مجله علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال پنجم- شماره ۱۵- تابستان ۱۳۹۰ Vol. 5, No. 15, Summer 2011

ارزیابی روش‌های تعیین اولویت زمانی احداث سدهای تأخیری در حوزه آبخیز تجریش

محمد ابراهیم بنی حبیب[۱]، طاهر علمی[۲] و آذر عربی[۳]

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۰/۰٤/۱۹

چکیده

تعیین اولویت‌بندی زمانی احداث سدهای تأخیری، برای انتخاب روش بهینه زمان‌بندی اجرای این سازه‌ها اهمیت دارد. مهار سیلاب حوزه آبخیز تجریش به علت مشرف بودن به شهر پر جمعیت تهران، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و ضروری است برای بررسی اثر الویت‌بندی زمانی سازه‌های مهار سیلاب، شاخص‌های الویت‌بندی زمانی آن‌ها ارزیابی گردد. به این منظور سیلاب این حوزه آبخیز با استفاده از نرم‌افزارHEC-HMS، شبیه‌سازی شده و براساس داده‌های بارش و سیلاب ثبت شده، واسنجی آن انجام گردیده است. در این پژوهش براساس توصیه استاندارد آب ایران، از سیلاب با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله جهت بهینه‌سازی ابعاد خروجی‌های سدهای تأخیری استفاده شده است. شاخص‌های مساحت، بده اوج، بده ویژه، درصد کاهش بده اوج سیلاب حوزه در اثر حذف رواناب یک زیرحوزه (F_I)، کاهش بده اوج ویژه سیلاب حوزه در اثر حذف رواناب یک زیرحوزه (f_i)، درصد کاهش بده اوج سیلاب حوزه در اثر عملکرد سد تأخیری در یک زیر حوزه (F_m)، کاهش بده اوج ویژه سیلاب حوزه در اثر عملکرد سدهای تأخیری در یک زیر حوزه (f_m)، هزینه یک واحد کاهش بده اوج سیلاب (ΔQ_C) و هزینه کل اجرا، برای تعیین اولویت‌بندی زمانی احداث سدهای تأخیری استفاده شده که از بین آنها f_m، F_m و ΔQ_C شاخص‌های جدید تعریف شده در این پژوهش هستند. با استفاده از هر یک از این شاخص‌ها، اولویت‌بندی زمانی احداث سدهای تأخیری تعیین شده و برای تعیین ارجحیت هر یک از این شاخص‌ها، از شاخص هزینه یک واحد کاهش بده اوج سیلاب به عنوان شاخص اصلی استفاده گردید. نتایج نشان داد که شاخص f_m با دارا بودن حداقل مجموع قدرمطلق اختلاف الویت‌های این شاخص با الویت‌های شاخص اصلی (ΔQ_C)، بهترین شاخص و شاخص هزینه با بالاترین مقدار مجموع اختلاف یاد شده(PIM_C) نامناسب‌ترین شاخص است. مقدار PIM_C برای دو شاخص یاد شده به ترتیب ٦ و ۸۰ می‌باشد.

کلمات کلیدی: شاخص تعیین اولویت‌بندی زمانی، شاخص اقتصادی، سدهای تأخیری، سیلاب شهری، مهار سیلاب و سیلاب تجریش.

مقدمه

سالانه هزینه قابل توجهی برای مقابله با خطرات سیلاب در سراسر جهان هزینه می‌شود. روش‌های مختلفی برای مهار سیلاب وجود دارد که انتخاب هر روش یا ترکیبی از روش‌ها بستگی به شرایط محلی طرح، اهمیت مناطق تحت حفاظت و شرایط اقتصادی کشور دارد.

یکی از روش‌های مهار سیلاب، احداث سدهای تأخیری[4] می‌باشد که احداث آن‌ها تأثیر مستقیم روی سیلاب گذاشته و باعث تخفیف بده اوج سیلاب در پایین‌دست ساختگاهشان می‌گردد[۱]. سدهای تأخیری با نگهداری موقتی بخشی از سیلاب، بده اوج سیلاب را به سرعت کاهش داده و در زمان رخداد بده اوج سیلاب، تأخیر ایجاد می‌نمایند. مخازن سدهای تأخیری دو تفاوت عمده با مخازن سدهای ذخیره‌ای دارند. نخست، به طور معمول خروجی‌های مخازن سدهای تأخیری با شیر یا دریچه تنظیم نمی‌شوند، درصورتی‌که بده خروجی مخازن ذخیره‌ای توسط دریچه و یا شیر تنظیم می‌شوند. دوم، مخازن تأخیری فقط برای مهار سیلاب به کار می‌روند. این در حالی است که مخازن ذخیره‌ای به طور معمول کاربرد چند منظوره دارند. از محاسن سدهای تأخیری می‌توان به نکات ذیل اشاره نمود: با ایجاد سدهای تأخیری، تسکین سیلاب در کلیه نقاط پایین‌دست آن خواهد بود. در حالی که استفاده از روش‌هایی نظیر گوره‌ها و اصلاح مسیر در مقاطع رودخانه، در محدوده خاصی سیلاب را مهار می‌نماید[۱].

توسعه بی‌رویه شهرها و روستاها در سطح حوزه‌های آبخیز و یا حاشیه رودخانه‌ها و مسیل‌ها یکی از مهمترین علل افزایش خسارت سیلاب می‌باشد. این در حالی است که محدودیت بودجه، موجب می‌شود طرح کامل مهار سیلاب یک حوزه آبخیز چندین سال طول

۱- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران-نویسنده مسئول، Email:Banihabib@ut.ac.ir .
۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران.
۳- محقق مؤسسه تحقیقاتی مطالعاتی رایان آب نوآور.

4- Detention Dams

بکشد. لذا ضروری است که شاخص‌های اولویت‌بندی زمانی احداث این سازه‌ها بررسی شده و مناسب‌ترین شاخص در طرح‌های مهار سیلاب معرفی گردد.

