نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۵، آذر - دی ۱۴۰۰، ص. ۱۰۸۰-۱۰۶۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 15, Dec.-Jan. 2021, p. 1067-1080

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی عملکرد سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی و تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر بر آن (مطالعه مناطق ۱۰ و ۱۱ مشهد)

حامد زاهدی خامنه[۱]، سعید رضا خداشناس[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۳

چکیده:

شهرنشینی باعث افزایش رواناب ورودی به سیستم‌های جمع آوری آب های سطحی می شود. در این پژوهش با استفاده از مدل SWMM[۳] به بررسی عملکرد سیستم‌های جمع آوری آب های سطحی مناطق ۱۰ و ۱۱ شهر مشهد پرداخته شده است. همچنین به منظور تعیین روابط بین متغیر های مدل با یکدیگر و نیز تعیین الویت تاثیر پارامتر ها بر خروجی مدل، آنالیز حساسیت انجام شده است. نتایج نشان داد که سیستم جمع آوری موجود، توان عبور حدود ۸۰ درصد از رواناب سطحی را دارد و به ترتیب ۳۸/۲ و ۲۹/۱ درصد از طول کانال در مدلسازی با دوره بازگشت ۵۰ و ۵ ساله دچار پس زدگی و آبگرفتگی می شوند. به منظور بررسی حساسیت پارامتر ها ورودی نسبت به نتایج خروجی، ۸ پارامتر انتخاب و تاثیر آن ها بر دبی خروجی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که درصد مناطق نفوذ ناپذیر بیشترین تاثیر را بر دبی خروجی دارد و پس از آن، عرض معادل و ضریب زبری در اراضی نفوذ پذیر و نفوذ ناپذیر قرار دارند. همچنین پارامتر درصد اراضی نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی کمتر اثر را داراست. همچنین مشخص گردید با افزایش ۳۰ درصدی مناطق نفوذناپذیر، دبی اوج و رواناب سطحی به ترتیب به میزان ۲۰/۱ و ۱۹/۱ درصد افزایش می‌یابد. بررسی‌ها نشان داد که تغییر کاربری، افزایش اراضی نفوذناپذیر، کاهش ضریب زبری و طراحی نامناسب و قدیمی کانال‌های موجود از دلایل اصلی کاهش عملکرد سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی محدوده موردمطالعه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، زیر حوضه، سیلاب شهری، مدل مدیریت آب باران، مناطق نفوذناپذیر

مقدمه:

رشد جمعیت، توسعه شهری و صنعتی شدن شهرها از مهم‌ترین عواملی است که آثار نامطلوبی در هیدرولوژی حوضه آبریز منطقه بر جای می‌گذارد و به تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی در قسمت‌های پایاب، کاهش جریانات پایه و کاهش تغذیه سفره آب زیرزمینی می‌انجامد. مهم‌ترین عوامل در تحولات هیدرولوژیک عبارتاند از: میزان سطوح نفوذپذیر حوضه و خصوصیات مسیرهای جریان آب. سطوح روکش شده شهری، بام ساختمان‌ها و سطوح خیابان‌ها و پارکینگ‌ها و امثال آن‌ها همانند مانعی در برابر نفوذ آب باران به داخل خاک و تغذیه سفره آب زیرزمینی عمل می‌کند و سبب می‌شود که بخش بیشتری از هر بارندگی به رواناب‌های سطحی تبدیل شود. مدیریت سیلاب شهری مسئول جمع‌آوری رواناب‌های ایجادشده در سطح شهرهاست. بارندگی با شدت زیاد، کاهش نفوذپذیری به دلیل توسعه مناطق شهری و همچنین وجود شبکه‌های جمع‌آوری رواناب با عمر بالا، از دلایل عمده وقوع سیلاب در مناطق شهری می‌باشد (Radmehr, 2010).

هدف اصلی مدیریت معمول سیلاب شهری، تخلیه رواناب از یک منطقه در اسرع وقت است (Ahiablame et al., 2012). در طراحی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی با افزایش و وسیع‌تر شدن سطح شبکه، مقدار خطاهای طراحی افزایش می‌یابد (Shahbazi, 2013). برای کاهش این خطا و طراحی دقیق‌تر نیاز به شناخت پارامترهای مؤثر (همانند درصد مناطق نفوذناپذیر، شیب حوضه آبریز، ابعاد کانال‌ها و ...) می‌باشد.

سیستم جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی در بیشتر شهرهای

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد مشهد، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.5.7.5
3- Storm Water Management Model

ایران از نوع مجزا و عمدتاً به‌صورت سنتی شامل مسیل‌ها، کانال‌ها و جوی‌های روباز است. قرار گرفتن بسیاری از شهرهای ایران در ناحیه‌ی نیمه‌خشک با متوسط بارش سالانه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر، سبب محدود شدن عملکرد جوی‌های باز به زمان بارندگی- که تعداد کمی از روزهای سال هستند- و بدون استفاده ماندن آن‌ها در سایر روزهای سال شده است. از سوی دیگر، در مواقع بارندگی نیز به دلیل وجود نقص‌های ساختاری، مشکلات زیادی در بهره‌برداری، از جمله مشکلات زیست‌محیطی، آلودگی جریان آب سطحی به آلاینده‌ها و زباله‌ها، کاهش و یا عدم تغذیه آبخوان، آب‌گرفتگی معابر و پیامدهای آن و .. ایجاد می‌شود (اردشیر و بهزادیان، ۱۳۹۵). مشهد نیز، به‌عنوان دومین کلان‌شهر ایران، از این قاعده مستثنی نیست.

بررسی جمعیت و میزان توسعه شهر مشهد در طول صدسال اخیر نشان می‌دهد که جمعیت آن در سال ۱۲۷۰ شمسی حدود ۴۵ هزار نفر و مساحت حدود ۷/۵ کیلومترمربع بوده است؛ درحالی‌که بر اساس آمار موجود جمعیت مشهد در سال ۱۳۹۵ برابر با ۳ میلیون نفر و مساحت شهر حدوداً ۳۵۱ کیلومترمربع می‌باشد. در طی یک دهه اخیر با توسعه شهر، جمعیت و مساحت ۱/۲۵ برابر شده است (عزیزی و خداشناس، ۱۳۹۸). با عنایت به توسعه روزافزون شهر مشهد و اهمیت منطقه‌ای و جهانی آن به دلیل قرار گرفتن حرم رضوی، کنترل سیلاب و رواناب در مناطق شهری، طراحی مناسب و همچنین آگاهی از عیوب طراحی جوی‌ها و کانال‌های موجود در شهر، اهمیت خاصی پیدا می‌کند. به گفته مسئولین شهری در سال ۱۳۹۴، ۴۰۰ منطقه بحرانی در برابر سیلاب در شهر مشهد وجود داشته است (تابناک، ۱۳۹۴).

در محدوده شهر مشهد در زمینه بررسی سیلاب و شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی مطالعات مختلفی انجام شده است. شرکت مهندسین مشاور طوس آب در سال ۱۳۷۰ با مدل‌سازی کل حوزه آبخیز شهر مشهد و زهکش‌های مختلف درون و بیرون شهر به بررسی شرایط سیستم‌های جمع‌آوری سیلاب شهری پرداخت. کارشناسان این شرکت، مسیل‌ها و کانال‌هایی را که دارای نقص بودند مشخص کرده و راهکار اصلاحی ارائه کرده‌اند (قبادی، ۱۳۹۷). فلاح تفتی (۱۳۸۴) با کمک نرم‌افزار SWMM شبکه جمع‌آوری آب سطحی حوضه آبریز جنوب غربی شهر مشهد را موردبررسی قرار داد. این پژوهشگر با بررسی آمار ۵۰۴ واقعه بارش این نتیجه رسید که بر اساس شرایط منطقه موردمطالعه، بارش‌های با مقدار کم و زمان کوتاه ولی با شدت لحظه‌ای زیاد از بارش‌های با مقدار زیاد و زمان طولانی‌تر ولی شدت لحظه‌ای کمتر، دبی اوج آب نمود بزرگ‌تری تولید می‌نمایند. قبادی (۱۳۹۷) با استفاده از مدل ASSA[1] به بررسی شرایط شبکه جمع‌آوری رواناب شهری منطقه ۱۰ مشهد پرداختند. آن‌ها بیان داشتند که در هنگام رخداد سیلاب با دوره بازگشت ۵ ساله، برخی از کانال‌ها دچار گرفتگی و پس‌زدگی می‌شوند. همچنین، این پژوهشگران اظهار داشتند با احداث مخزن نگهداشت تا ۳۲ درصد سیلاب حوضه کاهش می‌یابد.

