ۱۱ درصد کاهش یافت. نتایج این تحقیق

جدول ۷. درصد تغییر در حجم و دبی اوج سیلاب و تاخیر در زمان وقوع دبی اوج در دوره بازگشت‌های مختلف نسبت به شرایط عدم وجود مخازن در حوضه

دوره بازگشت	درصد کاهش حجم سیلاب خروجی			درصد کاهش دبی اوج سیلاب در خروجی حوضه			میزان تاخیر زمان وقوع دبی اوج سیلاب (دقیقه)		
	مخزن خالی	مخزن نیمه پر	مخزن پر	مخزن خالی	مخزن نیمه پر	مخزن پر	مخزن خالی	مخزن نیمه پر	مخزن پر
۲	۶۱/۰۸	۳۳/۲۴	۰/۸۱	۶۳/۹۳	۳۲/۷۹	۶/۵۶	۵۱۰	۴۲۰	۶۰
۵	۲۳/۰۸	۱۱/۸۸	۰/۵۸	۲۸/۵۷	۱۶/۶۷	۴/۱۷	۳۶۰	۶۰	۳۰
۱۰	۱۴/۷۴	۷/۶۲	۰/۵۶	۲۰/۹۱	۱۱/۴۱	۳/۸۰	۲۷۰	۶۰	۳۰
۲۵	۹/۲۵	۵/۰۳	۰/۴۸	۱۳/۸۳	۷/۹۰	۳/۲۱	۶۰	۳۰	۰
۵۰	۶/۷۶	۳/۳۷	۰/۴۳	۹/۷۱	۵/۵۲	۲/۴۸	۳۰	۳۰	۰
۱۰۰	۴/۸۱	۲/۹۰	۰/۳۴	۶/۵۵	۴/۲۷	۱/۸۳	۳۰	۳۰	۰



شکل ۳. درصد کاهش حجم (راست) و دبی اوج سیلاب (چپ) در خروجی حوضه نسبت به شرایط موجود



جدول ۸. نتایج تجزیه واریانس اثر مخزن بر حجم و دبی اوج سیلاب خروجی از حوضه<sup>۱</sup>

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		دبی اوج	حجم سیلاب
تیمار	۳	۲۷/۶ <sup>ns</sup>	۶/۸ <sup>ns</sup>
خطا	۲۰	۴۹۵/۵	۱۹۸/۳

علامت \*، \*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب نشان دهنده وجود اثر معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم وجود اثر معنی‌دار بر اساس آزمون F می‌باشد.  
<sup>۱</sup> با توجه به عدم وجود اثر معنی‌دار بر اساس نتایج تجزیه واریانس، نتایج مقایسه میانگین‌ها ارائه نشده است.

مقادیر سیلاب ورودی و خروجی از مخازن و شاخص‌های کارایی مخازن برای سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال در جدول ۹ ارائه شده است. لازم به ذکر است که با توجه به این که عموماً هدف از احداث مخازن تأخیری در سطح حوضه‌های آبخیز، کنترل سیلاب با دوره بازگشت‌های تا ۲۵ سال و حداکثر ۵۰ سال می‌باشد، فقط نتایج مربوط به این دوره بازگشت ارائه شده است. نتایج نشان داد که حداکثر مقدار نرخ تضعیف سیلاب برای چهار مخزن تأخیری مورد مطالعه در شرایط خالی، نیمه پر و کاملاً پر به ترتیب حداکثر تا ۲۶، ۱۹ و ۷ درصد می‌باشد. در بین مخازن مورد مطالعه مخزن شماره ۲ هیچ اثری بر دبی اوج سیلاب نداشت (نرخ تضعیف سیلاب معادل صفر) که علت آن بالا بودن دبی و حجم سیلاب ورودی نسبت به حجم مخزن است به طوری که نسبت حجم سیلاب ورودی به حجم مخزن خالی بیش از ۱۶