مانیرول و کمیترو [۷] با استفاده از سنجش از دور نقشه اولویت‌بندی نواحی سیل‌خیز بنگلادش را ارائه نمودند. این پژوهشگران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA و سامانه اطلاعات جغرافیایی به بررسی سیلاب سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۵ و ۱۹۹۸ و تهیه نقشه اولویت‌بندی توسعه اراضی در بنگلادش پرداختند. آکان و ادوارد [۹] طرحی را برای اولویت‌بندی سریع سدهای تأخیری مهار سیلاب ارائه دادند. این طرح مبتنی بر مطالعه روندیابی مخزن، معادله ذخیره هیدرولوژیکی و رابطه بارکف برای ارزیابی فرسایش کانال می‌باشد. در این روش همه معادلات در فرم بی‌بعد نوشته شده و راه حل‌ها برحسب مجموعه‌ای از پارامترهای بی‌بعد ارائه گردیده‌اند. هورن [٤] در ایالت نیوجرسی[1] آمریکا روشی را برای اولویت‌بندی طراحی پروژه‌های مهار سیلاب ارائه داده است. برای این منظور، او از داده‌های خسارت سیلاب‌های رخداده، پتانسیل سیلاب، مشخصات طرح‌ها و فعالیت‌های مهار سیلاب طرح استفاده کرد. برای تعیین اولویت طرح‌های مهار سیلاب در زیر حوزه‌ها، ترکیبی از شاخص‌های مورد نیاز طراحی سازه‌های مهار سیلاب به علاوه یک سامانه اولویت‌بندی و وزن‌دهی متغیرها، مورد استفاده قرار گرفته است. در پایان به این نتیجه رسیده است که با ایجاد یک مکانیسم غربال مناسب می‌توان فهرست تا حدودی مناسب از عوامل طراحی را برای اولویت‌بندی احداث طرح‌های مهار سیلاب تهیه نمود. طی پژوهش دیگر هانگ و همکاران [٥] تأثیر افزایش سطح نفوذناپذیری یک حوزه آبخیز (افزایش سطح شهری) بر روی عوامل آبنگار و بده اوج سیلاب را بررسی نمودند. در این پژوهش از داده‌های بارش–رواناب استفاده شده تا هم مدل را واسنجی نماید و هم رابطهء بین سطح نفوذناپذیر و پارامترهای واسنجی شده را تعیین نماید. در این مدل از یک آبنگار برای واسنجی و یک آبنگار برای صحت‌یابی استفاده گردیده است. نتایج نشان داد که زمان رسیدن به بده اوج آبنگار از ۱۱ ساعت به ٦ ساعت کاهش یافته است. همچنین بده اوج آبنگار از ۱۲۷ مترمکعب برثانیه به ٦۲۹ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافته است. لرات و همکاران [٦] طی پژوهشی با استفاده از یک مدل یکپارچه‌ی[2] زوجی[3] شامل یک مدل بارش–رواناب و یک مدل هیدرولیکی، سیلاب حوزه رودخانه الینوز[4] را شبیه‌سازی نمودند. مدل بارش–رواناب به کار رفته در این پژوهش جریان ورودی برای مدل هیدرولیکی را تأمین می‌نمود. در مدل بارش–رواناب به کار رفته از داده‌های سیلاب ۱۰ ساله با فاصله زمانی یک ساعته استفاده شده است. این مدل در دو نقطه از مسیر واسنجی گردید. خطای شبیه‌سازی سیلاب هم بر روی شاخه اصلی و هم بر روی شاخه فرعی حوزه مورد مطالعه بررسی شده و نتایج بررسی نشان داد که این شبیه‌سازی سیلاب در شاخه اصلی در مقایسه با شاخه فرعی، از دقت کمتری برخوردار می‌باشد.

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان داد که واسنجی و شبیه‌سازی سیلاب حوزه‌ها به منظور دستیابی به اهداف مختلفی صورت گرفته است که گاهی واسنجی آن‌ها با تعداد محدود آبنگار صورت گرفته است. همچنین از روش‌های مختلفی به منظور اولویت‌بندی سدهای تأخیری و تهیه نقشه‌های اولویت‌بندی استفاده گردیده است. ولی در پژوهش‌های پیشین، شاخص مناسبی که بتواند با توجه به هزینه‌های مهار سیلاب، اولویت‌بندی زمانی احداث سازه‌های مهار سیلاب را انجام دهد، پیشنهاد نگردیده است. همچنین در مورد انتخاب شاخص‌های اولویت‌بندی هیچ پیشنهادی صورت نگرفته و برتری آن‌ها نسبت به هم تعیین نگردیده است. لذا در این مقاله شاخص‌های مختلفی به منظور اولویت‌بندی زمانی سدهای تأخیری در سامانه‌های مهار سیلاب ارائه گردیده و این شاخص‌ها، با معیار اقتصادی ارزیابی شده است.

چنانچه در یک حوزه آبخیز لازم است تعداد زیادی سد تأخیری اجرا شود، بهتر است دستگاه اجرایی با توجه به محدودیت بودجه سالانه، سازه‌هایی که تأثیر بیشتری داشته و هزینه ساخت آن‌ها نسبت به تأثیرشان، کمتر است را در اولویت‌بندی زمانی اجرا قرار دهد. لذا استفاده از شاخص اقتصادی که هزینه کاهش بده اوج سیلاب واحد را نشان می‌دهد در واقع می‌تواند معیار اولویت‌بندی زمانی اجرای پروژه قرار گیرد. درست به همین دلیل در پژوهش حاضر، اولویت‌بندی انجام شده توسط سایر شاخص‌ها با اولویت‌بندی انجام شده توسط این شاخص مقایسه گردیده و بهترین شاخص الویت‌بندی زمانی احداث سدهای تأخیری پیشنهاد گردیده است.

