حوضچه‌های تأخیری، راهکاری جهت توسعه و مدیریت پایدار شهری

ثریا قاسمی[۱] محمود فغفور مغربی[۲*]
۱و۲- گروه مهندسی عمران- دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۱

چکیده

ارزیابی پدیده سیلاب و آب گرفتگی معابر در حوضه‌هایی که دارای شبکه انتقال رواناب است گویای آن است که در برخی موارد مجاری انتقال آب باران بعد از مدتی به دلیل تغییر مشخصات فیزیوگرافی حوضه به خصوص افزایش سطوح نفوذناپذیر، پاسخگوی انتقال جریان‌های موجود به ویژه دبی اوج جریان نیستند. جهت حل این قبیل مسائل فعالیت‌های زیادی صورت گرفته است. یکی از روش‌های چاره‌جویی این مشکل، استفاده از حوضچه‌های تأخیری رواناب باران است. از دیگر راهکاری بهینه مدیریتی، سیستم ماند بیولوژیکی، روکش نفوذپذیر خیابان‌ها، جوی باغچه‌ها و غیره می‌باشد که بسته به شرایط فنی و اقتصادی از یکی از روش‌های فوق می‌بایستی استفاده نمود. در این پژوهش پس از معرفی کار و تاریخچه انجام مطالعات، به مباحثی نظیر مراحل انجام تحقیق مدل‌سازی شبکه زهکشی موجود در محیط نرم‌افزاری SWMM پرداخته شده که مدل‌سازی شبکه در وضع موجود به منظور روندیابی شبکه و بررسی هیدروگراف هریک از آبراهه‌ها، وضعیت هیدروگراف‌ها در تک تک اجزای شبکه در وضع موجود و با در نظر گرفتن حوضچه‌های تأخیر بررسی گردید و مشاهده شد که استفاده از حوضچه‌های تأخیری، در منطقه مورد مطالعه آب و برق مشهد با وجود مساحت محدود کارگشا بوده و موجب کاهش دبی اوج هیدروگراف، افزایش رخداد زمان پیک سیلاب و در نتیجه کنترل و مدیریت بهینه سیلاب می‌گردد. به همین منظور در طی دو مرحله مدل‌سازی، جانمایی برای دو و سه مکان مناسب جهت احداث حوضچه‌های کنترل سیلاب شناسایی گردید که در صورت استفاده از دو مخزن، دبی پیک ۳۱٪ و در صورت استفاده از سه مخزن، دبی پیک ۳۸٪ کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: راهکارهای بهینه مدیریتی، شبیه‌سازی دینامیکی بارش- رواناب، حوضچه‌های تأخیری، مدل SWMM

مقدمه

در قرون ۱۹ و ۲۰، ایده‌های نوین در زمینه کنترل رواناب در مناطق شهری متداول شد که مبتنی بر تخلیه و دفع سریع سیلاب و هدایت آن‌ها به فاصله‌های هر چه دورتر بوده است. سیستم‌های زهکشی و شبکه‌های آب سطحی با پوشش سخت با این هدف احداث می‌شوند تا سرعت جریان را زیادتر نموده و توان تخلیه سیلاب را افزایش دهند اما عدم طراحی صحیح، اشباع شدن سریع شبکه به علت توسعه شهری، عدم بهره‌برداری و نگهداری مناسب باعث می‌شود که شبکه در اکثر موارد قادر به ایفای صحیح وظایف خود نباشد و با کوچک‌ترین بارندگی، خیابان‌ها و کوچه‌ها دچار آب گرفتگی شوند. رشد شهر در کشورهای در حال توسعه، به شیوه‌ای ناپایدار در حال انجام است که سبب کاهش کیفیت زندگی و تخریب محیط‌زیست می‌شود. سیستم‌های پایدار منابع آب برای پیشبرد اهداف حال و آینده‌ی جوامع، طراحی و مدیریت شده‌اند، به طوری که از محیط و هیدرولوژی آن‌ها استفاده بهینه گردد. هدف توسعه و مدیریت پایدار منابع آب، تأمین صحیح نیازهای آبی نسل‌های حال و آینده می‌باشد و اصل این مهم با در نظر گرفتن دو عامل، یکی طراحی جامع و مناسب سیستم‌ها یعنی بهینه‌سازی راندمان استفاده از آب و دیگری ایجاد تلاشی پیوسته به منظور حفاظت و تجدید محیط‌زیست طبیعی تحقق می‌یابد (Horner et al., 2002).

ذخیره‌سازی با ایجاد کاهش جریان پیک و حذف مواد جامد معلق به طور گسترده‌ای در کنترل کمی و کیفی رواناب شهری استفاده می‌شوند. معیارهای طراحی سازه‌ای ذخیره، به علت افزایش دانش تأثیر رواناب شهری بر محیط-

* نویسنده مسئول: محمود فغفور مغربی magrebi@yahoo.com

زیست با گذر زمان تغییر نموده است. بر این اساس، لازم است مخازن نه تنها در رواناب‌های بزرگ برای مقابله با سیلاب استفاده شوند، بلکه نیاز است در رواناب‌های کوچک‌تر نیز که تولید آلودگی اولیه می‌نمایند و سبب آلودگی بدنه آب می‌شوند تأثیرگذار باشند. با توجه به اهمیت این موضوع کارهایی که در این راستا انجام شده است به طور مختصر شرح داده شده می‌شود.

Zeng و همکاران (۲۰۰۷) با توجه به مشکل اصلی چین در مدیریت آب باران شهری، با ارائه رویکرد جدید بیان نمود که چهار روش را می‌توان برای مدیریت آب باران شهری استفاده کرد: برداشت آب باران، نفوذ آب باران، ذخیره-سازی آب باران و لوله‌های آب باران. از مزایای مدیریت آب باران شهری، کاهش میزان رواناب، جذب سر و صدای شهری، شستشو و آبیاری فضای سبز و قابلیت بهره‌گیری مجدد از آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

Yue و Shaw (۲۰۰۴) بر روی انتخاب مکان‌هایی که قابلیت بهترین شیوه مدیریت شدن را دارد، ارتفاع مخازن نگهداشت سیلاب را مطالعه کردند. آن‌ها از مدل AnnAGNPS برای شبیه‌سازی هیدرولیکی در حوضه آبریز استفاده نموده‌اند. با صرف‌نظر از تجمع و ته‌نشینی رسوبات و دوباره معلق شدن آن‌ها، روندیابی ذخیره‌سازی آب مقادیری بیش از آنچه در واقعیت رخ می‌دهد را تخمین می‌زند، مخصوصاً هنگامی که باران‌های با شدت بالا اتفاق می‌افتد و ارتفاع تجمعی رسوبات به حد قابل توجهی می‌رسد.

Misgana و همکاران (۲۰۰۵) بر روی بهینه‌سازی ابعاد شبکه به منظور حداقل کردن هزینه در مقابل برآورده کردن پارامترهای هیدرولیکی مطالعه نمود. استفاده از روش طراحی اتوماتیک نیاز به روش سنتی سعی و خطا را حذف و با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌توان گزینه‌های مختلف طراحی را غربال کرد. جواب بهینه از ترکیب لوله‌ها و کانال‌ها با ابعاد و شیب‌های مختلف، مخازن با ابعاد مختلف و ظرفیت‌های متفاوت پمپ، انتخاب می‌شود. تابع هزینه باید برای هر طرح انتخابی که شامل هزینه لوله‌ها، پمپ‌ها و احداث مخازن است، محاسبه شود. نتایج شامل تعویض لوله‌ها با ابعاد مشخص، اضافه کردن تعداد مخزن و یا افزایش ظرفیت آن‌ها و اصلاح ظرفیت پمپاژ برای افزایش ظرفیت هیدرولیکی سیستم موجود است. در این بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک با نرم‌افزار SWMM5.0 تلفیق شده و عملیات بهینه‌سازی را انجام می‌دهند.