علاوه‌براین، چندین مطالعه نیز در سایر نقاط دنیا به بررسی سیلاب شهری اختصاص داده‌شده است. یانگ و همکاران به بررسی مدیریت رواناب شهری در ۴ منطقه کره جنوبی قبل و بعد از توسعه شهر با استفاده از مدل SWMM پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که این مدل می‌تواند خطاهایی از قبیل دبی اوج کوچک‌تر و زمان تا اوج دبی برای شرایط بعد از توسعه را برطرف کند و آثار هیدرولوژیکی توسعه شهری را به‌خوبی ارزیابی کند (Jang et al 2007). خلیقی سیگارودی و همکاران (۱۳۹۴) شهرک امام علی واقع در منطقه دو شهر مشهد را با مدل SWMM موردبررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش ۳۰ درصدی مناطق نفوذناپذیر، مقدار دبی اوج ۳۸/۳ درصد افزایش داشته است که بیشترین تأثیر را بر دبی اوج داشته و به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر ورودی معرفی شده است. از طرف دیگر، درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی کمترین تأثیر را بر دبی اوج حوزه موردمطالعه دارد .آهیبلامی و شاکیا در مطالعات خود با کمک مدل کامپیوتری مدیریت سیلاب PCSWMM مطالعه موردی روی حوضه شهری مرکزی الینویز امریکا داشتند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش اراضی شهری در فاصله سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۳۰ سبب افزایش متوسط رواناب سالیانه و افزایش ۳۰ درصدی وقوع سیل به میزان می‌شود (Ahiablame and Shakya, 2016). مرادی و دربندی با استفاده از مدل SWMM شهر کرمان را موردبررسی قرار دادند. بر اساس خروجی‌های مدل مشخص گردید که بیش‌ترین حجم سیلاب مربوط به گره‌های انتهایی حوضه بوده است. علاوه بر این، ایشان بیان کردند که دو ساعت پس از شروع شدیدترین سیلاب، حجم رواناب داخل کانال‌ها به بیش‌ترین میزان خود می‌رسد (Moradi and Darbandi, 2017). قاسمی و فغفورمغربی (۱۳۹۴) در مطالعاتشان به مدل‌سازی شبکه موجود جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر مشهد، در منطقه آب‌وبرق و جانمایی مخازن ذخیره با کمک نرم‌افزار SWMM پرداختند. ایشان اعلام نمودند که به‌کارگیری مخازن ذخیره به جهت کاهش دبی اوج هیدرو گراف و افزایش زمان پیک سیلاب و درنتیجه کنترل و مدیریت بهینه سیلاب، کارگشا می‌باشد. از دیگر نتایج مطالعه مذکور آن است که استفاده از دو مخزن ذخیره دبی، پیک سیلاب را به میزان ۳۱ درصد و استفاده از سه مخزن، پیک سیلاب را به میزان ۳۸ درصد کاهش می‌دهد.

اکثر مدل‌های هیدرولوژیکی، پیچیده بوده و پارامترهای مختلفی را شامل می‌شوند. به علت تغییرپذیری بالای این پارامترها و محدودیت زمانی و اقتصادی، مقادیر بسیاری از این پارامترها به‌درستی

1- Autodesk Storm and Sanitary Analysis

شناخته‌شده نیست (Rostami Khalaj et al., 2012). تحلیل حساسیت بینش توانمندی در مطالعه نتایج مدل ایجاد می‌کند که در جریان نتیجه‌گیری ناشی از مدل‌سازی هیدرولوژیکی ازجمله ریسک خطر یا کاهش خطر مهم خواهد بود (Beven et al., 2008).

شریفان و همکاران با استفاده از مدل SWMM سیستم زهکشی شهر شیراز را موردبررسی قرار دادند. آن‌ها با شبیه‌سازی Monte-carlo و روش L.H.S به بررسی تحلیل عدم قطعیت عمق آب در منهول‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که ضریب منهول‌ها از ۱۲ تا ۶۶ درصد متغییر می‌باشد. همچنین مؤثرترین پارامترها بر دبی پیک، مساحت حوضه آبریز و پارامترهای مربوط به حوضه می‌باشند (Sharifan et al., 2010). حیدر زاده و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی حساسیت پارامتر مدل SWMM با استفاده از شاخص ناش–ساتکلیف پرداختند. آن‌ها بیان داشتند که حساس‌ترین پارامترها درصد اراضی نفوذناپذیر و ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر می‌باشد. در مدل‌سازی کمی و کیفی رواناب شهر اسکودای استان جوهور کشور مالزی به‌منظور تحلیل حساسیت پارامترهای تأثیرگذار بر نتایج خروجی مدل (دبی پیک و عمق رواناب)، پارامترهای مساحت اراضی نفوذناپذیر و عرض معادل زیر حوضه‌ها در نظر گرفته شد. بازه تغییرات این پارامترها ۱۰ درصد انتخاب گردید و نتایج مدل‌سازی نشان از تطابق مناسب مدل و نتایج مشاهداتی داشت (Chow et al., 2012). شهبازی و همکارن (۱۳۹۶) به بررسی شبکه جمع‌آوری سیلاب شهر پاکدشت و تعیین پارامترهای مهم ورودی در مدل SWMMپرداختند. ایشان، بر این اساس ۱۰ پارامتر انتخاب کرده و عنوان داشتند که حساس‌ترین پارامتر، درصد اراضی نفوذناپذیر و کمترین حساسیت مربوط به ارتفاع ذخیره‌ی مناطق نفوذپذیر است.

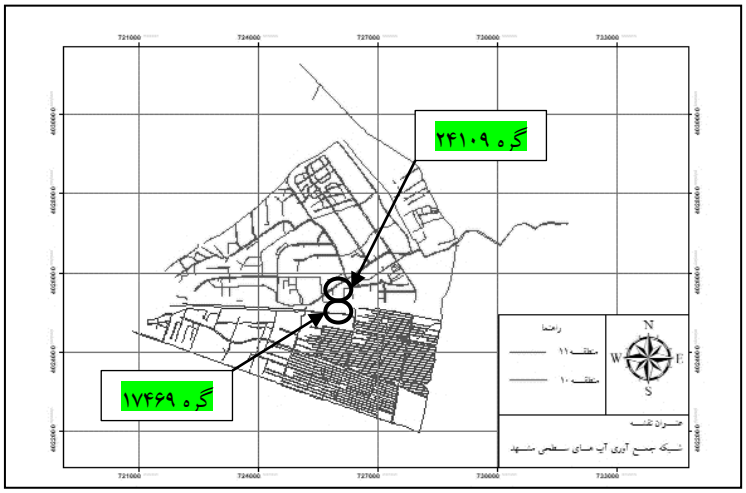
ارزیابی عملکرد و شناخت معایب سیستم می‌تواند در شناخت بهتر نیازها و اصلاح آن کمک کند. همچنین آنالیز حساسیت یک دید کلی برای مطالعه‌ی نتایج مدل ایجاد می‌کند که این دید برای پیش‌بینی پتانسیل خطر یا کاهش خطر مهم می‌باشد.