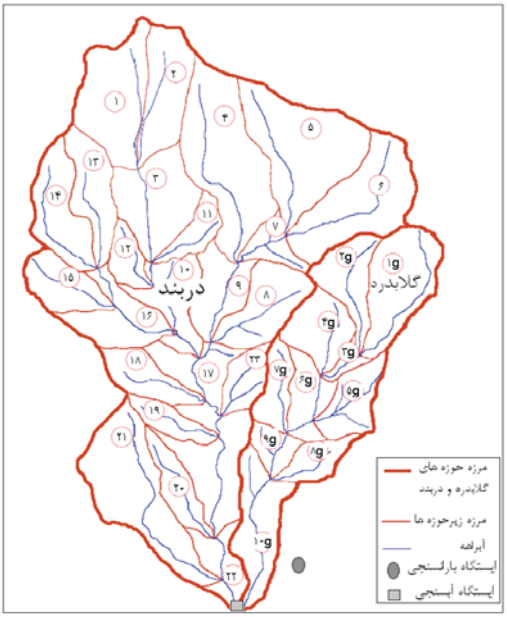
مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز تجریش(گلابدره– دربند) به دلیل واقع شدن در شمال تهران و سابقه سیلاب‌های مهیب و ویرانگر آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده که ۳۲۸۵ هکتار وسعت دارد[۱]. موقعیت این حوزه آبخیز در طول جغرافیایی "۰۰ '۵۷ °۵۳ تا "۰۰ "۲۰ ' ٥٤ شرقی و عرض جغرافیایی "۰۰ ' ٤٥ °۳۵ تا " ۳۰ ' ۵۲ °۳۵ شمالی است. این حوزه آبخیز که در شکل (۱) نشان داده شده شامل دو زیرحوزه عمده گلابدره و دربند می‌باشد. زیر حوزه گلابدره ۷۳۹ هکتار وسعت داشته و رودخانه گلابدره با طولی حدود ٦۲٤۰ متر این زیرحوزه را زهکشی می‌کند. زیر حوزه دربند ۲٥٤٦ هکتار وسعت داشته و رودخانه اصلی آن، طولی در حدود ۸۹۰۰ متر دارد [۲].

در این پژوهش، داده‌های بارش موجود در ایستگاه‌های هواشناسی نیاوران، بارندگی‌هایی که منجر به ایجاد رواناب و در نهایت سیل شده‌اند، مشخص گردیده و بارندگی‌هایی که بده متناظر با آن‌ها در ایستگاه‌های بده‌سنجی ثبت شده‌اند، به منظور واسنجی انتخاب گردیدند. رگبارها و آبنگار های مورخ ۷۷/۱/۱۸، ۷۵/۱/۱۵ و ۷۷/۱/۹

1- New Jersey
2-Lumped
3- Coupled
4- Illinois

برای واسنجی و صحت‌یابی حوزه آبخیز از بین تعداد بسیار محدود آبنگار و رگبار متناظر موجود، انتخاب گردیدند. در جدول (۱) مشخصات رگبار و آبنگارهای منتخب ارائه شده است. در شبیه‌سازی سیلاب ۲۰۰ ساله از رگبارهای طرح استفاده شده است[۸]. در تهیه رگبارهای طرح نیاز به تعیین عمق کل بارش و توزیع زمانی بارش (الگوی زمانی) می‌باشد. در این پژوهش از الگوی بارش نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به مرکز حوزه آبخیز یعنی ایستگاه نیاوران استفاده گردیده است که فاصله تقریبی آن از مرکز ثقل حوزه، ۱٤ کیلومتر می باشد[۳].



شکل(۱) حوزه آبخیز تجریش

جدول (۱)- مشخصات رگبار و آبنگارهای منتخب

تاریخ	مدت تداوم (ساعت)	پیک سیلاب (مترمکعب بر ثانیه)	حجم سیلاب (هزار مترمکعب)
۷۵/۱/۱۵	۱۰	۱۳/٦۵	۱۳۱/۳
۷۷/۱/۱۸	۱٤/۵	۲/۹۲	٤۵/٦۵
۷۷/۱/۹	۹	۱۳/۳۱	۱۳٦/٤

بارش‌های یک ساعته با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ سال از روی منحنی IDF ایستگاه نیاوران استخراج گردیده و مطابق جدول شماره (۲) ارائه شده است.

مدل HEC-HMS یک مدل شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز است. این مدل برای شبیه‌سازی سیلاب دارای دو بخش عمده مدول تبدیل بارش به رواناب[1] و مدول روندیابی سیلاب در آبراهه[2] می‌باشد که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است[۲].

در این پژوهش با توجه به نوع اطلاعات موجود از منطقه به منظور محاسبه تلفات بارش از روش شماره منحنی و برای تبدیل رواناب به آبنگار از آبنگار واحد SCS استفاده گردیده است. نظر به برخورداری از مبنای هیدرولیکی و دقت بهتر روش ماسکینگام - کونج استاندارد در مقایسه با سایر روش‌های موجود در مدل HEC-HMS، از این روش در روندیابی سیل در آبراهه استفاده گردیده است[۲]. واسنجی مدل با رگبار و آبنگار مورخ ۷۷/۱/۱۸ و صحت‌یابی آن با رگبارها و آبنگارهای مورخ ۷۵/۱/۱۵ و ۷۷/۱/۹ صورت گرفت. در ارزیابی واسنجی و صحت‌یابی از شاخص جذر میانگین مربع خطاها (RMSE) مطابق فرمول زیر استفاده گردید[۳].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma_{i=1}^{n}(o_i - c_i)^2}{n}}$$