فلاح تفتی (۱۳۸۴) ضمن بهره‌مندی از مدل تلفیقی GIS[†] و MIKE SWMM شبکه زهکش حوضه آبریز آب و برق در شهر مشهد را شبیه‌سازی نمود. در آن تحقیق با اعمال بارش با دوره بازگشت ۱۰ ساله، ۳۱ مجرا که دچار استغراق می‌شدند را شناسایی نمود و نتیجه گرفت که ۹۲ مورد از کانال‌ها (از مجموع ۱۳۴ انتقال‌دهنده) بسیار بزرگ‌تر از حد نیاز طراحی و ساخته شده‌اند.

با توجه به مشکل آب گرفتگی که بعد از وارد کردن مدل بارش بر روی منطقه مورد مطالعه در برخی از گره‌ها (به عنوان مثال ایجاد آب گرفتگی در سرشاخه صیاد شیرازی) مشاهده شد که نشان از بیش‌تر بودن دبی شبیه‌سازی شده نسبت به دبی طراحی است؛ هدف از این تحقیق تحلیل و بررسی تأثیر حوضچه‌های تأخیری به عنوان یکی از راهکارهای نوین مدیریتی بر کاهش دبی پیک مبنای کار قرار گرفت. این امر را با تحلیل الگوهای مختلف بارش، متناسب با اقلیم منطقه و با استفاده از مدل SWMM به عنوان یک مدل شبیه‌ساز بارش-رواناب سیستم زهکشی شهری، می‌توان جهت رفع این آب گرفتگی و با به کارگیری حوضچه‌های تأخیری بهره جُست و پاسخ منطقه را بعد از احداث این مخازن بررسی نمود.

مواد و روش‌ها

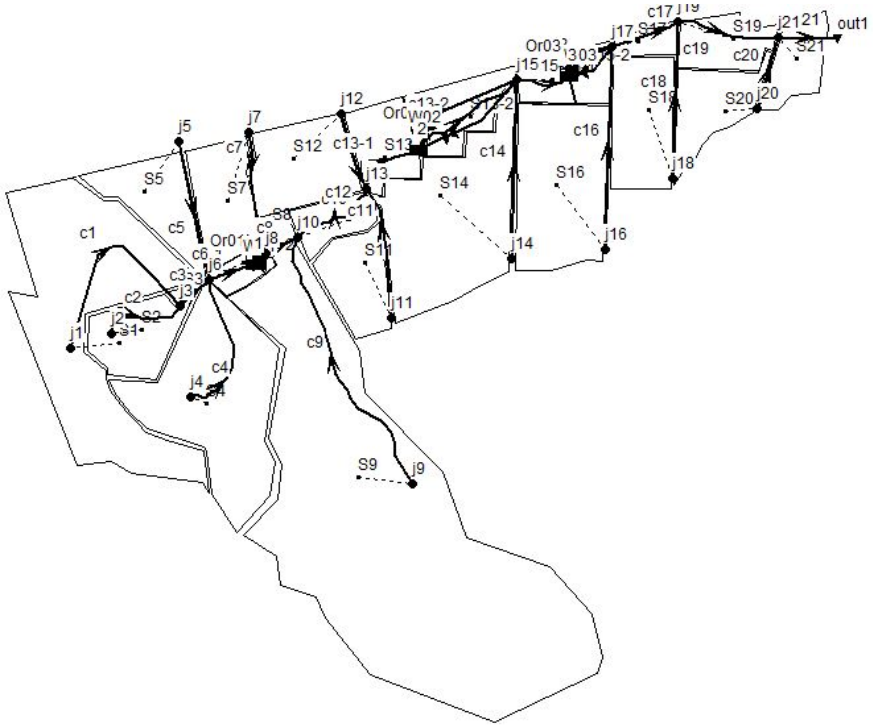
مشهد با عرض و طول جغرافیایی به ترتیب ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ۵۹ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و با میانگین ارتفاع حدود ۹۷۰ متر در قسمت مرکزی استان خراسان رضوی قرار دارد. کلان شهر مشهد با وسعت ۲۲۰

[†] *Geographic Information System*

کیلومتر مربع، ۲۱ کال و مسیل را در خود جای داده و کانال‌های اصلی هدایت آب‌های سطحی هم در آن بالغ بر ۳۰ مورد است. در شکل (۱) موقعیت مسیل آب و برق در مشهد دیده می‌شود.

شکل (۱): موقعیت منطقه آب و برق مشهد

به دلیل پیچیدگی‌های موجود در زمینه شبیه‌سازی رواناب شهری، برای انجام محاسبات بارش- رواناب و ارزیابی شبکه از مدل SWMM5.0 استفاده شده است که این مدل، مدل پویایی است که قادر به شبیه‌سازی پدیده آب گرفتگی ناشی از رواناب‌های سطحی در یک زمان و دوره‌های طولانی و مدل سطحی و زیرسطحی است و همچنین تأثیر استفاده از سیستم‌های زهکشی طبیعی و پایدار در شهرسازی را بر کاهش رواناب حاصل از بارش مدل‌سازی می‌کند (Jams, 2010). برای بررسی رفتار سیستم جمع‌آوری رواناب در مقابل بارش، بایستی پارامترهای مختلف فیزیکی و هیدرولوژیکی زیر حوضه‌های بالادست محاسبه شود. با تهیه نقشه رقومی ۱:۲۰۰۰ منطقه مطالعاتی آب و برق مشهد از سازمان نقشه‌برداری کشور، منطقه را بر اساس توپوگرافی، مشخصات کاربری زمین و سرشاخه‌های شبکه جمع‌آوری و محل خروجی رواناب، به ۲۱ زیر حوضه تقسیم شده و با تلفیق بازدید میدانی از منطقه، سیستم کانال‌ها در SWMM مدل می‌شود. شبکه نهایی شامل ۲۲ گره و ۲۱ کانال است (شکل ۲). این زیر حوضه‌ها به اختصار با *S* (*Subcatchment*) نمایش داده شده است که محل نمایش آن در مرکز هندسی حوضه قرار گرفته است. محل گره‌های آغازین و تقاطع اتصالات انتقال‌دهنده به اختصار با *J* (*Junction*) مشخص شده است. لازم به ذکر است که خط‌چین‌ها به عنوان ارتباط دادن خروجی هر زیر حوضه به گره مربوطه معرفی می‌شود. همچنین مجاری انتقال‌دهنده‌ها در هر زیر حوضه با *C* (*Conduit*) معرفی شده است که با لحاظ نمودن تراز ارتفاعی گره بالادست و گره پایین‌دست برای هر انتقال‌دهنده، شیب کانال قابل محاسبه می‌باشد. در جدول (۱) مشخصات فیزیوگرافی منطقه ارائه شده است.