با توجه به گسترش و توسعه شهر مشهد، تغییر کاربری اراضی، کاهش اراضی نفوذپذیر و از بین رفتن مسیل‌های طبیعی انتقال جریان‌های سطحی عملاً در شرایط هیدرولوژیکی حوضه آبریز شهری مشهد تغییرات ایجاد شده است. در این پژوهش به‌منظور بررسی توان گذردهی شبکه در شرایط موجود و شناخت از نقاط ضعف و دلایل آن به بررسی عملکرد سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی مناطق ۱۰ و ۱۱ مشهد پرداخته شده است. به‌علاوه به‌منظور رفع نقاط ضعف سیستم و ارائه راهکارهای جهت بهبود عملکرد نیاز به شناخت پارامتر مؤثر و به میزان تأثیرگذاری آن‌ها می‌باشد. با بررسی تأثیر پارامترهای حوضه بر عملکرد سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی، حساسیت مدل SWMM نسبت به متغیرهای ورودی نیز موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها:

محدوده موردمطالعه

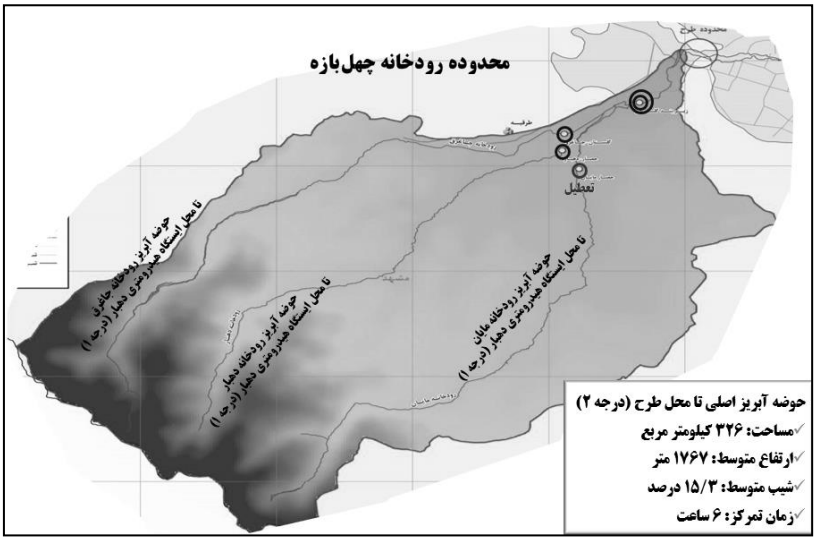
شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی با ۳۵۱ کیلومترمربع مساحت، دومین کلان‌شهر ایران می‌باشد که در شمال شرق ایران بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزارمسجد واقع شده و ارتفاع متوسط شهر از سطح دریا حدود ۱۰۵۰ متر (حداکثر ۱۱۵۰ متر و حداقل ۹۵۰ متر) است. محدوده موردبررسی، بخشی از غرب شهر مشهد (اراضی مناطق ۱۰ و ۱۱ شهرداری مشهد) می‌باشد (شکل ۱). مساحت محدوده ۳۶/۳ کیلومترمربع است.



شکل ۱- نقشه شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی مناطق ۱۰ و ۱۱ مشهد

در این دو منطقه تعداد ۶۷۸ کانال وظیفه انتقال رواناب سطحی محدوده موردمطالعه را دارند همچنین تعداد گره‌ها برابر با ۷۰۲ می‌باشد. مرز زیر حوضه‌ها با استفاده از نقشه کاربری شهر مشهد و نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهری در محیط GIS ترسیم شدند. محدود موردمطالعه به ۶۷۸ زیر حوضه تقسیم گردید. تعداد ۶۷۸ کانال وظیفه انتقال رواناب سطحی محدوده موردمطالعه را دارند. تعداد گره‌ها برابر با ۷۰۲ می‌باشد. تحلیل پارامترهای فیزیکی حوضه بر اساس نقشه DEM شهر مشهد و همچنین داده‌های نقشه‌برداری میدانی صورت گرفته است. زمان تمرکز تمامی زیر حوضه‌ها بر اساس معادله کرپیچ محاسبه گردید که بیشترین میزان زمان تمرکز برابر با ۲ ساعت به‌دست‌آمده است.

علاوه بر رواناب‌های زیر حوضه‌های شهری، محدوده تحت تأثیر سیلاب حوضه آبریز رودخانه گلستان (کال چهل بازه) نیز می‌باشد (شکل ۲). سیلاب این رودخانه از طریق دو کانال وارد محدوده طرح می‌شود که ۶۵٪ سیلاب از گره ۲۴۱۰۹ وارد منطقه ۱۰ و ۳۵٪ سیلاب از گره ۱۷۴۶۹ وارد منطقه ۱۱ می‌گردد. جهت محاسبه سیلاب ورودی حوضه برون‌شهری از آمار ایستگاه هیدرومتری طرقبه استفاده شده است.



شکل ۲- حوضه آبریز کال چهل بازه تا محل ورودی به شهر

اطلاعات بارش رواناب

جهت برآورد رواناب زیر حوضه‌های شهری، از منحنی هم بارش، نمودار شدت مدت فراوانی مشهد ارائه‌شده توسط قهرمان در سال ۱۳۸۳ استفاده شده است (شکل ۳). با توجه به محاسبه زمان تمرکز در زیر حوضه‌ها، بارندگی با مدت‌زمان ۲ ساعت (بزرگ‌ترین زمان تمرکز) انتخاب گردیده است. به‌منظور مدل‌سازی هیدرولیکی ۳ دوره بازگشت ۲، ۵ (دفتر استانداردها و طرح‌های آب و آبفا، ۱۳۹۵) و ۵۰ ساله انتخاب (به‌منظور بررسی کانال ساماندهی رودخانه چهل بازه) و با استفاده از مدل SPSS معادلات شدت بارش برای باران ۲ ساعته با دوره بازگشت‌های مختلف تهیه گردید.

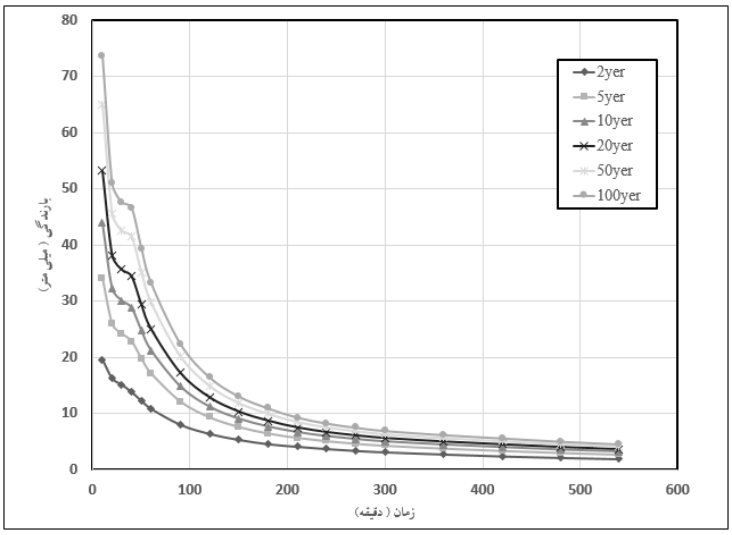
معادله استفاده‌شده برای شدت بارش به شکل زیر می‌باشد:

$$i = \frac{a}{(t+c)^b} \qquad (۱)$$

در این معادله i شدت بارندگی برحسب میلی‌متر بر ساعت، t زمان تداوم بارندگی برحسب ساعت و a,b,c نیز پارامترهای شکل و موقعیت (بی‌بعد) می‌باشند. با استفاده از نرم‌افزار SPSS روابط شدت بارندگی ۲ ساعته برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله محاسبه گردید که به شرح جدول (۱) می‌باشد.

جدول ۱- ضرایب معادله نفوذ

دوره بازگشت	a	b	c	R squared
۲ ساله	۳۲۸۸	۱.۱۸۳	۶۶.۰۱۷	۰.۹۹۷
۵ ساله	۷۲۹۶	۱.۲۹۸	۵۹.۹۳	۰.۹۹۳
۵۰ ساله	۱۸۱۰۰	۱.۳۵۷	۵۵.۲۱۹	۰.۹۸۷