در این رابطه، RMSE جذر میانگین مربع خطاها، O_i بده جریان مشاهداتی، C_i بده جریان محاسباتی و n تعداد داده‌های بده آبنگار سیلاب می‌باشد. به منظور شبیه‌سازی سیلاب ۲۰۰ ساله و برای ارزیابی پاسخ حوزه آبخیز در مقابل بارش متناظر با آن، علاوه بر مدل واسنجی شده، نیاز به رگبارهای طرح نیز می‌باشد. با توجه به اینکه زمان تمرکز حدود یک ساعت می‌باشد، از بارش طرح یک ساعته[۸]، برای شبیه‌سازی حوزه آبخیز استفاده شده است [۱۰]. از آن جا که هدف مهار سیلاب با دوره بازگشت ۲۰۰ سال می‌باشد[۸]، پس از واسنجی مدل توسط سیلاب‌های ثبت شده، بارش با دوره بازگشت ۲۰۰ سال برای شبیه‌سازی سیلاب استفاده شد[۸]. به منظور تعیین ساختگاه سدهای تأخیری، نقشه حوزه آبخیز مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه گردید. نظر به اینکه در ساختگاه‌های سدهای تأخیری باید عرض دره باریک و حجم ذخیره مخزن قابل توجه باشد، کلیه ساختگاه‌هایی که دارای این شرایط بودند، بررسی و انتخاب شدند و ۱٤ سد که دارای حجم مخزن کافی برای مهار سیلاب زیرحوزه مربوطه بودند، برای اولویت‌بندی اجرای آن‌ها انتخاب شدند. شکل (۲) موقعیت این ساختگاه‌ها را در محیط مدل HEC-HMS نشان می‌دهد.

از آنجا که ارتفاع سد تأخیری بر اساس تراز حداکثر سیلاب در مخزن تعیین می‌شود و این تراز متأثر از ظرفیت مجرای تخلیه تحتانی سد تأخیری می‌باشد، بهینه‌سازی ابعاد مجرای سدهای تأخیری مهم است. به این منظور، هر یک از ۱٤ سد یاد شده به طور جداگانه روندیابی شده و تراز حداکثر آب و به تبع آن ارتفاع سد تأخیری و هزینه‌های احداث آن محاسبه شده است. این کار برای ابعاد مجرای تخلیه مختلف، با گام‌های افزایشی ۱۰ سانتی‌متری انجام شده و تابع هزینه واحد کاهش بده اوج سیل هزینه (احداث سد تقسیم بر کاهش بده اوج سیل)، نسبت به ابعاد مجرای تخلیه سد رسم گردیده و بر مبنای حداقل هزینه یاد شده، ابعاد بهینه مجرای تخلیه سد تعیین شده است.

1- Loss method transform
2- Routing method

جدول(۲)- شدت بارش‌های یک ساعته ایستگاه نیاوران

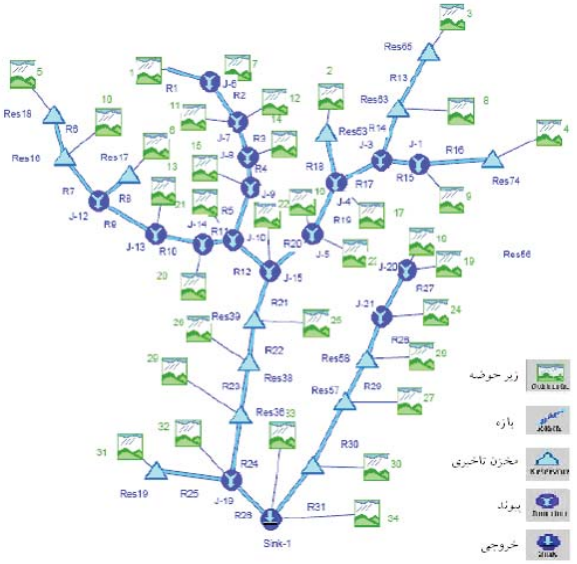
دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
شدت بارش (m/h)	۱۰/٤	۱۳/۱	۱۵/۲	۱۹/۱	۲۱/٦	۲٤/٤	۲۷/۵

فرض بر این است که مجرای تخلیه تحتانی سدهای تأخیری مربع شکل بوده و نیز عرض مجرا در بهینه‌سازی، حداقل ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. زیرا در غیر این صورت امکان گرفتگی این مجراها توسط مواد جامد حمل شده توسط سیلاب، بسیار محتمل است. حداکثر جریان ورودی، حداکثر جریان خروجی و حداکثر تراز سطح آب باید در هر بار از اجرای مدل HEC-HMS تعیین شود. با توجه به معلوم بودن تراز کف سد، از تفاضل این پارامتر با حداکثر تراز سطح آب و اضافه کردن ارتفاع آزاد، ارتفاع سد بدست آمده است[۱۲]. در نهایت با داشتن ارتفاع سد، حجم بتون به کار رفته برای هر سد محاسبه شده است. سپس بر اساس قیمت واحد عملیات بتنی که از فهرست بهای سدسازی برآورد می‌شود، هزینه ساخت هر یک از سدها محاسبه شده است.

میزان کاهش بده اوج سیلاب توسط هر یک از سدهای تأخیری و برای ابعاد مختلف مجرای تخلیه تحتانی آنها، از تفاضل بده اوج سیلاب ورودی به مخزن هر سد و خروجی از آن‌ها به دست می آید. پس از آن که هزینه اجرای هر سد و میزان کاهش بده اوج توسط آن برای هر یک از ابعاد مجراهای تخلیه تحتانی محاسبه گردید، از نسبت این دو، قیمت هر واحد کاهش بده اوج سیلاب به دست می‌آید. عرض مجرای متناظر با حداقل قیمت هر واحد کاهش بده اوج سیلاب، به عنوان عرض بهینه مجرای تخلیه تحتانی آن سد تأخیری بوده و ارتفاع متناظر با آن عرض مجرای تخلیه تحتانی به عنوان ارتفاع بهینه سد در نظر گرفته شده است.