شکل (۲): شبیه‌سازی منطقه آب و برق مشهد در محیط SWMM5.0

جدول (۱): مشخصات فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه

نام زیرحوضه	نام گره ورودی	عرض (متر)	مساحت (هکتار)	درصد غیر قابل نفوذ (٪)	شیب متوسط زمین (متر/متر)
A1	۱	۱۰۰۰	۱۹۵	۳۰	۰/۰۴
A2	۲	۵۰۰	۴۵	۳۰	۰/۰۴
A3	۳	۱۰۰	۱	۵۰	۰/۰۱۹
A4	۴	۱۱۰۰	۱۵۴	۳۰	۰/۰۳۵
A5	۵	۷۲۵	۵۶	۵۰	۰/۰۱۵
A6	۶	۱۰۰	۲	۵۰	۰/۰۲۶
A7	۷	۳۲۵	۵۰	۵۰	۰/۰۱۵
A8	۸	۱۰۰	۶	۳۵	۰/۰۱۸
A9	۹	۱۲۵۰	۵۳۰	۵۰	۰/۰۳۵
A10	۱۰	۴۰۰	۳۰	۵۰	۰/۰۱۵
A11	۱۱	۵۵۰	۴۵	۵۰	۰/۰۱۳
A12	۱۲	۸۰۰	۵۶	۵۰	۰/۰۱۷
A13	۱۳	۶۰۰	۷۱	۵۰	۰/۰۱۵
A14	۱۴	۱۲۰۰	۱۴۷	۵۰	۰/۰۲۰
A15	۱۵	۴۰۰	۳۵	۵۰	۰/۰۱۹
A16	۱۶	۸۰۰	۱۱۲	۵۰	۰/۰۲
A17	۱۷	۲۰۰	۱۰	۵۰	۰/۰۱۱
A18	۱۸	۵۰۰	۶۳	۵۰	۰/۰۱۵
A19	۱۹	۴۰۰	۳۲	۵۰	۰/۰۰۹
A20	۲۰	۷۰۰	۵۰	۵۰	۰/۰۱۱
A21	۲۱	۳۰۰	۱۰	۵۰	۰/۰۰۹

در این تحقیق از روش هورتن برای مدل‌سازی نفوذ استفاده شده است. با توجه به اینکه پارامترهای معادله نفوذ به نوع پوشش خاک، پوشش گیاهی و حجم رطوبت اولیه خاک وابسته است، به طور ایده آل این پارامترها باید با استفاده از نتایج آزمایش‌های نفوذ در مکان‌های مختلفی از منطقه مورد نظر و برای شرایط رطوبتی اولیه مختلف به دست آید (علیزاده، ۱۳۸۹). فرمول زیر بیانگر رابطه هورتن است:

$$f_p = f_\infty + (f_0 - f_\infty)^{-\propto t} \qquad (۱)$$

که در این معادله f_p سرعت نفوذ به داخل خاک (mm/h)، f_∞ سرعت نفوذ نهایی خاک (mm/h)، f_0 حداکثر سرعت نفوذ یا سرعت نفوذ در ابتدای زمان (mm/h)، t زمان از شـــروع بارش (sec)، $\propto$ ضریبی ثابت برای میزان کاهش ظرفیت نفوذ (sec^{-1}) می‌باشد.

در این تحقیق از روش هورتن برای مدل‌سازی نفوذ استفاده شده است. با توجه به اینکه پارامترهای معادله نفوذ به نوع پوشش خاک، پوشش گیاهی و حجم رطوبت اولیه خاک وابسته است، به طور ایده آل این پارامترها باید با استفاده از نتایج آزمایش‌های نفوذ در مکان های مختلفی از منطقه مورد نظر و برای شرایط رطوبتی اولیه مختلف به دست آید. اگر امکان استفاده از داده‌های میدانی وجود نداشته باشد، می‌توان با توجه به شرایط ژئوتکنیکی خاک منطقه طبق مقادیر توصیه شده در مدل SWMM5.0 بهره جُست. به طوری که حداکثر سرعت نفوذ mm/hr ۱۵۰، حداقل سرعت نفوذ mm/hr ۴۰ و ثابت کاهش سرعت نفوذ 1/sec ۰/۰۲۵ در نظر گرفته می‌شود.

مطابق فرمول فوق، معادله هورتن برای پارامترهای ذکر شده برای منطقه مورد مطالعه به صورت زیر خواهد بود:

$$f_p = 40 + (150 - 40)^{-0.025t} \qquad (۲)$$

الگوی توزیع زمانی بارش

الگوی توزیع زمانی بارش در امر شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز کاربرد فراوانی داشته و به عنوان یک ورودی اساسی در مدل‌های بارش رواناب به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر ضروری می‌باشند. سیلاب‌های ناشی از بارندگی در حوضه‌های شهری نیز متأثر از الگوی توزیع زمانی بارش قرار دارد. زمان وقوع اوج شدت بارندگی در طول زمان بارش، بر شکل هیدروگراف و همچنین زمان وقوع پیک دبی رواناب سطحی تأثیر می‌گذارد.

تغییرات شدت بارندگی در طول زمان پیشروی رگبار، تأثیر بسزایی در شکل هیدروگراف و زمان وقوع دبی پیک سیلاب‌های ناشی از بارش دارد. یکی از ورودی‌های مهم مدل‌های شبیه‌سازی سیلاب‌های ناشی از بارندگی در حوضه‌های شهری، الگوی توزیع زمانی بارش است که در بخش شبیه‌سازی بارش رواناب کاربرد داشته و مشخصات هیدرولیکی جریان در مجاری آبروی شهری اعم از روباز و زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲). روش‌های متعددی برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش ارائه شده است. در این تحقیق از روش‌های توزیع یکنواخت بارش، شیکاگو، بلوک‌های تناوبی و SCS تیپ دو استفاده شده است. با توجه به درجه‌بندی کانال‌ها، اهمیت معابر و وسعت حوضه آبریز بالادست دوره بازگشت برای طراحی حوضچه‌های تأخیری ۲۵ ساله و جهت کنترل آن از دوره بازگشت ۵۰ ساله استفاده شده است (نشریه ۳-۱۱۸، ۱۳۷۱).

- روش یکنواخت

با توجه به اهمیت انتخاب الگوی بارش، به عنوان یکی از روش‌های رایج می‌توان به الگوی بارش یکنواخت اشاره نمود که برای هر زیر حوضه زمان تمرکز محاسبه شده و با قضاوت مهندسی بین زمان‌های حاصله زمان مناسب را انتخاب و با توجه به IDF[‡] منطقه، شدت و مقدار بارش محاسبه می‌شود. با توجه به نزدیک بودن زمان‌ها، زمان تمرکز زیر حوضه‌ها را به ۵ دسته زمان‌های ۶، ۲۸، ۳۷، ۵۲ و ۷۲ دقیقه تقسیم نموده که به ترتیب به نام باران‌سنج‌های شماره ۱ الی ۵ نامیده می‌شوند که هر یک به زیر حوضه مربوط با توجه به زمان تمرکز آن‌ها اختصاص می‌یابند. برای بزرگ‌ترین طول آبراهه نیز زمان تمرکز محاسبه شده را مورد توجه قرار داده و برای هر یک از زمان‌های اتخاذ شده،

[‡] *Intensity-duration-frequency*

توزیع یکنواخت بارش مربوطه را به دست آورده و بر حوضه مورد نظر اعمال نموده و دبی طرح حاصل از خروجی مدنظر قرار می‌گیرد.