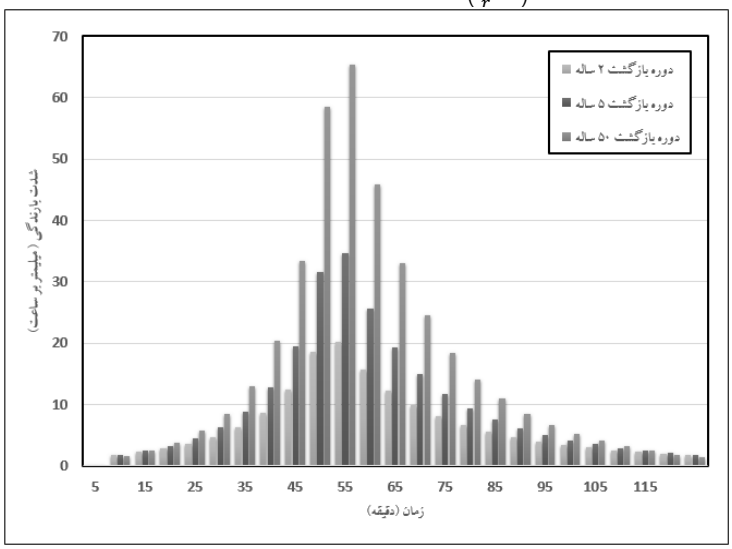
شکل ۳- منحنی شدت- مدت- بارش شهر مشهد

جهت به دست آوردن هایتوگراف بارندگی از روش شیکاگو اصلاح‌شده (اردشیر و بهزادیان، ۱۳۹۵) استفاده شد (شکل ۴). در این روش عمق بارش قبل از زمان بیشینه بارش (PB) و بعد از زمان بیشینه بارش (PA) از روابط زیر به دست می‌آید:

$$P_B = \frac{-a.t_B}{\left(\frac{t_B}{r}+c\right)^b} \quad (۲)$$

$$P_A = \frac{-a.t_A}{\left(\frac{t_A}{1-r}+c\right)^b} \quad (۳)$$

$$r = 0.375t_D \quad (۴)$$



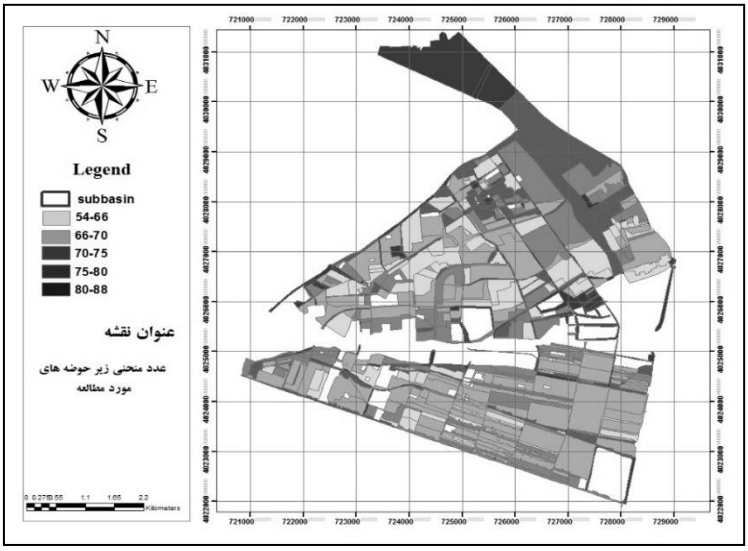
شکل ٤- هایتوگراف باران ۲ ساعته با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله مشهد

نرم‌افزار SWMM

مدل مدیریت آب باران (SWMM) یکی از کامل‌ترین و پرکاربردترین نرم‌افزارهای تحلیل رواناب سطحی است که امکان بهینه‌سازی جریان و باره‌ای آلاینده رواناب شهری و همچنین حمل آن‌ها را از میان سیستم فاضلاب مخلوط- نه‌تنها برای یک رخداد باران بلکه برای دوره‌های طولانی (شبیه‌سازی پیوسته) ارائه می‌دهد (اردشیر و بهزادیان، ۱۳۹۵).

در این پژوهش به‌منظور شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی و بررسی عملکرد آن از مدل SWMM استفاده شده است. برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان از روش موج دینامیک[1] استفاده شد.

1 -Dynamic Wave



شکل ۵- پهنه‌بندی CN در سطح محدوده موردمطالعه

این روش یکی از توانمندترین روش‌های روند یابی جریان است، چراکه این روش معادلات جریان کامل یک‌بعدی سنت ونانت[1] را برای کل شبکه انتقال حل می‌کند (اردشیر و بهزادیان ۱۳۹۵). پارامترهای اصلی ورودی به نرم‌افزار جهت مدل‌سازی شامل مشخصات کانال‌ها و گره‌ها، مشخصات حوضه آبریز، درصد مناطق نفوذناپذیر، هیدرو گراف سیلاب و ضریب زبری می‌باشد. زبری مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر بر اساس تفکیک کاربری اراضی هر زیر حوضه تعیین شده است. بدین منظور، با استفاده از نقشه کاربری اراضی و تصاویر ماهواره‌ای، کاربری هر زیر حوضه به تفکیک و بر اساس منحنی بی‌بعد (CN) شماره منحنی هر زیر حوضه مشخص گردید (شکل ۵). همچنین از روش شماره منحنی جهت برآورد نفوذ استفاده شد. به‌منظور تعیین پارامترهای زبری کانال‌ها علاوه بر راهنمای نرم‌افزار از نتایج مطالعات جامع آب‌های سطحی مشهد (شرکت توس آب) استفاده شد. مشخصات کانال‌ها شامل ابعاد، رقوم ارتفاعی ابتدا و انتها، شیب و... بر اساس نقشه‌برداری صورت گرفته استخراج و با بازدید میدانی انطباق داده شد.

به‌منظور بررسی عملکرد هیدرولیکی و هیدرولوژی شبکه جمع‌آوری سیلاب شهری، شبکه در دو حالت، با در نظر گرفتن حوضه آبریز رودخانه گلستان به‌منظور بررسی عملکرد کانال‌های ساماندهی شده در زمان وقوع پیک سیلاب و بدون در نظر گرفتن حوضه خارج شهری جهت بررسی عملکرد شبکه شهری نسبت به رواناب ایجادشده از زیر حوضه‌های شهری مدل‌سازی گشته است.

نتایج و بحث

بررسی رواناب سطحی حوضه‌های شهری و دبی خروجی از شبکه:

در شکل ۶ هیدرو گراف رواناب سطحی محدوده موردمطالعه و دبی خروجی برای دوره بازگشت‌های مختلف نشان داده شده است. نقطه پیک جریان خروجی بین ۸۰ تا ۹۰ دقیقه از شروع بارندگی اتفاق می‌افتد. همچنین، ۱۶ ساعت طول می‌کشد که شبکه موجود رواناب حاصل از بارندگی ۲ ساعته را انتقال دهد. نتایج نشان می‌دهد که شبکه موجود توان انتقال حدود ۶۹ تا ۸۸ درصد رواناب ایجادشده را دارد.

مقدار سیلاب ایجادشده در سطح محدوده موردمطالعه در جدول ۲ آورده شده است. در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله به ترتیب ۱۲، ۲۰ و ۳۱ درصد از رواناب به سیلاب تبدیل گردیده است. همچنین مقدار سیلاب ایجادشده با دوره بازگشت ۵۰ ساله نسبت به دوره بازگشت ۵ و ۲ ساله به ترتیب ۲.۸ و ۷.۲ برابر می‌باشد (شکل ۷).