در این پژوهش شاخص‌های مختلفی شامل درصد کاهش بده اوج سیلاب حوزه در اثر حذف رواناب یک زیرحوزه (FI[1])، کاهش بده اوج ویژه سیلاب حوزه در اثر حذف رواناب یک زیرحوزه (fi[2]) درصد کاهش بده اوج سیلاب حوزه در اثر عملکرد سد تأخیری در یک زیر حوزه (F_m)، کاهش بده اوج ویژه سیلاب حوزه (f_m)، هزینه یک واحد کاهش بده اوج سیلاب (ΔQ_C) و هزینه کل اجرا، برای تعیین اولویت‌بندی زمانی احداث سدهای تأخیری استفاده شده است. جدول (۳) هر یک از این شاخص‌ها را به همراه مراجع پیشنهاددهنده آن‌ها، نشان می‌دهد. در این روابط QP_1 بده اوج خروجی کل حوزه آبخیز(مترمکعب‌برثانیه)، QP_2 بده اوج خروجی با حذف کامل جریان زیر حوزه بالادست سد مورد نظر(مترمکعب‌برثانیه)، A مساحت زیر حوزه بالادست سد مورد نظر بر حسب، km^2 Q_{p_1} بده اوج خروجی کل حوزه آبخیز با وجود کل سدها منهای سد مورد نظر(مترمکعب‌برثانیه)، Q_{p_2} بده اوج خروجی کل حوزه آبخیز

1- Flood Index
2- Flood index



شکل (۲)- حوزه آبخیز تجریش در محیط HEC-HMS

با وجود کلیه سدها بر حسب مترمکعب بر ثانیه، C هزینه اجرای هر یک از سدهای تأخیری بر حسب میلیون ریال می‌باشد. در مجموع(۹) شاخص بررسی گردیده که در ادامه به تشریح هر یک پرداخته شده است. لازم به ذکر است که از میان این شاخص‌ها، شاخص‌های اول تا چهارم گاهی توسط دستگاه‌های اجرایی مورد استفاده قرار می‌گیرند و شاخص‌های F_I و f_i را ثقفیان و خسروشاهی [۱۱] پیشنهاد کرده‌اند. شاخص‌های F_m، f_m و ΔQ_C، شاخص‌های جدیدی هستند که در پژوهش حاضر ارائه گردیده‌اند. در جدول (۳) معیار اولویت‌بندی هر یک از شاخص‌ها نیز ارائه شده است. برای مثال براساس شاخص‌های F_I و f_i، حوزه آبخیزی که بیشترین مقدار این شاخص‌ها را دارد، در اولویت اول قرار می‌گیرد. تفاوت عمده شاخص‌های F_m، f_m با شاخص‌های تعریف شده توسط ثقفیان و خسروشاهی [۱۱] در این است که در شاخص‌های آن‌ها فرض بر این بوده که کل سیلاب حوزه آبخیز بالادست توسط سد مورد نظر حذف می‌شود در حالی که در عمل انجام چنین امری توسط سدهای تأخیری غیر ممکن است، لذا در شاخص‌های جدید پیشنهاد شده توسط مقاله حاضر، به جای حذف کامل جریان زیر حوزه، کاهش بده اوج سیلاب توسط سد تأخیری استفاده شده است. شاخص ΔQ_C یا همان شاخص اقتصادی، نشان می‌دهد که به ازای هر واحد کاهش بده اوج سیلاب در خروجی حوزه آبخیز چقدر باید سرمایه‌گذاری نمود. لذا هرچه این شاخص کوچکتر باشد، بهتر بوده و آن طرح بایستی در اولویت اول قرار گیرد. چرا که با فرض ثابت بودن منابع مالی، بیشترین کاهش سیلاب را می‌توان با انتخاب زیرحوزه‌ای که کوچکترین مقدار ΔQ_C را دارد، انجام داد. به منظور تعیین ارجحیت شاخص‌های اولویت‌بندی احداث سدهای تأخیری، مطابق رابطه (۲)، نتایج حاصله از اولویت‌بندی بر اساس ΔQ_C را برای هر یک از سدهای تأخیری، از نتایج حاصله از اولویت‌بندی بر اساس سایر شاخص‌های معرفی شده برای هر یک از سدهای تأخیری کم نموده و قدر مطلق آن را محاسبه می کنیم.

$$M_i = \left| P_{\Delta Qc_i} - P_i \right|$$

که در این رابطه، $P_{\Delta QC_i}$ اولویت سد تأخیری iام بر اساس شاخص اصلی (ΔQ_C)، P_i اولویت سد تأخیری iام بر اساس هر یک از شاخص‌های معرفی شده و Mi قدر مطلق تفاضل اولویت سد تأخیری iام بر اساس شاخص اصلی و شاخص مورد نظر معرفی شده می‌باشد. سپس برای هر یک از پارامترهای اولویت‌بندی مجموع قدر مطلق‌ها با هم مطابق رابطه (۳) محاسبه گردیده و شاخص اولویت‌بندی برتر بر اساس حداقل مقدار PIM_C انتخاب شده است و بقیه شاخص‌ها نیز به ترتیب نزولی PIM_C رتبه‌بندی شده‌اند.

$$PIM_c = \Sigma_{i=1}^{n} Mi$$

که در این رابطه Mi قدر مطلق تفاضل اولویت سد تأخیری i ام بر اساس شاخص اقتصادی و شاخص مورد نظر معرفی شده، PIM_C مجموع قدرمطلق اختلاف اولویت با شاخص معیار و شاخص مورد نظر (معیار ارزیابی روش اولویت‌بندی) و n تعداد کل سدهای تأخیری تعیین شده می‌باشد. هر چه مقدار PIM_C کمتر باشد خطای اولویت‌بندی با شاخص موردنظر نسبت به شاخص اصلی (ΔQ_C)، کمتر خواهد بود.