- روش هایتوگراف شیکاگو

این روش که به Kiefer & chu (۱۹۵۷) نسبت داده شده به روش شیکاگو معروف است چرا که اولین بار برای طراحی شبکه جمع‌آوری زهکش آب‌های شهر شیکاگو توسعه یافت. این روش را می‌توان برای نقاط دیگری که منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی مربوط به بارندگی موجود است مورد استفاده قرار داد. در این روش، رابطه شدت- مدت - بارندگی هر نقطه برای دوره بازگشت طراحی انتخابی به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\bar{\imath} = \frac{A}{t_d^B + C} \qquad (۳)$$

که در آن A، B و C پارامترهای برازش منحنی هستند و t_d مدت زمان رگبار است. شدت لحظه‌ای رگبار طرح با روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$i = \frac{A\left[(1-B)\left(\frac{t_b}{r}\right)^B + C\right]}{\left[\left(\frac{t_b}{r}\right)^B + C\right]^2} \qquad (۴)$$

$$i = \frac{A\left[(1-B)\left(\frac{t_b}{1-r}\right)^B + C\right]}{\left[\left(\frac{t_b}{1-r}\right)^B + C\right]^2} \qquad (۵)$$

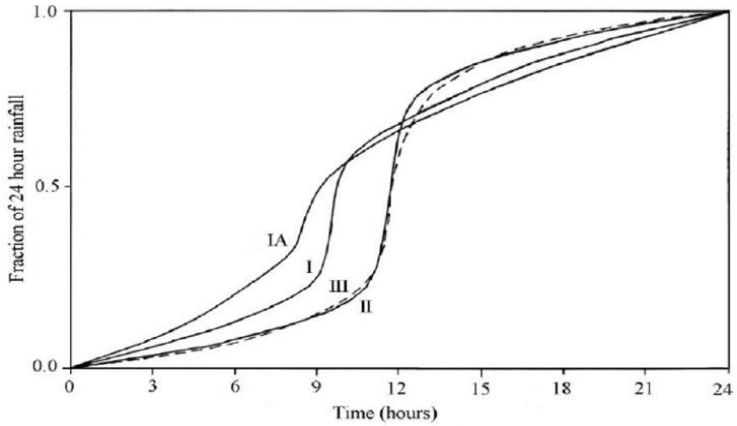
که معادلات (۳) و (۴) به ترتیب برای قبل و بعد از حداکثر شدت بارندگی است و در این معادلات، r : ضریب پیشروی رگبار یا همان نسبت (t_p/t_d) است که در آن t_p زمان اوج شدت بارندگی می‌باشد.

- روش هایتوگراف بلوک تناوبی

از منحنی‌های شدت -مدت - فراوانی محل مورد نظر برای تهیه رگبار طرح با تداوم و دوره بازگشت معین استفاده می‌شود. هایتوگراف ساخته شده در این روش به صورت هیستوگرام مجزا می‌باشد. برای ساخت هر هایتوگراف مربوط به رگبار طرح، رگبارهای با تداوم کمتر و شدت بیشتر مشارکت دارند. در این روش، حداکثر شدت بارندگی به گام‌های زمانی استفاده شده، بستگی دارد و ترتیب قرارگیری شدت‌های بارندگی تا حدودی اختیاری است. یک قاعده سرانگشتی این است که بخش دارای شدیدترین بارندگی بین یک‌سوم و یک‌دوم طول زمانی بارندگی باشد. شدت‌های بارندگی مربوط به بازه‌های زمانی مختلف را به صورت نزولی مرتب کرده، پس از قرار دادن اولین شدت بارش در محل مورد نظر به تناوب شدت‌های کوچک‌تر بعدی را قبل و بعد از شدت حداکثر قرار می‌دهند (Brown et al., 2009).

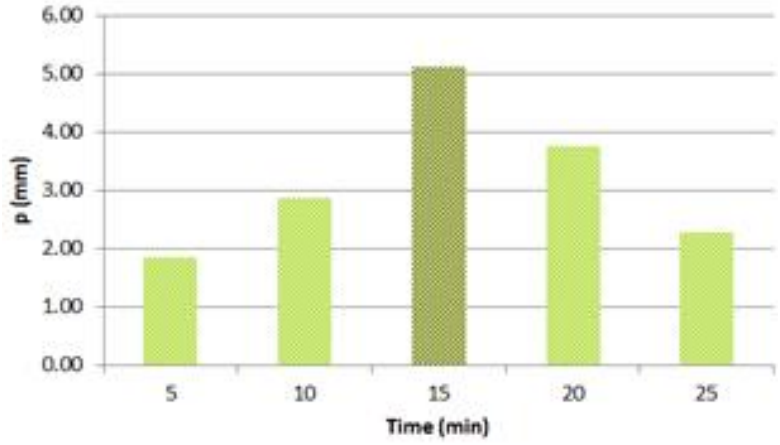
- روش SCS تیپ دو

یکی از الگوهای تیپ بارش در ایالات متحده به الگوی ثبت بارش SCS موسوم است. برای سری پیوسته بارش ۶ دقیقه‌ای تا بارش یک روزه ۲۴ ساعته تهیه شده و با نام‌های الگوی تیپ بارش I، II، IA و III مطابق شکل (۳) معرفی می‌شود (Reese & Debo , 2010).

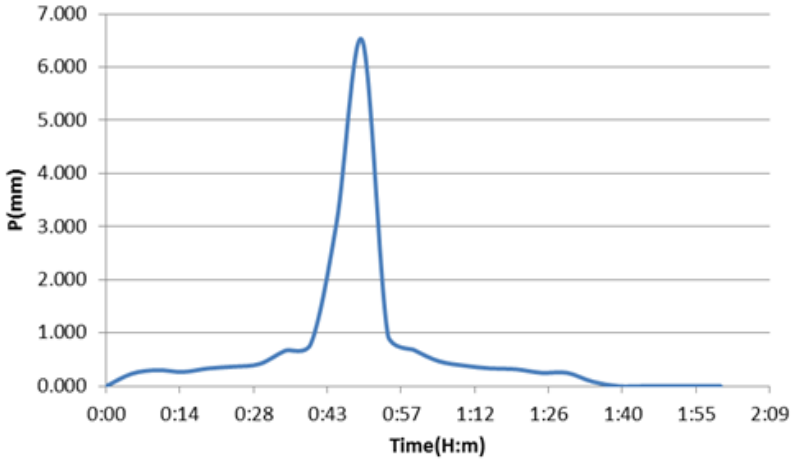


شکل (۳): توزیع بارش به روش *SCS*

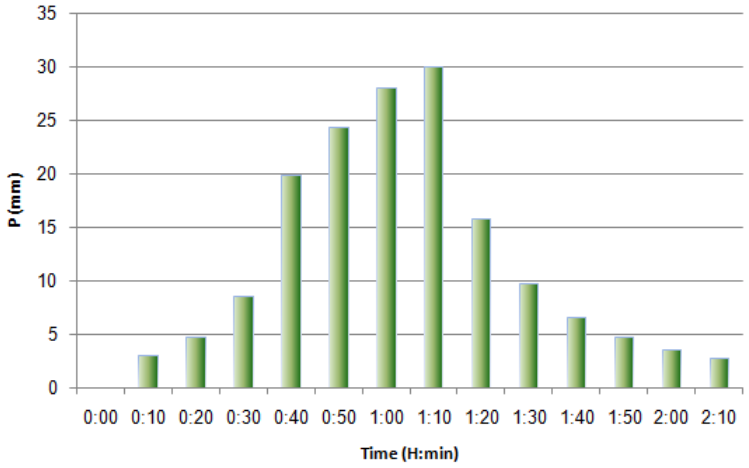
در شکل (۴)، توزیع بارش زمانی با استفاده از روش‌های فوق الذکر آورده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۴): الگوهای بارش به روش‌های مختلف