برابر است. این در حالی است که سه مخزن دیگر، به ویژه مخزن یک و سه، موجب تخفیف و تضعیف دبی اوج ورودی به مخزن گردیدند. از نظر نسبت ذخیره نیز این دو مخزن از عملکرد و کارایی بهتری برخوردار بودند. نکته قابل توجه آن که با توجه به برابری تقریبی مخازن شماره ۳ و ۴ از نقطه نظر نسبت حجم سیلاب ورودی به حجم مخزن خالی و علی‌رغم کمتر بودن حجم و بیشتر بودن دبی اوج ورودی به مخزن ۳ نسبت به مخزن ۴، نسبت ذخیره و نرخ تضعیف سیلاب در مخزن ۳ به مراتب بیشتر از مخزن ۴ بود که این موضوع نشان دهنده اثر مشخصات ژئومتری مخزن و سرریز بر کارایی مخزن و اهمیت بیشتر این پارامترها نسبت به حجم کمی مخزن است که باید به عنوان یک اصل کاربردی مهم مورد توجه طراحان قرار گیرد.

جدول ۹. سیلاب ورودی و خروجی از مخازن و مقادیر شاخص‌های کارایی مخازن برای سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال

شماره مخزن	حجم سیلاب ورودی به مخزن	دبی خروجی از مخزن (مترمکعب بر ثانیه)	حجم سیلاب خروجی از مخزن (هزار مترمکعب)			نرخ تضعیف سیلاب			نسبت ذخیره						
			مخزن خالی	مخزن نیمه پر	مخزن کاملاً پر	مخزن خالی	مخزن نیمه پر	مخزن کاملاً پر							
۱	۹۷/۵	۲۹/۳	۱۰۱۴/۷	۱۰/۴۱	۲۱/۹	۲۸/۲	۲۸/۹	۹۸۲/۹	۹۰۲/۲	۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۰
۲	۱۰۶/۴	۳۹/۴	۱۷۴۹/۲	۱۶/۴۴	۳۹/۴	۳۹/۴	۳۹/۴	۱۶۷۵/۷	۱۶۷۵/۶	۱۷۴۳/۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰
۳	۵۸/۳	۲۷/۰	۲۸۵/۵	۴/۹۰	۲۰/۱	۲۲/۰	۲۶/۱	۲۳۶/۰	۲۴۵/۱	۲۸۵/۵	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۰۰
۴	۹۰/۰	۲۲/۸	۵۶۷/۷	۶/۳۱	۲۰/۵	۲۰/۹	۲۱/۲	۵۳۸/۹	۵۱۹/۷	۵۶۵/۶	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۰

### نتیجه‌گیری

دبی اوج سیلاب خروجی از حوضه نیز تحت این شرایط به ترتیب بین ۳۰ تا ۵۱۰، ۳۰ تا ۴۲۰ و صفر تا ۶۰ دقیقه به تاخیر افتاد. حداکثر نرخ تضعیف دبی اوج سیلاب برای مخزن خالی، نیمه‌پر و پر به ترتیب ۲۶، ۱۹ و ۷ درصد و حداکثر نسبت ذخیره برای مخزن خالی و نیمه‌پر به ترتیب ۱۴ و ۵ درصد بود که نشان دهنده کارایی مخازن در کنترل سیلاب است. بررسی عملکرد مخازن نشان داد که کارایی مخزن در کنترل سیلاب تنها به حجم مخزن بستگی ندارد بلکه مشخصات ژئومتری مخزن و سرریز نیز بر آن تأثیرگذار است.

نتایج نشان داد که در دوره بازگشت‌های مختلف، مخازن تأخیری می‌توانند بر کاهش دبی پیک و حجم سیلاب خروجی از حوضه تأثیر داشت اما این تأثیر از نظر آماری معنی‌دار نبود. مخازن تأخیری توانستند در شرایط خالی، نیمه‌پر و پر بودن مخزن، حجم سیلاب خروجی از حوضه را به ترتیب بین ۴/۸ تا ۶۱/۱، ۲/۹ تا ۳۳/۲ و ۰/۳ تا ۰/۸ درصد نسبت به شرایط موجود (عدم وجود مخزن) کاهش دهند. میزان این کاهش برای پارامتر دبی اوج سیلاب خروجی از حوضه به ترتیب بین ۶/۶ تا ۶۳/۹، ۴/۳ تا ۳۲/۸ و ۱/۸ تا ۶/۶ درصد بود. همچنین زمان وقوع