نتایج و بحث

واسنجی و صحت‌یابی مدل

واسنجی و صحت‌یابی مدل با استفاده از بارش‌های مورخ ۷۵/۱/۱۵، ۷۷/۱/۹، ۷۷/۱/۱۸ صورت گرفت. بدین ترتیب که واسنجی با بارش هر یک از سه تاریخ یاد شده، انجام گرفته و با دو تاریخ دیگر صحت‌یابی صورت گرفت. جدول (٤) نتایج سه سری واسنجی و صحت‌یابی را نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد که واسنجی با بارش مورخ ۷۷/۱/۱۸، جذر میانگین مربع خطای کمتری دارد. لذا واسنجی با این بارش صورت گرفته و صحت‌یابی با بارش‌های مورخ ۷۵/۱/۱۵ و ۷۷/۱/۹ انجام گرفت.

جدول(٤)- جدول خطای محاسباتی واسنجی و صحت‌یابی در تاریخ‌های مختلف

تاریخ‌های واسنجی	تاریخ‌های صحت‌یابی	RMSE صحت‌یابی	RMSE واسنجی
۷۵/۱/۱۵	۷۷/۱/۱۸	۰/۲٦	۱/۱۹
	۷۷/۱/۹	۱/۰٦۲	
۷۷/۱/۱۸	۷۷/۱/۹	۱/۵۰	۰/۱۹
	۷۵/۱/۱۵	۱/۱۰۳	
۷۷/۱/۹	۷۵/۱/۱۵	۱/۱۰۲	۱/۱۱
	۷۷/۱/۱۸	۰/۱۸	

نتایج بهینه‌سازی ابعاد مختلف مجراهای تخلیه سدهای تأخیری

اگر ابعاد مجرای تخلیه تحتانی سد تأخیری کوچک شود، بده خروجی از آن کاهش پیدا کند ولی باعث افزایش تراز حداکثر سیل در

جدول (۳)- شاخص‌های رتبه بندی طرح‌های مهار سیلاب

ردیف	شاخص	فرمول	موارد کاربرد یا مرجع پیشنهادکننده	معیار اولویت بالاتر
۱	A	-	دستگاه های اجرایی در الویت‌بندی گاهی از این شاخص استفاده می‌کنند.	بزرگتر بودن
۲	Q_P	-	دستگاه های اجرایی در الویت‌بندی گاهی از این شاخص استفاده می‌کنند.	بزرگتر بودن
۳	C	-	دستگاه های اجرایی در الویت‌بندی گاهی از این شاخص استفاده می‌کنند.	کوچکتر بودن
٤	q_p	-	در اولویت‌بندی طرح‌های آبخیزداری به طور معمول استفاده می‌کنند.	بزرگتر بودن
۵	F_I	$F = \frac{\Delta QP}{QP_1} \times 100 = \frac{QP_1 - QP_2}{QP_1} \times 100$	ثقفیان و خسرو شاهی[۱۱]	بزرگتر بودن
٦	fi	$f' = \frac{\Delta QP}{A} = \frac{QP_1 - QP_2}{A}$	ثقفیان و خسرو شاهی[۱۱]	بزرگتر بودن
۷	F_m	$F_m = \frac{\Delta Q_P}{Q_{P1}} \times 100 = \frac{Q_{P1} - Q_{P2}}{Q_{P1}} \times 100$	روش‌های جدید ارائه شده در این مقاله	بزرگتر بودن
۸	f_m	$f'_m = \frac{\Delta Q_P}{A} = \frac{Q_{P1} - Q_{P2}}{A}$	روش‌های جدید ارائه شده در این مقاله	بزرگتر بودن
۹	ΔQ_C	$f'_m = \frac{\Delta Q_P}{A} = \frac{Q_{P1} - Q_{P2}}{A}$	روش ارائه شده در این مقاله برای ارزیابی سایر شاخص‌ها	کوچکتر بودن

مخزن سد و متعاقب آن افزایش ارتفاع سد و هزینه احداث آن می‌شود. چنانچه هزینه کاهش هر واحد بده اوج سیل را در مقابل تغییرات ابعاد مجرای تخلیه تحتانی رسم کنیم، حداقل هزینه کاهش هر واحد بده اوج سیل در مقابل اندازه بهینه دریچه تخلیه تحتانی را نشان می‌دهد. برای نمونه تغییرات تابع هدف(هزینه هر واحد کاهش بده اوج سیل) نسبت به تغییرات ضلع مقطع مجرای مربع شکل تخلیه تحتانی سد شماره ١٦ در شکل (٣) ارائه شده است. براساس این شکل، اندازه بهینه ضلع مجرای مربع شکل برابر ٠/٦ متر می‌باشد. ابعاد بهینه مجرای سدهای تأخیری محاسبه شده و در جدول (٥) نتایج ابعاد بهینه شده مجرای سدهای تأخیری ارائه شده است. این جدول که بر اساس روندیابی سیل در سدهای یاد شده و رسم نموداری نظیر شکل (٣) برای هر یک از سدها تهیه شده، ابعاد بهینه مجرای تحتانی و ارتفاع بهینه سدهای تأخیری را نشان می‌دهد. براساس این جدول، سد شماره ١٦ کوچکترین ضلع مجرای تخلیه تحتانی را داشته و سد شماره ٥٨ بزرگترین ضلع مجرای تخلیه تحتانی را دارد. ارتفاع بهینه سدهای تأخیری بین ٣/١ تا ١٦/٩ متر متغیر می‌باشد.