الف) الگو بارش به روش بلوک تناوبی، ب) الگوی بارش به روش *SCS* تیپ دو ۲۴ ساعته و ج) الگوی بارش به روش شیکاگو

نتیجه تحقیق حاضر بر این نکته تأکید می‌کند که در صورت وجود داده‌های بارندگی مناسب می‌تواند یک روش به عنوان روشی مطمئن جهت تعیین زمان وقوع اوج رگبار در یک ایستگاه یا منطقه مورد استفاده قرار گیرد. بالاخره با وارد کردن الگوهای مختلف بارش به مدل و دریافت نتایج آن که در جدول (۲) مشاهده می‌شود؛ روش بلوک تناوبی را با توجه به تولید حداکثر دبی طرح می‌توان به عنوان روشی مطمئن جهت تعیین زمان وقوع اوج رگبار در منطقه مورد استفاده قرار داد ضمن اینکه با این روش ریسک طراحی و اجرا نیز کاهش می‌یابد.

جدول (۲): دبی طرح حوضه آبریز با الگوهای مختلف بارش

روش	دبی خروجی حوضه (متر مکعب بر ثانیه)
زمان تمرکز هر زیر حوضه	۴۰/۶۸۹
بر اساس زمان تمرکز بلندترین آبراهه	۳۰/۹۷۳
بلوک تناوبی	۵۹/۰۳۹
SCS تیپ دو	۵۳/۳۰۳
شیکاگو	۲۳/۱۲۵

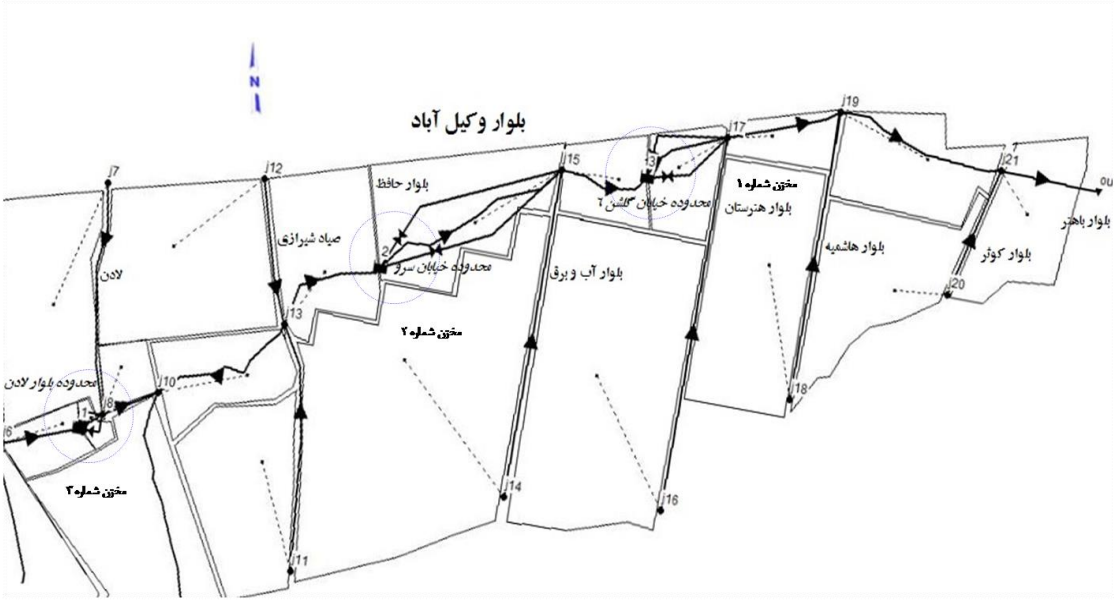
طراحی مخازن نگهداشت سیلاب

مخازن ذخیره یا نگهداشت موقت از جمله رویکردهای نوین مدیریت رواناب شهری هستند که در این بخش ابتدا ملاحظات مربوط به مکان‌یابی مخازن تعدیل سیلاب بیان شده و سپس طراحی و مدل‌سازی مخازن تعدیل سیلاب توسط مدل *SWMM5.0*، تأثیر احداث این مخازن بر مقادیر دبی طراحی مسیل آب و برق و برآورد هزینه‌های اجرایی مربوط به هر یک از این مخازن آورده شده است. پس از جانمایی و مشخص شدن محل احداث مخازن تعدیل سیلاب پیشنهادی و با توجه به استخراج مساحت‌های متفاوت، این مخازن مدل‌سازی شده و میزان تأثیر آن‌ها بر دبی طراحی مشخص می‌شود. در این مطالعه مدل‌سازی در دو بخش مورد بررسی قرار گرفته است که در یک مرحله تنها دو مخزن (یکی واقع در سرشاخه بلوار لادن و دیگری در محدوده بین خیابان‌های سرو ۱۴ و ۱۶) مدل‌سازی شده و در حالت دیگر با در نظر گرفتن سه مخزن (به همراه مخزن واقع در جنب خیابان گلشن ۶) دبی طرح مقایسه می‌شود (شکل۶). هر مخزن تعدیل سیلاب از یک اُریفیس (روزنه خروجی) و یک سرریز تشکیل شده است و پارامترهای مربوط به اُریفیس و سرریز هستند که بر میزان تعدیل سیلاب تأثیرگذار می‌باشند (Mobley & Culver,2012)؛ بنابراین با مدل‌سازی مخازن تعدیل سیلاب این پارامترها در قالب یک فرآیند سعی و خطا تعیین گشته و به منظور برآورد هزینه اجرایی این مخازن، هزینه خاک‌برداری و پوشش هر یک از آن‌ها با توجه به فهرست بهای آبیاری و زهکشی سال ۱۳۹۳ محاسبه گردیده و به منظور در نظر گرفتن هزینه اجرایی تأسیسات برای هر یک از آن‌ها، در ضریب ۱/۵ ضرب شده است.

مکان‌یابی مخازن تعدیل سیلاب

مهم‌ترین موضوع در استفاده از حوضچه‌های نگهداشت موقت رواناب، وجود فضای کافی جهت احداث آن‌ها در شهر نسبتاً پرتراکم مشهد است. با استفاده از بازدید میدانی و مطالعه طرح جامع شهر مشهد، نقشه‌های گوگل ارث و سامانه جامع اطلاعات مکانی مشهد، محل‌های پیشنهادی احداث حوضچه‌ها استخراج می‌گردند. موضوع تخصیص زمین به این قبیل تأسیسات، علی‌الاصول می‌باید در سطح برنامه‌ریزی کلان توسعه شهر و طرح جامع شهر مورد توجه قرار گیرد (*Lim & Lee, 2014*). سرشاخه‌های بلوار لادن به دلیل وجود فضای کافی جهت احداث مخزن تعدیل سیلاب ازجمله مکان‌های مناسب می‌باشد. همچنین به علت تولید رواناب قابل ملاحظه در سرشاخه صیاد شیرازی (۴۴/۴۴ متر مکعب بر ثانیه) و وجود فضای کافی جهت احداث مخزن تعدیل سیلاب به عنوان گزینه‌ای مناسب تلقی می‌شود. با توجه به تراکم شهری در محدوده آب و برق مشهد لازم به ذکر است جهت کاهش دبی پیک سیلاب می‌بایست تعداد حوضچه‌ها

را افزایش داده که از این جهت با توجه به فضای در دسترس یکی از موقعیت‌های پیشنهادی در زمین فوتبال هنرستان طالقانی جنب خیابان گلشن ۶ می‌باشد (شکل ۵). در این شکل که بزرگنمایی بخشی از حوضه آبریز منطقه آب و برق می‌باشد، مخازن شماره ۱، ۲ و ۳ به همراه سرریز و اریفیس مربوطه به ترتیب در زیر حوضه‌های S6، S13 و S15 جانمایی شده‌اند.