### فهرست منابع

- ثقفیان، ب.، ح. فرازجو، ع. سپهری و ع. نجفی‌نژاد، ۱۳۸۵. بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوزه آبریز سد گلستان. تحقیقات منابع آب ایران، ۲(۱): ۲۸-۱۸.
- خزائی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی یک حوضه آبریز کوهستانی در ایران. حفاظت منابع آب و خاک، ۵(۳): ۵۴-۴۳.
- دبیری، س.س.، م. صوفی و ن. طالب‌بیدختی، ۱۳۹۳. بررسی تأثیر کمی سدهای اصلاحی بر زمان تمرکز حوضه (مطالعه موردی: شهرستان‌های اقلید، مرودشت و ممسنی، استان فارس). نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، ۲(۴): ۴۶-۳۹.
- رزمخواه، ه.، ع.م. آخوندعلی، ب. ثقفیان و ف. رادمش، ۱۳۹۲. مقایسه کارایی روش‌های برآورد تلفات در شبیه‌سازی فرآیند بارش رواناب حوضه‌ی آبخیز کارون ۳. مجله‌ی مهندسی منابع آب، ۶(۱۹): ۳۵-۱۷.
- سلطانی، م.، م.ر. اختصاصی، ع. طالبی، م.ج. پوراغنیایی و ع.ر. سرسنگی، ۱۳۹۰. اثر احداث سدهای اصلاحی بر کاهش دبی اوج سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز منشاد یزد). پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۹۳: ۵۴-۴۶.
- ضیایی، ح.ا.، ۱۳۸۹. اصول مهندسی آبخیزداری. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ سوم، ۵۴۸ ص.
- علیزاده، ا.، ۱۳۷۷. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ دهم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۶۳۴ ص.
- فرج‌زاده، ج.، ف. بهادری و م. ارحمی، ۱۳۸۵. شبیه‌سازی سیلاب حوضه‌های آبریز و روندیابی در مخزن سد با استفاده از مدل ریاضی HEC-HMS و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی در حوضه آبریز اهرچای). هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران ([http://www.civilica.com/Paper-ICCE07-ICCE07\\_181.html](http://www.civilica.com/Paper-ICCE07-ICCE07_181.html)).
- کاویان، ع.ا.، م.ا. محمدی و ع. آزموده. ۱۳۹۳. اثرات احداث سدهای اصلاحی بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبخیز محمد آباد ساری. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۴(۳۵): ۲۳۰-۲۱۳.
- کبیر، آ.، ع. نجفی‌نژاد، ی. همت‌زاده، و م. کورکی‌نژاد، ۱۳۸۶. بررسی احداث سدهای اصلاحی بر روی زمان تمرکز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودبار- قشلاق، استان گلستان)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۴: ۱-۸.
- مصطفی‌زاده، ر.، ۱۳۸۷. شبیه‌سازی تأثیرات هیدرولوژیکی سازه‌های اصلاحی به منظور ارزیابی سناریوهای سازه‌های کنترل سیل در آبخیز جعفرآباد استان گلستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

مصطفی‌زاده، ر.، ا. سعدالدین، ع.ر. بهرهمند، و. شیخ و ح. نظرنژاد، ۱۳۸۸. ارزیابی اثرات هیدرولوژیک طرح آبخیزداری جعفرآباد استان گلستان با استفاده از مدل HEC-HMS. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و انجمن آبخیزداری ایران ([http://www.civilica.com/Paper-WATERSHED05-WATERSHED05\\_295.html](http://www.civilica.com/Paper-WATERSHED05-WATERSHED05_295.html)).

نشاط، ع. و ح. صدقی، ۱۳۸۵. برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک (SCS) و مدل HEC-HMS در حوضه آبخیز باغ ملک استان خوزستان. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، ۱۲(۴): ۷۸۷-۷۹۸.

نورعلی قاضی‌محله، م.، ع. نجفی‌نژاد و ن. نورا، ۱۳۸۷. بررسی عملکرد سازه چند منظوره نوکنده استان گلستان در کنترل سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(۱) (ویژه نامه منابع طبیعی - پیاپی ۶۳): ۱۱۹-۱۳۰.