بررسی اولویت‌بندی احداث سدهای تأخیری بر اساس شاخص‌های ارائه شده

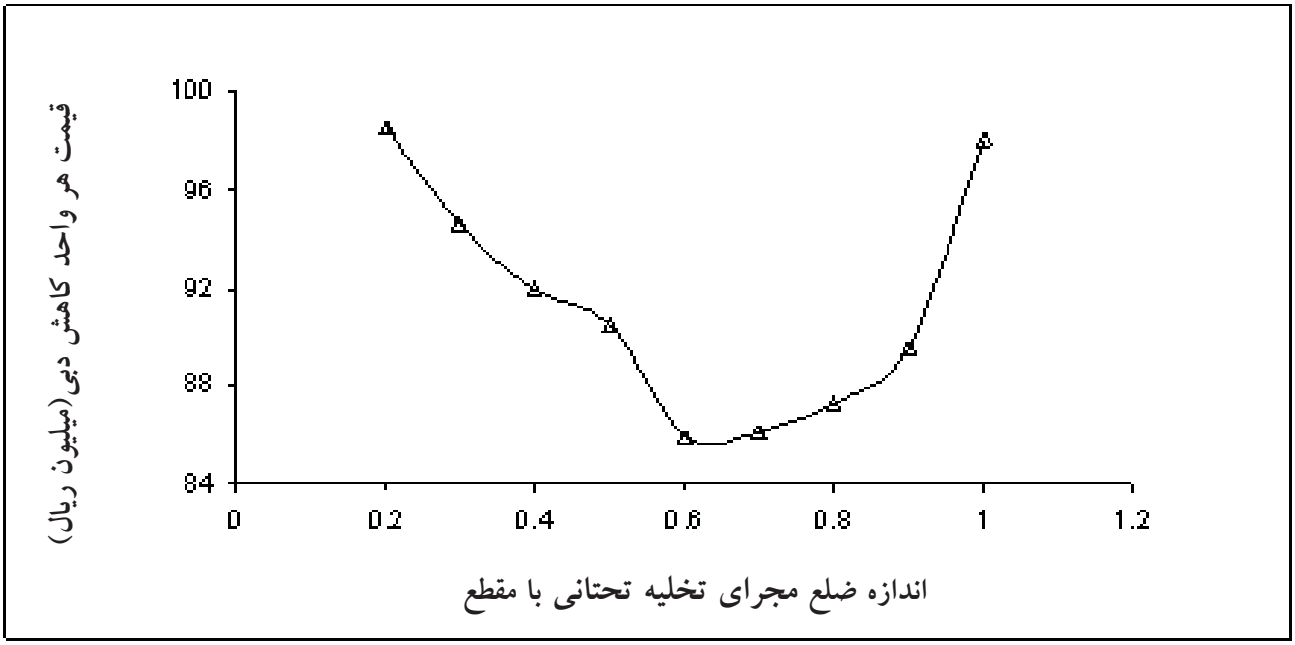
نتایج اولویت‌بندی بهینه بر اساس شاخص‌های اولویت‌بندی به طور خلاصه در جدول (٦) ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که اولویت‌بندی متفاوتی را بر اساس هر یک از این شاخص‌ها برای احداث سدهای تأخیری می‌توان تعیین نمود. این در حالی است که از بین این شاخص‌ها، شاخص‌های بده اوج، مساحت و F_I نتایج تقریباً مشابهی دارند. لذا بدلیل ساده بودن شاخص بده اوج از این شاخص به جای شاخص F_I می‌توان استفاده نمود. به منظور انتخاب مناسب‌ترین شاخص اولویت‌بندی زمانی سدهای تأخیری از معیار PIM_C برای ارزیابی شاخص استفاده گردیده و شاخص اولویت‌بندی با حداقل PIM_C به عنوان شاخص اول اولویت‌بندی زمانی احداث سدهای تأخیری و شاخص اولویت‌بندی با حداکثر PIM_C به عنوان آخرین شاخص اولویت‌بندی معرفی شده است. در واقع خود شاخص‌ها نیز بر اساس PIM_C محاسبه شده آن‌ها، به ترتیب از حداقل به حداکثر رتبه بندی شده و نتایج رتبه‌بندی، در جدول (٧) ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که شاخص f_m با حداقل PIM_C برابر با ٦، بهترین شاخص و شاخص هزینه (C) با حداکثر PIM_C برابر با ٨٠ نامناسب‌ترین شاخص اولویت‌بندی زمانی احداث سدهای تأخیری می‌باشد. به عبارت دیگر نتایج نشان می‌دهد که شاخص f_m در مقایسه با شاخص اصلی ΔQ_C بهترین شاخص برای اولویت‌بندی زمانی احداث سدهای تأخیری است و نیز PIM_C شاخص‌های بده ویژه و f_i نزدیک به هم بوده و به طور تقریبی الویت‌بندی یکسانی ارائه می‌دهند. این در حالی است که شاخص‌های ارائه شده در این مقاله به ویژه شاخص f_m از کمترین PIM_C یعنی خطا در اولویت‌بندی نسبت به شاخص اقتصادی برخوردار می‌باشد و همین امر باعث گردید که به عنوان برترین شاخص معرفی گردد. بطور کلی نتایج نشان داد که از بین شاخص‌های مختلف شاخص‌های f_m و F_m که شاخص‌های جدیدی برای اولویت‌بندی هستند، بیشترین تطبیق را با شاخص اقتصادی دارا بوده و از کمترین خطای PIM_C برخوردار هستند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصله از پژوهش حاضر را می‌توان در بندهای زیر خلاصه نمود:

جدول(٥)- حجم، بده، ارتفاع و بعد بهینه شده مجراها

شماره سد	بعد بهینه شده مجرای تحتانی (متر)	ارتفاع بهینه شده سد (متر)	بده اوج ورودی به مخزن(مترمکعب بر ثانیه)	حجم ذخیره مخزن سد (هزار مترمکعب)
١٦	٠/٦	٣/٦	٥/٧٩	٤/٩٠
١٧	٠/٤	٣/١	٤/١٣	٤/٦٧
١٨	٠/٣	٣/٨	٣/٦٧	٣/٨٠
١٩	٠/٩	٣/٣	٥/٦٥	٤/٨٧
٣٦	٢/١	١٦/٨	٩٦/٥٥	٥٧/٦٤
٣٨	٢/٥	١٣/٥	٩٤/٧٨	٤٦/٨٩
٣٩	١/٩	١٦/٩	٩٣/٥٥	٦٥/٩٧
٥٣	١	٦	١٢/٢٥	٦/٧٧
٥٦	١/٢	١٠/٦	٢٧/٤٠	١٧/٦٧
٥٧	٠/٥	١١/٢	٢٧/٢٥	٣٦/٨٥
٥٨	١/٨	٤/٩	٢٤/٣٠	١١/١٢
٦٣	٠/٨	٥/٥	١١/٦٤	١٠/٢٨
٦٥	٠/٩	٤/٢	١٠/٢٩	٧/٦٢
٧٤	٠/٧	٣/٤	١/٩٠	٣/٧٨