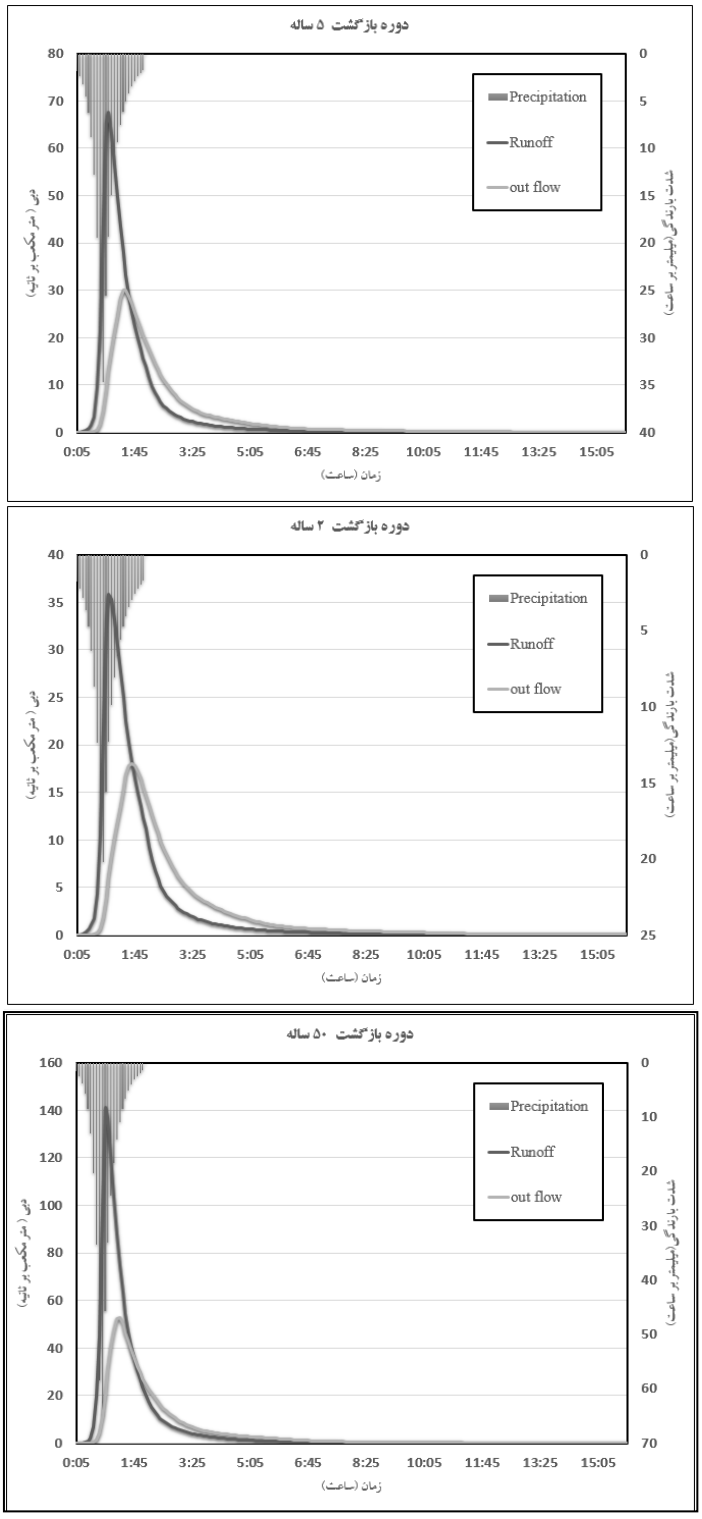
همان‌طور که مشاهده شد شبکه موجود توان و گنجایش عبور تمام رواناب ایجادشده در سطح حوضه‌ها موردمطالعه ندارد و بخشی از آن تبدیل به سیل سطحی شده است. یکی از دلایل این اتفاق را می‌توان به توسعه مناطق نفوذناپذیر در سطح محدوده و عدم تطابق مناسب شبکه موجود با رواناب تولیدشده دانست.

بررسی شرایط شبکه جمع‌آوری رواناب

شکل ۸ نسبت پرشدگی کانال‌های شبکه موجود را در سیلاب با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۵۰ ساله نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده

1 -Saint Venant

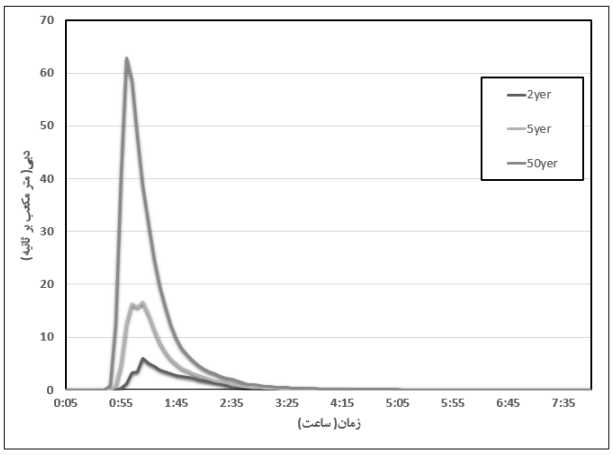
می‌شود در هر دو منطقه ۱۰ و ۱۱ شهر مشهد، جریان آب در برخی نقاط از کانال‌ها خارج و پس‌زدگی اتفاق افتاده است (دایره‌های قرمزرنگ). در حقیقت کانال‌ها، در این نقاط، گنجایش عبور رواناب را ندارند. بحرانی‌ترین زمان ۹۰ دقیقه پس از شروع بارندگی می‌باشد.



شکل ٦- هیدرو گراف جریان ورودی و خروجی از شبکه: الف) با دوره بازگشت ۲ ساله، ب) با دوره بازگشت ۵ ساله، ج) با دوره بازگشت ۵۰ ساله

جدول ۱- مقادیر رواناب و دبی خروجی در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله

	دوره بازگشت ۲ ساله	دوره بازگشت ۵ ساله	دوره بازگشت ۵۰ ساله
حجم رواناب (مترمکعب)	۱۴۸۹۶۲	۲۳۱۵۳۴	۴۱۶۷۶۴
حجم دبی خروجی (مترمکعب)	۱۳۰۶۹۵	۱۸۴۹۵۶	۲۸۵۹۲۵
درصد حجم دبی خروجی از رواناب	۰.۸۸	۰.۸	۰.۶۹



شکل ۷- هیدرو گراف سیل ایجادشده در سطح حوضه با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله

جدول ۲- سیل ایجادشده در سطح حوضه با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله

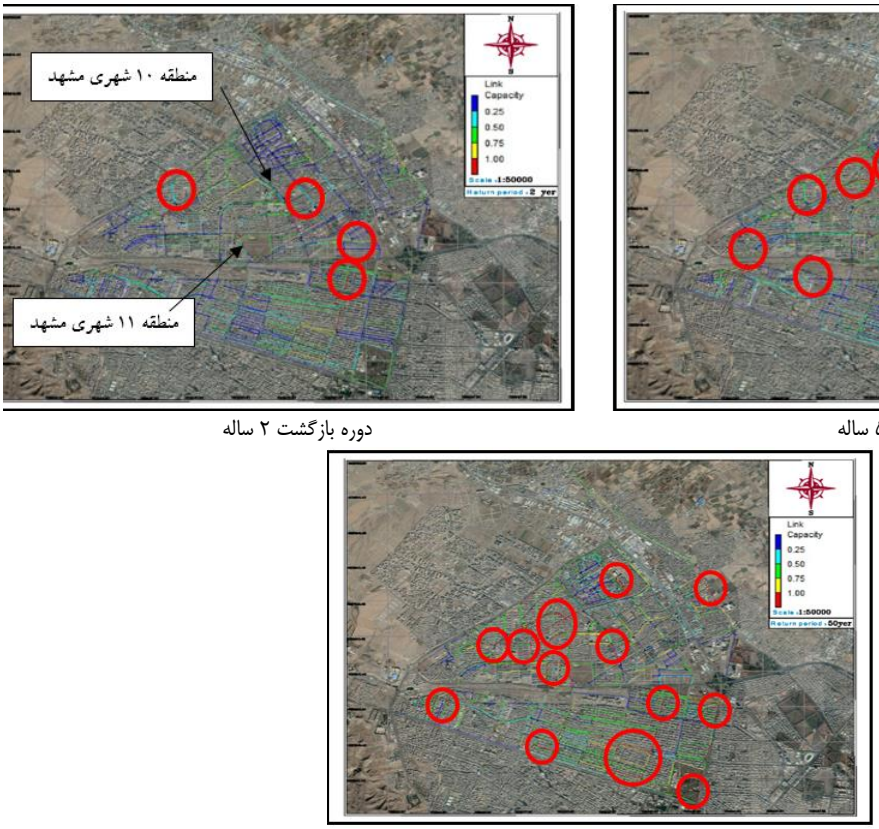
عنوان	دوره بازگشت		
	۲	۵	۵۰
حجم سیل (مترمکعب)	۱۷۸۳۳	۴۵۳۹۰	۱۲۹۶۰۰
درصد حجم سیلاب ایجادشده نسبت به رواناب	۱۲	۲۰	۳۱

در این زمان با توجه به برآورد زمان تمرکز ۲ ساعته، پیک سیلاب زیر حوضه مختلف اتفاق افتاد و کانال‌ها نیز در لحظه پیک سیلابی دچار پس‌زدگی می‌گردند. قبادی (۱۳۹۷) نیز با بررسی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقه ۱۰ با مدل ASSA اعلام کرده بودند که در سیل‌های بزرگ‌تر بخشی از کانال‌ها دچار آب‌گرفتگی می‌شود. همچنین تحقیقات فلاح تفتی (۱۳۸۴) نیز نشان داده بود که سیستم جمع‌آوری در برخی از نقاط در سیلاب‌های کوتاه‌مدت با شدت بالا توان عبور سیلاب را ندارد.