شکل (۵): لکه‌گذاری موقعیت مخازن تعدیل سیلاب در محدوده مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که بیان شد، در مرحله اول تنها مدل‌سازی برای مخزن شماره یک (واقع در سرشاخه بلوار لادن) و مخزن شماره دو (ما بین خیابان سرو ۱۴ و ۱۶) صورت گرفت که با در نظر گرفتن ابعاد مختلف برای احجام مخازن، اُریفیس و سرریز نتایج حاصل از مدل‌سازی با اشاره به دبی پیک حوضه آبریز قبل و بعد از احداث مخازن جمع‌بندی شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با اتخاذ ابعاد کوچک، میزان کاهش دبی پیک سیلاب بسیار ناچیز می‌باشد (جدول ۳). با انتخاب مخزن شماره یک با ابعاد ۶ ×۱۳۰×۱۳۰ متر و مخزن شماره دو با ابعاد ۶ × ۱۰۰ × ۱۰۰ متر، با کاهش ۳۱٪ دبی پیک سیلاب مواجه بوده و زمان پیک قبل از احداث مخازن از ۳۷ دقیقه به ۴۱ دقیقه و ۴۵ ثانیه افزایش پیداکرده است که از این زمان به عنوان زمان تأخیر پیک سیلاب یاد می‌شود. در شکل (۷) هیدروگراف تولیدی برای دوره بازگشت ۲۵ ساله با توجه به درجه‌بندی کانال‌ها، اهمیت معابر و وسعت حوضه آبریز بالادست مربوط به قبل و بعد از احداث حوضچه تأخیری آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در جداول (۲) و (۳) آیتم‌هایی که طبق فهرست بهای آبیاری و زهکشی سال ۱۳۹۳ برای احداث مخازن خاکی در نظر گرفته شده است شامل، خاک‌برداری به همراه بارگیری و حمل، تسطیح و رگلاژ سطوح خاک‌برداری شده، آب‌پاشی و کوبیدن بستر خاک‌ریز و استفاده از پوشش ژئوممبراین و ژئوتکستایل می‌باشد (فهرست بهای واحد پایه رشته آبیاری و زهکشی، ۱۳۹۳).

با توجه به کارهای تحقیقاتی که در این زمینه صورت گرفته است، کار مشابه با این موضوع توسط تاج‌بخش و همکاران (۱۳۹۱) برای مَسیل اقبال شرقی در شهر مشهد صورت گرفت که بعد از شناسایی مشکلات منطقه، با جانمایی سه مخزن در راستای مسیل مورد مطالعه نشان داد این حوضچه‌ها قادرند دبی اوج سیلاب را بین ۸ تا ۱۰۰ درصد کاهش داده و ۱۲/۳۵ متر مکعب در ساعت آب را نفوذ دهند.

با استفاده از یک سری روابط ساده شده از تجزیه و تحلیل روندیابی مخزن، یک مبنای صحیحی برای سایزینگ کردن اولیه مخزن‌ها فراهم شد. تحلیل‌ها حاکی از آن است که نسبت ذخیره مورد نیاز به حجم سیلاب (فاکتور ذخیره-سیل) در درجه اول به نسبت دبی پیک خروجی به ورودی، نوع خروجی و شکل هیدروگراف ورودی وابسته است و همین‌طور اینکه خروجی‌های مدفون (روزنه‌ها) نسبت به سرریزها در کاهش دبی پیک سیلاب کارآمدتر عمل می‌کنند. روابط تجربی در ارتباط فاکتورهای سیل - ذخیره برای خروجی‌های روزنه‌ای و سرریزها معرفی شده است که با به‌کارگیری روابط سازمان حفاظت خاک آمریکا منجر به برآورد بهینه‌تر مخزن ذخیره می‌گردد (McEnroe, 1992).

در یک تلاش مداوم پژوهشی مبنی بر ابزار جامع پشتیبانی در خصوص تصمیم‌گیری برای مقیاس طراحی حوضچه، مدلی طراحی شد که برای شناسایی و دستیابی به بهترین ابعاد برای حوضچه مورد استفاده قرار گرفت و هدف اصلی که همان معیارهای کاهش دبی اوج است را برنامه‌ریزی نمود. ضمن پیوستن دپارتمان آبیاری و زهکشی[§]، ابزار ارزیابی آب و خاک[**] و الگوریتم ژنتیک، مدلی برای حوضه آبریز کاسکاسکیا مورد مطالعه قرار گرفت و نتیجه بر این شد که حوضچه‌های تأخیری را می‌توان در یک مقیاس همه جانبه طراحی و به طور مؤثرتر جهت رسیدن به هدف کاهش اوج جریان طراحی نمود (kiani et al., 2007).

یکی دیگر از اثر بخشی‌های مهمی که حوضچه‌های تأخیری دارد، بهبود کیفیت آب می‌باشد که در طی مقایسه‌ای که Martin (۱۹۸۸) بر روی حوضچه‌های تأخیری و تالاب‌ها انجام داد، به اثر بخشی این دو روش در کاهش میزان بار آلاینده موجود در رواناب‌ها اشاره کرد. حوضچه تأخیری در کاهش بار مواد جامد معلق و فلزات به حالت تعلیق مؤثر بوده و تأثیرگذاری آن در جامدات، سرب و روی بین ۴۲ و ۶۶ درصد بوده است.

تالاب‌ها به طور کلی در کاهش بارهای معلق و محلول از مواد جامد و فلزات، عملکرد مناسبی داشته و اثر بخشی آن برای محلول و حالت تعلیق مواد جامد، سرب و روی بین ۴۱ و ۷۳ درصد بوده است و اثر گذاری برای آرَت و فسفر ۲۱ و ۱۷ درصد بوده که با ترکیب این دو سیستم می‌توان بار آلودگی آلاینده‌ها را در آب به شدت کاهش داد.