شکل(۳)- اندازه ضلع بهینه شده مجرای تخلیه تحتانی مربع شکل سد تأخیری

جدول(٦)- اولویت‌بندی احداث سدهای تأخیری براساس شاخص‌های مختلف

سد تأخیری	مساحت	بده اوج	بده ویژه	F_I	f_i	F_m	f_m	C	ΔQ_C
١٦	١٠	١٠	١٣	١٠	١٢	١٠	١١	٤	١٠
١٧	١٤	١٣	٣	١٢	٨	٩	٦	٣	٨
١٨	١١	١٤	١٤	١٣	١٣	١٣	١٣	٦	١٣
١٩	١٢	١١	١	١١	١	٤	١	١	١
٣٦	١	١	١٢	١	١٠	٣	٤	١٣	٤
٣٨	٢	٢	١١	٢	٩	٥	٥	١١	٥
٣٩	٣	٣	١٠	٣	١١	١	٣	١٤	٣
٥٣	٧	٧	٦	٧	٢	٧	٨	٧	٧
٥٦	٤	٤	٩	٤	٧	٦	٧	١٠	٦
٥٧	٥	٥	٨	٥	٦	٢	٢	١٢	٢
٥٨	٦	٦	٧	٦	٥	١٤	١٤	٨	١٤
٦٣	٨	٨	٥	٨	٣	٨	١٠	٩	١١
٦٥	٩	٩	٤	٩	٤	١٢	١٢	٥	١٢
٧٤	١٣	١٢	٢	١٤	١٤	١١	٩	٢	٩

جدول(٧)- نتایج تعیین رتبه شاخص‌های اولویت‌بندی سدهای تأخیری بر اساس معیار PIM_C

شاخص	مساحت	بده اوج	بده ویژه	F_I	f_i	F_m	f_m	C
PIM_C	٤٨	٤٤	٦٨	٤٤	٦٠	١٢	٦	٨٠
رتبه شاخص	٤	٣	٥	٣	٦	٢	١	٧

به طور معمول دستگاه‌های اجرایی احداث سدهای تأخیری، به علت محدودیت منابع مالی، احداث سازه‌های با هزینه کمتر را در اولویت قرار می‌دهند. در صورتی که نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در مقایسه با شاخص اقتصادی هزینه یک واحد کاهش بده اوج سیلاب (ΔQ_C)، شاخص هزینه بدترین شاخص اولویت‌بندی احداث سدهای تأخیری می‌باشد.

منابع

شاخص‌های f_i و F_I که در پژوهش‌های پیشین پیشنهاد شده‌اند در ارزیابی با شاخص اقتصادی(ΔQ_C) به طور تقریبی به ترتیب الویت‌بندی مشابه با شاخص‌های بده اوج ویژه و بده اوج را برای احداث سدهای تأخیری در حوزه آبخیز تجریش، ارائه می‌دهند.

نتایج نشان می‌دهد شاخص‌های f_m و F_m براساس شاخص اقتصادی بیشترین تطبیق را با این معیار داشته و شاخص f_m مناسب‌ترین شاخص اولویت‌بندی زمانی احداث سدهای تأخیری می‌باشد.

1- Banihabib, M.E. 1997. Flood control using detention basin. Educational and professional workshop of flood control in rivers, pp. 1-18. (In Persian)

2- Banihabib, M.E. and Arabi, A. 2007. Evaluation of HEC-HMS for the determination of flood-warning lead time in Golabdareh-Darband watershed. Proceeding of 4th Iranian conference for watershed science and engineering, pp. 1-8. (In Persian)

3- Banihabib, M.E. and Arabi, A. 2009. Evaluation of Watershed Management on Flood Forecast Lead Time in Golabdare-Darband Basin. Journal of Iran Watershed Management Science & Engineering, pp. 7-14. (In Persian)

4- Horn, D. 1987. Prioritizing Flood Control Planning Needs. Journal of Water Resources Planning and Management, 113(2): 161-315.

5- Huang, H., Cheng, Sh., Wen, J. and Lee, J. 2008. Effect of growing watershed imperviousness on hydrograph parameters and peak discharge. Published online 16 October 2007 in Wiley InterScience, 22(13): 2075–2085.

6- Lerat, J., Perrin, C., Andréassian, V., Loumagne, C. and Ribstein, P. 2009. Towards robust methods to couple lumped rainfall–runoff models and hydraulic models: A sensitivity analysis on the Illinois River. Journal of Hydrology. Published online, pp.1-13.

7- Monirul, I. and Kimiteru, S. 2002. Development Priority Map for Flood Countermeasures by Remote Sensing Data with Geographic Information System. Journal of Hydrologic Engineering, 7(5): 346-355.

8- Office of Deputy for Strategic Supervision, Bureau of Technical Execution System. 2005. Guidelines for the determination of flood return period for river work, No. 316, 34pp. (In Persian)

9- Osman, A. and Edward, A. 1994. Runoff Detention for Flood Volume or Erosion Control. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 120 (1): 168-178.

10- Razee, T. 2000. Temporal and spacial pattern for short duration storm in Tehran Province. M.Sc. Thesis for watershed management, Tarbiat Modares University, 162 pp. (In Persian)

11- Saghafiyan, B. and Khosroshahi, M. 2005. Unit Response Approach For Priority Determination of Flood Source Areas, Use of this paper is permitted with full citation: J of Hydrologic Engineering. ASCE. 10(4): pp. 270-277.

12- United Sates Department of The Interior Bureau of Reclanation.1960. Design of Small Dams. A water Resources Technical Publication, 820pp.