جدول ۳ تعداد و درصد کانال‌ها و گره‌های دچار آب‌گرفتگی و پس‌زدگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در شرایط سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ به ترتیب ۱۵، ۲۹ و ۳۸ درصد از کانال‌ها دچار پس‌زدگی و آب‌گرفتگی می‌شود. خاطرنشان می‌سازد که دوره بازگشت دبی طراحی برای آبروهای شهری ۲ و ۵ ساله بوده و برای کانال‌های انتقال دهند سیلاب‌های خارج از شهر ۵۰ ساله می‌باشد. در اینجا به‌منظور بررسی عملکرد هیدرولیکی شبکه، در هر سه دوره بازگشت توان عبور دهی موردبررسی قرار گرفته است.

جدول ۳- چگونگی عملکرد کانال‌ها: درصد آب‌گرفتگی کانال‌ها

عنوان	تعداد کل	تعداد کانال‌ها و گره‌های آب‌گرفته			درصد کانال‌ها و گره‌های آب‌گرفته		
		دوره بازگشت سیلاب					
		۲	۵	۵۰	۲	۵	۵۰
کانال‌ها	۶۷۸	۱۰۴	۱۹۷	۲۵۹	۱۵	۲۹	۳۸
گره‌ها	۷۰۲	۴۴	۱۰۰	۱۷۰	۶	۱۴	۲۴



دوره بازگشت ۲ ساله

دوره بازگشت ۵ ساله

دوره بازگشت ۵۰ ساله

شکل ۸- چگونگی عملکرد کانال‌ها: درصد پرشدگی کانال‌ها در سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف

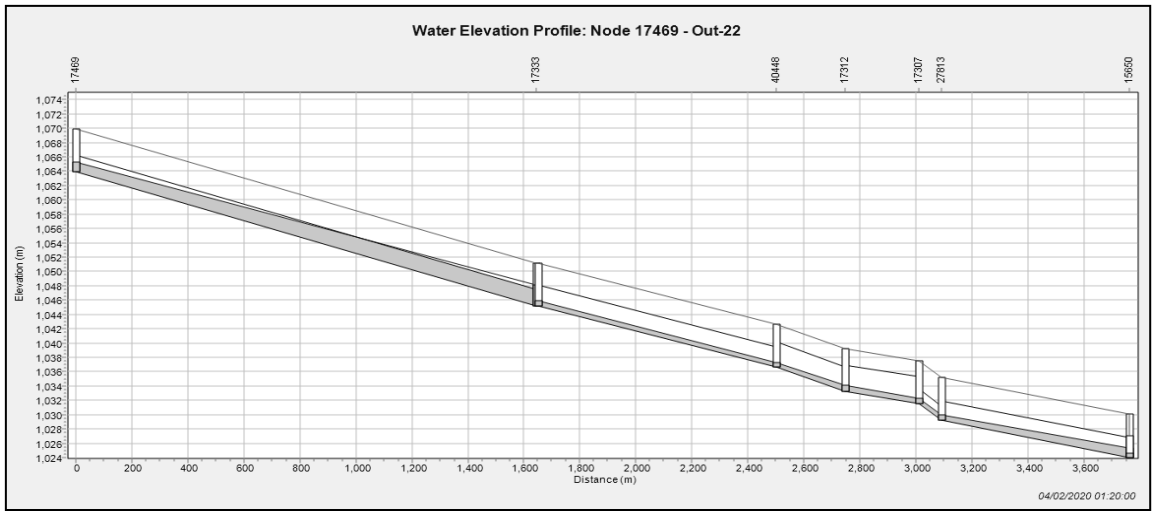
در جدول ۴ سطح اشغال کانال‌ها در هنگام وقوع دبی اوج آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله، به ترتیب ۳۷، ۳۲ و ۲۷ درصد از کانال‌ها از کمتر از ۵۰ درصد ظرفیت خود استفاده می‌کنند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که صرف‌نظر از دوره بازگشت موردبررسی (۲، ۵ یا ۵۰ ساله)، بیش از ۵۰ درصد کانال‌ها یا دارای بیش طراحی هستند یا توان عبور سیلاب را ندارند. بررسی جداول ۲ و ۳ نشان می‌دهد که از دلایل مهم عملکرد نامناسب شبکه موجود، افزایش رواناب سطحی به دلیل کاهش سطوح نفوذپذیر زیر حوضه‌های شهری، فرسوده بودن شبکه و شیب و ابعاد نامناسب برخی از کانال‌ها می‌باشد.

جدول ٤- چگونگی عملکرد کانال‌ها: درصد پرشدگی کانال‌ها در سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف

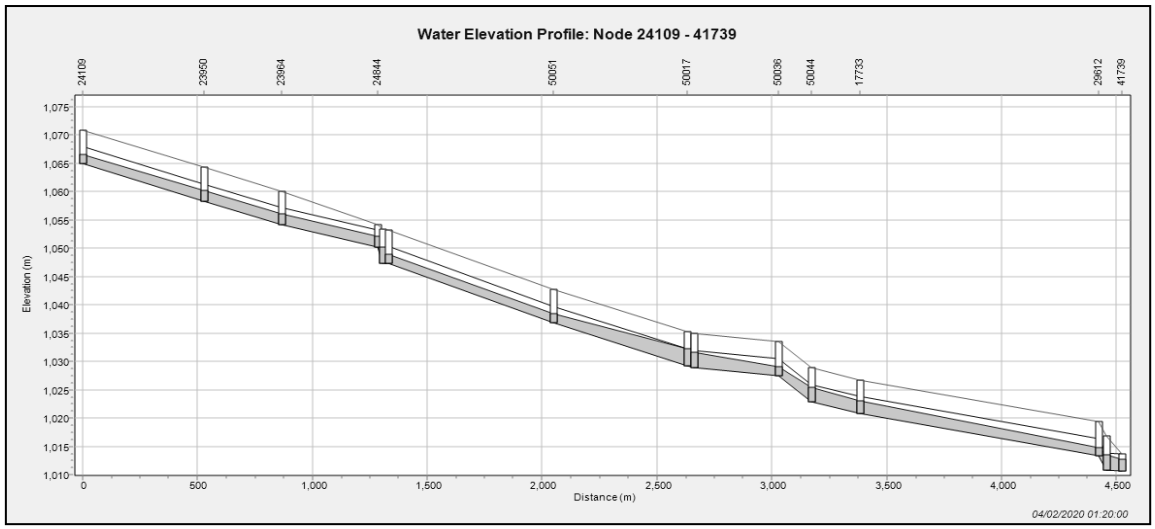
کانال‌هایی که کمتر از ۵۰ درصد از سطح آن‌ها در هنگام سیلاب اشغال می‌شوند				
عنوان	تعداد کل کانال‌ها	دوره بازگشت سیلاب		
		۲	۵	۵۰
تعداد	۶۷۸	۲۵۱	۲۱۶	۱۸۰
درصد		۳۷	۳۲	۲۷

عملکرد شبکه با ورود سیلاب حوضه آبریز گلستان (حوضه برون‌شهری)

چنانچه پیش‌تر بیان شد، سیلاب حوضه آبریز رودخانه گلستان از طریق دو کانال وارد محدوده موردمطالعه می‌گردد. پروفیل طولی مدل‌سازی جریان در دو کانال امامیه- امام هادی (در منطقه ۱۰) و کانال آموزگار (در منطقه ۱۱) که وظیفه انتقال سیلاب حوضه گلستان به پایین‌دست را دارند، در شکل‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت حداکثر و با اضافه شدن جریان سیلابی حوضه گلستان و همچنین رواناب‌های سطحی شبکه، کانال‌های فوق عملکرد مناسبی جهت عبور سیل دارند.