Christopher, A.J. and Yung, A.C. 2001. The Use of HEC-GeoHMS and HEC-HMS to Perform Grid-based Hydrologic Analysis of a Watershed.

Graf, W.L. 2006. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, 79(3-4): 336-360.

Gul, G.O., Harmancioglu, N. and Gul, A. 2010. A combined hydrologic and hydraulic modeling approach for testing efficiency of structural flood control measures. *Natural Hazards*, 54: 245-260.

Horn, D.R. 1987. Graphic estimation of peak flow reduction in reservoirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 113(11): 1441-1450 (Permalink: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1987\)113:11\(1441\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1987)113:11(1441))).

Lee, K.T., Chang, C.H., Yang, M.S. and Yu, W.S. 2001. Reservoir attenuation of floods from ungauged basins. *Hydrological Sciences Journal*, 46(3): 349-362.

Lopez-Moreno, J.I., Begueria, S. and Garcia-Ruiz, J.M. 2002. Influence of the Yesa reservoir on floods of the Aragon River, central Spanish Pyrenees. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(4): 753-762.

Magilligan, F.J. and Nislow, K.H. 2005. Changes in hydrologic regime by dams, *Geomorphology* 71:61-78.

Roshani, R. 2003. Evaluating the effect of check dams on flood peaks to optimize the flood control measures (Kancace study in Iran). M.Sc. thesis, Interactional institute for geo-information science and earth observation, ENSCHEDE, the Netherlands, 54 pp.

Schwab, G.O. 1993. Soil and water conservation engineering. 4<sup>th</sup> ed, New York: Wiley, 507 p.

Shokoohi, A.R. 2007. Assessment of urban basin flood control measures using hydrogis tools. *Journal of Applied Science*, 7(13): 1726-1733.

Sobhani, G. 1976. A review of selected watershed design methods for possible adoption to Iranian conditions. MS thesis (Watershed Science), Utah State University, Logan, UT, 148 pp.

USACE. 2000, HEC-HMS Technical Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 187 pp.

Yoshikawa, N., Nagao, N. and Misawa, S. 2010. Evaluation of the flood mitigation effect of a Paddy Field Dam project. *Agricultural Water Management*, 97(2): 259 -270.



ISSN 2251-7480

## Investigation of performance indices and the rule of detention reservoir on flood control (case study: Jafarabad watershed in Golestan province)

Kami Kaboosi<sup>1\*</sup> and Reza Jelini<sup>2</sup>

1\*) Department of Water Engineering, Gorgan branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

2) Department of Civil Engineering, Marvdasht branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

\*Corresponding Author: [kkaboosi@yahoo.com](mailto:kkaboosi@yahoo.com)

Received: 23-11-2015

Accepted: 21-04-2016

### Abstract

In order to investigate the effect of detention reservoirs on flood in Jafar Abad basin, Golestan province, Iran, the precipitation-run off process as well as reservoir routing were simulated by HEC-HMS Software. The model was run under four different scenarios (without reservoir, with reservoir, half-full, and full) and for different return periods from 2 to 100 years. The statistical analysis of the results was done based on one-way analysis of variance. To study the effect of reservoirs, two indices including the Flood Attenuation Rate (FAR) and Storage Ratio (SR) were used. The results indicated that construction of detention reservoirs leads to postponing the incidence of the peak discharge and decreased peak discharge along with the volume of the flood leaving the reservoir, but these decreases were not significant. The influence of the reservoir diminished with the prolongation of the return period. The maximum levels of flood volume reduction for the empty, half-full, and full reservoirs were 61.1, 33.2, and 0.8%, respectively, and for the peak discharge were 63.9, 32.8, and 6.6%, respectively. The maximum value of FAR for the reservoirs under empty, half-full, and full conditions were 26, 19, and 7%, respectively. Similarly, the maximum SRs for the empty and half-full reservoirs were 14 and 5, respectively that showed the efficiency of reservoirs in controlling flood. The results demonstrated that the efficiency of reservoirs in flood control is not merely dependent on the reservoir volume and the amount of flood.

**Keywords:** detention reservoir, flood attenuation rate, HEC-HMS, storage ratio