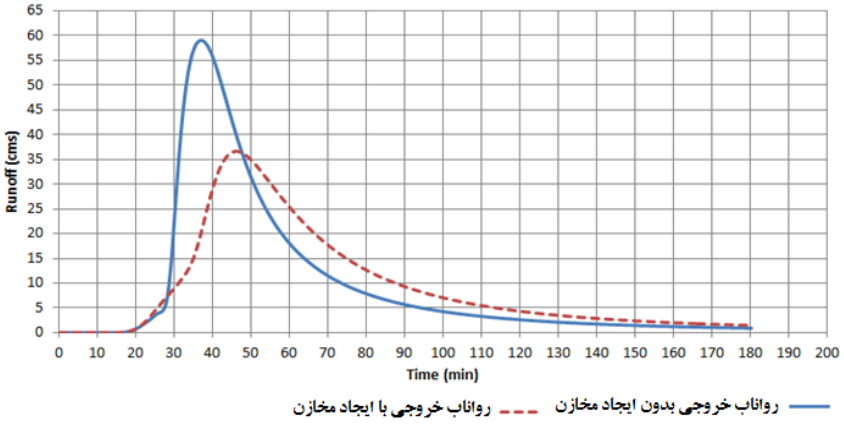
با توجه به فرایند سعی و خطا در انتخاب ابعاد بهینه مخازن تعدیل سیلاب، در جدول (۳) ابعاد مخازن با هزینه احداث مخازن تعدیل سیلاب و درصد کاهش پیک سیلاب آورده شده است.

جدول (۳): مدل‌سازی دو مخزن تعدیل سیلاب با حجم‌های مختلف

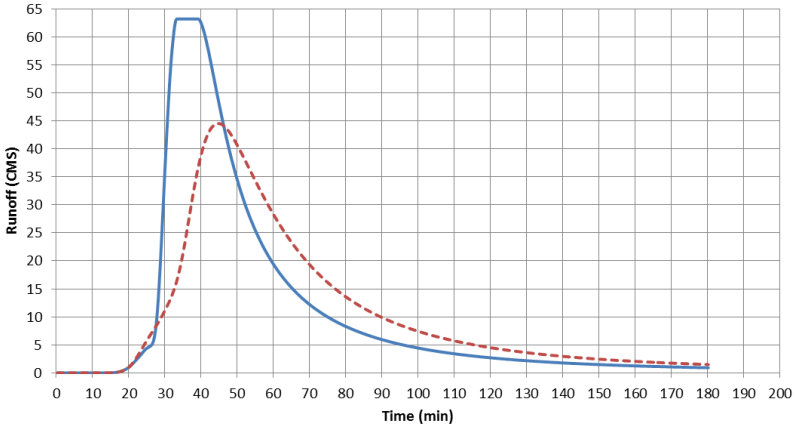
مدل‌سازی	حجم مخزن ۱	حجم مخزن ۲	هزینه احداث	درصد کاهش سیلاب
مدل‌سازی ۱	۵۰×۵۰×۵	۲۰×۲۰×۴	۱۶۱۹۷۶۱۹۵۰	٪۲
مدل‌سازی ۲	۹۰×۹۰×۴	۵۰×۵۰×۳	۴۷۸۷۳۵۹۶۵۰	٪۱۵
مدل‌سازی ۳	۱۱۰×۱۱۰×۵	۹۰×۹۰×۵	۹۷۸۱۸۶۷۵۰۰	٪۲۵
مدل‌سازی ۴	۱۳۰×۱۳۰×۶	۱۰۰×۱۰۰×۶	۱۳۷۵۸۰۱۴۷۰۰	٪۳۱

هیدروگراف خروجی در مسیل آب و برق با توجه به ابعاد نهایی انتخاب شده برای احداث دو مخزن شماره یک و دو با ابعاد ۶ ×۱۳۰×۱۳۰ متر و ۶ × ۱۰۰ × ۱۰۰ متر برای دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله در شکل (۶) آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود زمان دبی پیک قبل و بعد از احداث مخازن با یک تأخیر مواجه است.

[§] *Department of Agriculture's*
[**] *Soil and Water Assessment Tool*



(الف)



(ب)

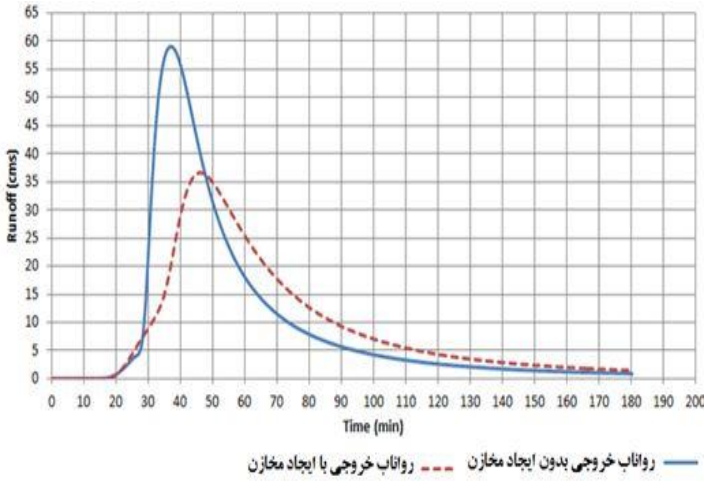
شکل (۶): هیدروگراف رواناب در خروجی مسیل آب و برق با احداث دو مخزن تعدیل سیلاب
الف) دوره بازگشت ۲۵ ساله ب) دوره بازگشت ۵۰ ساله

در مرحله دوم، مدل‌سازی برای سه مخزن شماره یک و دو به همراه مخزن شماره سه واقع در جنب خیابان گلشن ۶ انجام شد. در این مرحله نیز با در نظر گرفتن ابعاد مختلف برای مخازن به دبی پیک سیلاب متفاوت دست یافته که نتایج موجود در جدول (۴) حاکی از آن است که ابعاد کوچک در این منطقه تأثیر اندکی بر روی دبی سیلاب گذاشته است. از این جهت با در نظر گرفتن ابعاد ۶ × ۱۳۰ ×۱۳۰ متر برای مخزن شماره یک، ابعاد ۶ ×۱۰۰ ×۱۰۰ متر برای مخزن شماره دو و ابعاد ۶ × ۹۰ × ۹۰ متر برای مخزن شماره سه، دبی پیک سیلاب از ۵۹/۰۴ متر مکعب بر ثانیه به ۳۶/۶۳ متر مکعب بر ثانیه تقلیل یافته که با توجه به شکل (۷) نیز زمان رخداد دبی پیک از ۳۸ دقیقه به ۴۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه افزایش یافته است.

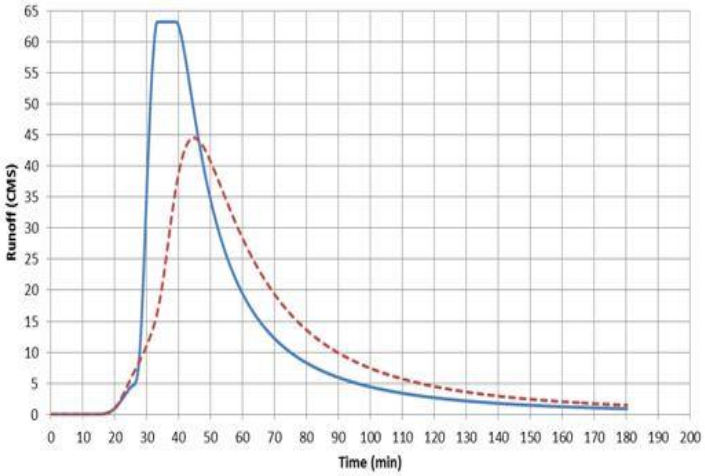
با طراحی ابعاد حوضچه‌ها، از سه مخزن تعدیل سیـــلاب که به ترتیب نام مخازن ۱، ۲ و ۳ نامیده می‌شوند با ابـــعاد ۶ × ۱۳۰ ×۱۳۰ متـــر، ۶ × ۱۰۰ ×۱۰۰ متر و ۶ × ۹۰ × ۹۰ متر با در نظر گرفتن اُریفیس لوله‌ای کار شده در تراز کف و سرریز عرضی در مخازن و با برآورد هزینه ۱۸۰۵۱۲۶۵۸۰۰ ریال به منظور کاهش ۳۸٪ دبی سیلاب طرح را می‌توان به شهرداری منطقه ۹ مشهد ارائه داد. جهت بررسی عملکرد اُریفیس و سرریز، حوضچه‌ها برای دوره بازگشت ۵۰ ساله نیز کنترل شده‌اند.