شکل ۹- عملکرد کانال آموزگار در شرایط سیل با دوره بازگشت ۵۰ ساله



شکل ۱۰- عملکرد کانال امامیه- امام هادی در شرایط سیل با دوره بازگشت ۵۰ ساله

تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر بر مدل

بررسی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی شبکه موجود نشان از عدم توانایی شبکه در جمع‌آوری و انتقال رواناب سطحی داشت. به‌منظور شناخت از پارامترهای مؤثر و میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر نتایج مدل‌سازی به بررسی حساسیت متغیرهای موجود در مدل SWMM پرداخته شد. ازاین‌رو ۸ پارامتر ورودی به مدل انتخاب و با استفاده از روش تحلیل حساسیت، تأثیر هرکدام از آن‌ها بررسی شد. مقادیر اولیه این پارامترها و دامنه تغییرات آن‌ها در جدول ۵ آورده شده است. حداکثر دامنه تغییرات + - ۳۰ درصد مقادیر اولیه می‌باشد. سیلاب با دوره بازگشت ۵ ساله (دفتر استانداردها و طرح‌های آب و آبفا، ۱۳۹۵) به‌عنوان سیلاب طراحی انتخاب شده است. درمجموع ۴۸ مرتبه مدل-سازی انجام گرفته است.

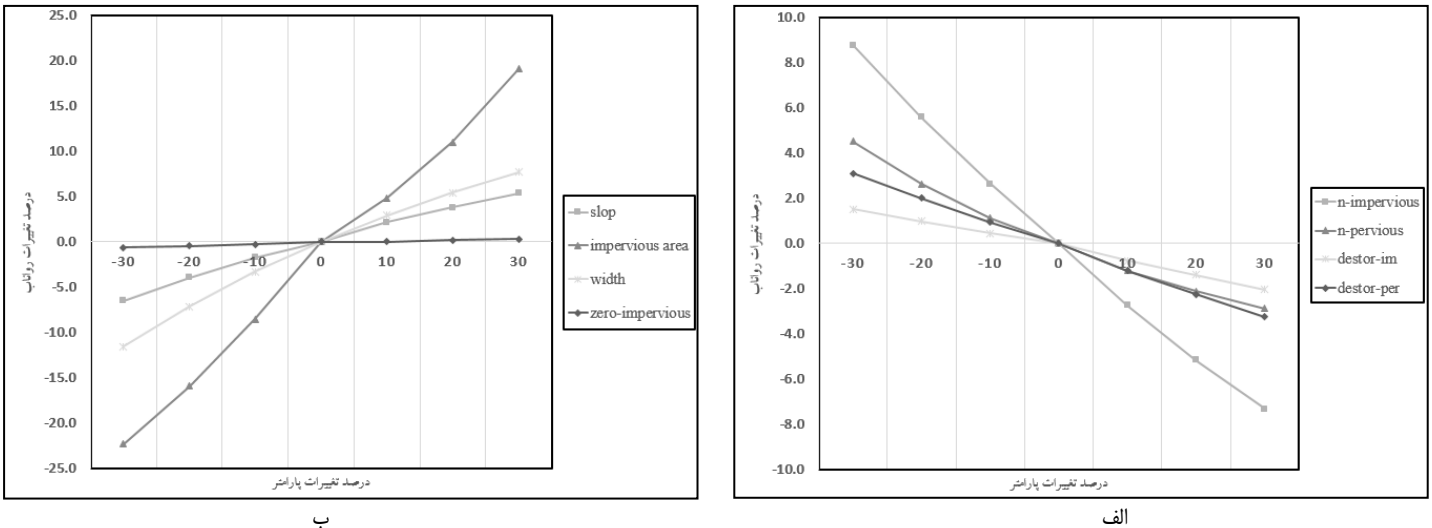
نتایج مدل‌سازی صورت گرفته در جدول ۶ به ترتیب اثرگذاری آمده است. بررسی‌ها نشان داد که مؤثرترین پارامتر در بین متغیرهای آزمایش‌شده، درصد مناطق نفوذناپذیر می‌باشد. این پارامتر با حداکثر دبی خروجی رابطه مستقیم دارد. دلیل آن نیز این است که با کاهش اراضی نفوذناپذیر عملاً شرایط هیدرولوژیکی حوضه به شرایط طبیعی خود نزدیک شده، نفوذ افزایش و درنتیجه حجم رواناب کاهش پیدا می‌کند. پارامترهای مؤثر بعدی به ترتیب عرض حوضه و زبری مناطق نفوذناپذیر می‌باشد. همچنین متغیر درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی کمترین تأثیر را بر دبی اوج خروجی دارد (شکل ۱۱). نتایج فوق با یافته‌های حیدر زاده و همکاران (۱۳۹۶) و شهبازی و همکاران (۱۳۹۶) تطابق خوبی دارد.

جدول ۵- مقادیر اولیه و دامنه تغییرات قابل‌قبول متغیرهای مدل SWMM

ردیف	پارامتر	مقادیر اولیه	دامنه تغییرات	منابع
۱	N-impervious	۰.۰۱۵	۰.۰۳۳ –۰.۰۱۱	Huber and Dickinson (1992)
۲	N-pervious	۰.۱۹	۰.۸ –۰.۰۲	Huber and Dickinson(1992), Temprano et al (2006)
۳	Zero-impervious	۲۵	۲۵–۵	Rossman(2005), Mays L.W(2011)
۳	Dstore-impervious	۱.۹	۲.۵–۰.۳	Huber and Dickinson(1992)
۵	Dstore-pervious	۴.۱	۵.۱–۲.۵	Tsihrintzis and Hamid (1998)
۶	slope		۳۰%±	Natural Resources Conservation Service (NRCS)2008, Temprano et al (2006)
۷	Impervious		۳۰%±	Natural Resources Conservation Service (NRCS)2008, Temprano et al (2006)
۸	width		۳۰%±	Natural Resources Conservation Service (NRCS)2008, Temprano et al (2006)

جدول ٦- تغییرات دبی خروجی و رواناب سطحی نسبت به تغییرات متغیرهای مدل

رتبه	پارامتر	درصد تغییرات رواناب		درصد تغییرات دبی خروجی	
۱	% Impervious	+۱۹.۱	−۲۲.۳	+۲۰.۱	−۲۳.۳	رابطه مستقیم
۲	width	+۷.۷	−۱۱.۶	+۵.۵	−۶.۶	رابطه مستقیم
۳	N-impervious	+۷.۳	−۸.۸	+۴.۸	−۳.۴	رابطه معکوس
۴	% slop	+۵.۴	−۶.۵	+۲.۷	−۵.۱	رابطه مستقیم
۵	N-pervious	+۲.۹	−۴.۵	+۵.۱	−۳.۳	رابطه معکوس
۶	Dstore-pervious	+۳.۳	−۳.۱	+ ۲.۸	−۲.۸	رابطه معکوس
۷	Dstore-impervious	+۲	−۱.۵	+۱.۵	−۱.۳	رابطه معکوس
۸	Zero-impervious	+۰.۳	−۰.۶	+۰.۵	−۰.۶	رابطه مستقیم



ب الف

شکل ۱۱- درصد تغییرات رواناب نسبت به تغییرات پارامترهای ورودی، الف) پارامترها با رابط عکس ب) پارامترها با رابطه مستقیم

نتیجه‌گیری

جهت ارزیابی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر مشهد (مناطق ۱۰ و ۱۱) با استفاده از مدل SWWM در دو حالت با در نظر گرفتن سیلاب خارج شهری و بدون آن، مدل‌سازی صورت گرفت. نتایج مدل‌سازی نشان داد که شبکه موجود قادر به انتقال ۶۹ تا ۸۸ درصد رواناب ایجادشده می‌باشد. در سیل با دوره بازگشت‌های ۵۰،۵ و ۲ ساله به ترتیب ۳۱، ۲۰ و ۱۲ درصد از رواناب سطحی تبدیل به سیلاب می‌گردد. همچنین به ترتیب ۳۸، ۲۹ و ۱۵ درصد از کانال‌ها دچار آب‌گرفتگی و پس‌زدگی می‌شوند. دلیل این امر، افزایش نواحی نفوذناپذیر به دلیل توسعه شهری و فرسوده بودن شبکه فعلی می‌باشد. همچنین ارزیابی شبکه در دبی اوج نشان داد که به ترتیب در دبی با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۵۰ ساله، ۳۷، ۳۲ و ۲۷ درصد از کانال‌ها، از کمتر از ۵۰ درصد ظرفیت خود برای انتقال رواناب استفاده می‌کنند که بیانگر طراحی نامناسب و شیب نامناسب در برخی از کانال‌ها می‌باشد.