جدول (۴): مدل‌سازی سه مخزن تعدیل سیلاب با احجام مختلف

مدل‌سازی	حجم مخزن ۱	حجم مخزن ۲	حجم مخزن ۳	هزینه احداث	درصد کاهش سیلاب
مدل‌سازی ۱	۶۰×۶۰×۴	۵۰×۵۰×۴	۲۰×۲۰×۳	۳۱۹۰۴۴۹۰۰۰	۶٪
مدل‌سازی ۲	۸۰×۸۰×۵	۶۰×۶۰×۵	۵۰×۵۰×۴	۶۳۳۰۵۹۱۰۰۰	۱۴٪
مدل‌سازی ۳	۱۰۰×۱۰۰×۶	۹۰×۹۰×۵	۵۰×۵۰×۴	۱۰۴۴۱۶۳۸۷۵۰	۲۵٪
مدل‌سازی ۴	۱۱۰×۱۱۰×۶	۹۰×۹۰×۶	۶۰×۶۰×۴	۱۲۲۵۷۱۸۴۶۰۰	۲۷٪
مدل‌سازی ۵	۱۱۰×۱۱۰×۶	۱۰۰×۱۰۰×۵	۹۰×۹۰×۴	۱۴۷۵۴۶۵۷۳۰۰	۳۴٪
مدل‌سازی ۶	۱۳۰×۱۳۰×۶	۱۰۰×۱۰۰×۶	۹۰×۹۰×۶	۱۸۰۵۱۲۶۵۸۰۰	۳۸٪



(الف)



(ب)

شکل (۷): هیدروگراف رواناب در خروجی مسیل آب و برق با احداث سه مخزن تعدیل سیلاب،
الف) دوره بازگشت ۲۵ ساله ب) دوره بازگشت ۵۰ ساله

منابع

۱. تاج بخش، م. (۱۳۸۷). بازنگری سیستم جمع آوری رواناب شهری توسط شبیه سازی (مطالعه موردی حوضه اقبال شرقی، مشهد). سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. ۲۳ الی ۲۵ مهر، تبریز.

۲. علیزاده، الف. (۱۳۸۹). اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سی‌ام، موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.

۳. فلاح تفتی، الف. (۱۳۸۴). "شبیه‌سازی شبکه زهکشی رواناب‌های سطحی منطقه آب و برق مشهد با استفاده از مدل تلفیقی GIS,MIKE SWMM" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴. فهرست بهای واحد پایه رشته آبیاری و زهکشی (۱۳۹۳). معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور.

۵. کریمی، و.، ک. سلیمانی، م. حبیب نژاد و ک. شاهدی (۱۳۹۲). "مقایسه برخی روش‌های تعیین الگوی توزیع بارش جهت برآورد سیلاب‌های شهری،" فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره سیزدهم.

۶. نشریه ۳-۱۱۸ (۱۳۷۱). مبانی و ضوابط طراحی شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی و فاضلاب شهری، انتشارات سازمان برنامه‌وبودجه، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، وزارت نیرو.

7. Brown S., Stein S. and Warner J. *(2009). Urban drainage design manual*. Hydraulic Engineering Circular No. 22.
8. Debo T.N. and Reese A. *(2010). Municipal stormwater management*.
9. Horner R., May Ch., Livingston E., Blaha D., Scoggins M., Tims J. and Maxted J. *(2002). "Structural and Non- Structural BMPs for Protecting Streams".* Seventh Biennial Storm water Research & Watershed Management Conference, May *22-23*.
10. Kiefer C.J. and Chu H.H. *(1957). Synthetic Storm Pattern for Drainage Design,* Journal, Hydraulic Division, ASCE, *83 (HY4):1-25*.
11. Lim S., Ho V., Lee S., Yoo D. and Kim J. *(2014), Determination of optimal location and capacity of detention facilities.* Procedia Engineering, 70: p. *1037-1045.*
12. Martin, E. *(1988). Effectiveness of an Urban Runoff Detention Pond-Wetlands System.*. J. Environ. Eng., *114(4), 810–827.*
13. McEnroe B. *(1992). Preliminary Sizing of Detention Reservoirs to Reduce Peak Discharges.* J. Hydraul. Eng., *118(11), 1540–1549.*
14. Misgana K., Muleta P.F. Orr C. and JeRo J. *(2005). Using genetic algorithms and particle swarm optimization for optimal design and calibration of large and complex urban storm water management models*. Proceedings of World Environmental and Water Resource Congress.
15. Mobley J.T. and Culver T.B. *(2012). Design of outlet control structures for ecological detention ponds".* Journal of Water Resources Planning and Management,. *140(2): p. 250-257.*
16. Kaini P., Artita K. and Nicklow J. *(2007). Evaluating Optimal Detention Pond Locations at a Watershed Scale.* World Environmental and Water Resources Congress *2007: pp. 1-8*.
17. Yue X. and Shaw L.Y. *(2004). Optimal location and sizing of storm water basins at watershed scale, ASCE. 4-339*.
18. Zeng B., Tan H. and Wu L.j. *(2007). A new approach to urban rainwater manageme.* Journal of China University of Mining and Technology. *17(1): p. 82-84.*

Delay Ponds as a Solution for Sustainable Urban Development and Management

Ghasemi S., Faghfour Maghrebi M.
Email: Soraya.ghasemi@ymail.com
Received: 2015/02
Accepted: 2015/04

Abstract

Assessment of flood phenomena and street floods in runoff transmission network basins shows that in some cases rainwater transmission channels cannot transmit current flow after a while - especially during peak flow- due to an increase in impervious surfaces, particularly owing to some changes in physiographic characters of the basin.. To solve such problems, many research efforts have been undertaken and practical procedures have been implemented. Delay ponds are one of the methods to solve these problems. Other optimal management strategies, BPMs, which can be used depending on the technical and economic conditions in order to solve such problems are biological remain systems, porous coating of streets, vegetative swale, etc. In this paper, a review of literatures is presented and then our research procedure is presented. Then some issues such as drainage network modeling process in the SWMM software environment are presented. The modeling procedure has been done in Status quo coupled with using delay ponds, in order to find the routes in the network and compare both waterways hydrograph (with and without delay ponds), hydrograph of the individual components in existing networks as well as using the network with delay ponds. It was observed that using delay ponds could be effective especially in limited urban areas. And it can reduce the peak hydrograph flow, increase the peak flood time and as a result, control and optimize management of flood. For this purpose during a two-stage modeling, two and three places were positioned for the construction of flood control basins. It is shown that in case of using two and three basins, the peak discharge were is reduced by 31% and 38%, respectively.

Keywords: Optimal management strategy BPMs, Rainfall-run off dynamic simulation, Delay ponds, SWMM model