همچنین به‌منظور تعیین حساسیت نتایج خروجی مدل نسبت به پارامترهای ورودی با یکدیگر و تعیین پارامترهای تأثیرگذار، آنالیز حساسیت مورداستفاده قرار گرفته است. بدین منظور، ۸ پارامتر ورودی به مدل در نظر گرفته شد. بررسی‌ها نشان داد که درصد مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل حوضه و زبری مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر به ترتیب بیشترین تأثیر را بر روی دبی خروجی و رواناب حوضه دارد. با توجه به تغییر کاربری اراضی و تبدیل اراضی بایر و فضاهای سبز به اراضی شهری، درصد اراضی نفوذناپذیر افزایش می‌یابد و از طرفی باعث کاهش ضریب زبری می‌گردد. ازآنجاکه دبی اوج با درصد اراضی نفوذناپذیر رابطه مستقیم و با زبری رابطه عکس دارد، گسترش شهر تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر افزایش رواناب سطحی و دبی خروجی می‌گذارد. نتایج مدل‌سازی شبکه جمع‌آوری سیلاب موجود نیز مؤید همین نکته می‌باشد.

پیشنهاد می‌شود با انتقال رواناب به سطوح نفوذپذیر همانند فضاهای سبز، اراضی بایر و .. و یا تبدیل سطوح نفوذناپذیر به سطوح نفوذپذیر با تغییر در شکل و مصالح خیابان‌ها، زبری این مناطق نیز افزایش یافته و دبی اوج کاهش یابد.

منابع

اردشیر، ع. و بهزادیان،ک. ۱۳۹۵. مدیریت سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی و کنترل سیلاب شهری. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

حیدر زاده، م.، نوحه‌گر، ا.، ملکیان، آ. و خورانی، ا. ۱۳۹۶. ارزیابی و آنالیز حساسیت کمیت رواناب و سیستم زهکشی در حوضه شهری ساحلی (مطالعه موردی: شهر ساحلی بندرعباس). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴ (۳): ۲۰۳-۲۱۸.

قبادی، ف. ۱۳۹۷. مدل‌سازی سیلاب شهری –مطالعه موردی: حوضه چهل بازه گلستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد.

خلیقی سیگارودی،ش.، رستمی خلج، م.، مهدوی، م. و سلاجقه، ع. ۱۳۹۴. واسنجی و ارزیابی مدل SWMM به‌منظور شبیه‌سازی رواناب شهری (مطالعه موردی: شهرک امام علی (ع) شهر مشهد). مجله منابع طبیعی ایران. ۶۸ (۳): ۴۸۷ -۴۹۸.

دفتر استانداردها و طرح‌های آب و آبفا. ۱۳۹۵. مبانی و ضوابط طراحی شبکه‌های فاضلاب و آب‌های سطحی (بازنگری نشریه‌های ۳-۱۱۸ و ۱۶۳).

شهبازی، ع.، خلیقی سیگارودی، ش.، ملکیان، آ. و سلاجقه، ع. ۱۳۹۶. تجزیه‌وتحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل مدیریت رواناب شهری SWMM (مطالعه موردی: شهر ماهدشت). نشریه پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۰ (۱۱۴): ۶۸ – ۷۵.

عزیزی، ج. و خداشناس، س. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر گسترش شهر مشهد بر سیلاب شهری بین سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران .۴۵ (۱۳): ۱۲۳-۱۳۳.

فلاح تفتی، ا. ۱۳۸۴. شبیه‌سازی شبکه زهکشی رواناب‌های سطحی منطقه آب و برق مشهد با مدل MIKE SWMM . پایان‌نامه کارشناسی ارشد . دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

قاسمی، ث. و فغفورمغربی، م. ۱۳۹۴. حوضچه‌های تأخیری راهکاری جهت توسعه و مدیریت پایدار شهری، نشریه مجله سامانه‌های سطوح آبگیر باران. ۱(۳): ۱ – ۱۴.

Ahiablame, L., Shakya, R. 2016. Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. The Journal of Environmental Management. 171: 81-91.

Ahiablame, L.M., Engel, B. A. and Chaubey, I. 2012. Effectiveness of Low Impact Development Practices: Literature Review and Suggestions for Future Research. Water, Air, & Soil Pollution. 223: 4253–4273.

Beven,K., Pappenberger, F., and Ratto, M. 2008. Multi-Method global sensitivity analysis of food in undation models. Advances in Water Resources.1-14

Chow, M. F., Yusop, Z. and Toriman, M. E. 2012. Modelling runoff quantity and quality in tropical urban catchments using Storm Water Management Model. International Journal of Environmental Science and Technology. 9: 737–748.

Huber, WC.,and. Dickinson, RE. 1992. Storm water

SWMM Model. Watershed Management Research 3(5): 91-81.

Sharifan, R.A., Roshan, A., Aflatoni, M., Jahedi, A. and Zolghadr, M. 2010. Uncertainty and sensitivity analysis of SWMM model in computation of manhole water depth and subcatchment peak flood. Procedia Social and Behavioral Sciences. 2(6): 7739-7740.

Shahbazi, A. 2013. Urban runoff management to reduce risks using SWMM model: Case study: Mahdasht town, MSc thesis, University of Tehran.

Tikkanen H. 2013 Hydrological modeling of a large urban catchments using a stormwater management model (SWMM).M.Sc.Thesis aalto University.

Temprano, J., Arango, O., Cagiao, J., Suarez, J and Tejero, I. 2006. Storm water quality calibration by SWMM: a case study in Northern Spain. Water SA . 32(1): 55-63.

Tsihrintzis, V and Hamid, R. 1998. Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM. Hydrological Processes. 12(2): 311-329.

management model user's manual, version 4. Environmental Protection Agency, Georgia.

Jang, S., Cho,M., Yoon, J., Yoon, Y., Kim, S., Kim, G., Kim, L. and Aksoy, H. 2007. Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment, Desalination. 212(1): 344-356.

Moradi, M. and Darbandi, S. 2017. Approach for appraising spate risks in urban drainage systems using stormwater management model. Watershed Engineering and Management. 9(3): 276-291.

Radmehr, A. 2010. Optimal management of urban surface runoff using spatial multi-criteria decision. MSc. Thesis. University of Tehran.

Rossman, L.A. 2005 Storm Water Management Model user manual. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research & Development United States Enviromental Protection Agency.

Rostami Khalaj, M. Khalighi Sigarodi, Sh .Mahdavi, M. and Salajeghe, A. 2012. Sensitivity Analysis of Variables Affecting on Urban Flooding Using

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 15, Dec.-Jan. 2021, p. 1067-1080

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۵، آذر - دی ۱۴۰۰، ص. ۱۰۸۰-۱۰۶۷

Performance Evaluation of Stormwater Collection System and Sensitivity Analysis of Parameters Affecting It (Study of Districts 10 and 11 of Mashhad)

H. Zahedi Khameneh[1], **S. R. Khodashenas** [2]*

Recived: May. 18, 2021 Accepted: Jul. 04, 2021

Abstract:

Urbanization causes the increase of runoff to stormwater collection systems. In this research, using the SWMM model, the stormwater collection system of districts 10 and 11 of Mashhad has been evaluated. Furthermore, sensitivity analysis model has been used to determine the relationship between model variables as well as to determine priorities of the effect of parameters on output. The results of studies show that the existing collection system has about 80% of discharge capacity of surface runoff and in the modeling 38.2 and 29.1% of the canals with a 50 and 5 years of return period, respectively, face with waterlogging and back flow. In order to assess the effect of parameters on model performance, 8 parameters were selected and their effect on output discharge was evaluated. The results showed that the percentage of impervious surfaces, the equivalent width and the roughness coefficient in pervious and impervious surfaces, respectively, have the most effect on the output discharge. Also, the parameter of the percentage of impervious surfaces without the surface reserve has the least effect. With a 30% increase in impervious surfaces, the peak discharge and the surface runoff increase by 20.1% and 19.1%, respectively. The assessment indicated that the land use change, the increase of impervious surfaces, the decrease of roughness coefficient and unsuitable and old design of existing canals are the main reasons for decrease of performance of stormwater collection system in the study area.

Key words: Impervious surfaces, Sub-basins, Storm water management model, Urban floods

1- Ph.D. Student of Water Engineering, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran
(* Corresponding Author Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)