

مقدمه

الگوی توزیع زمانی بارش در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز کاربرد زیادی دارد و به عنوان یک ورودی اصلی در مدل‌های بارش - رواناب ضروری می‌باشد. سیلاب‌های ناشی از بارندگی در حوضه‌های شهری نیز متأثر از الگوی توزیع زمانی بارش می‌باشند. کریمی و همکاران [۹]. مدل SWMM به وسیله آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) و به منظور شبیه‌سازی پدیده‌های کمی و کیفی مرتبط با سیلاب‌روهای مختلط، طی سال‌های ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۱ تهیه گردید. این مدل، یکی از جامع‌ترین مدل‌های موجود جهت برآورد سیلاب و دبی طراحی در سیلاب‌روهای مستقل و مختلط محسوب می‌شود. اگرچه از این نرم‌افزار در شبیه‌سازی بارش - رواناب در حوضه‌های غیرشهری نیز استفاده می‌شود، ولی کاربرد اصلی SWMM در مدل‌سازی و مدیریت حوضه‌های شهری می‌باشد. احمدی [۱]. در طول سال‌ها، محققان سعی کرده‌اند بین بارش و رواناب ناشی از آن رابطه مناسبی به دست آورند. مدل SWMM در این زمینه، دقت قابل قبولی دارد. زوپو، رستمی و همکاران [۲۹]، [۱۶]. چویی و بال [۲] در مطالعه‌ای با عنوان تخمین پارامتر برای مدل کردن رواناب شهری از مدل SWMM استفاده کردند. مطالعه ایشان بر روی سیستم رواناب پارک مرکزی سیدنی استرالیا انجام شد. آن‌ها جهت واسنجی مؤلفه‌های ورودی به مدل SWMM، به صورت همزمان از سیستم GIS و برنامه‌نویسی MATLAB استفاده کردند. اعتبارسنجی مقادیر پیشنهادی نشان‌دهنده نزدیکی نتایج شبیه‌سازی به داده‌های مشاهداتی بود. میلر و همکاران [۱۵] به بررسی تغییرات رواناب در انگلستان پرداختند و نتایج تحقیق ایشان بیانگر این مسأله بود که در حوضه شهری نسبت به حوضه روستایی که دست نخورده مانده است، پاسخ هیدرولوژیکی قوی‌تری به رواناب پدید می‌آید. هم‌چنین بررسی‌ها نشان دادند که افزایش پوشش و سطوح نفوذناپذیر در حوضه‌های روستایی تأثیر بیشتری بر روی دبی اوج و مدت زمان سیلاب در مقایسه با نواحی شهری موجود دارد، به گونه‌ای که افزایش دبی اوج در نواحی روستایی به میزان ۸۲ درصد در برابر ۴۲ درصد مناطق شهری و مدت زمان سیلاب به میزان ۳ ساعت در مقایسه با ۱ ساعت در نواحی شهری افزایش داشته است. مدل‌های هیدرولوژیکی بسیاری به منظور مطالعه هیدرولوژی حوزه آبخیز ارائه گردیده‌اند، نتایج شبیه‌سازی آن‌ها در توسعه منابع آب و خاک و تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت حوزه‌های آبخیز مفید می‌باشد. ساهو و همکاران [۱۹]. درو و همکاران [۳] در ارزیابی

بررسی تأثیر گسترش شهر مشهد بر سیلاب شهری
بین سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵جواد عزیزی^۱ و سعیدرضا خداشناس^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵

چکیده

سطوح نفوذناپذیر در مناطق شهری در هنگام بارندگی باعث افزایش سرعت خروج رواناب و کاهش فرصت تبخیر و تعرق می‌شود. این امر موجب افزایش دبی اوج و کاهش مدت زمان تمرکز سیلاب در سیلاب شهری می‌شود. در این تحقیق اثر گسترش شهر مشهد بر سیلاب این شهر مورد بررسی قرار گرفته است. برای این بررسی از مدل EPA SWMM استفاده شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مساحت مشهد در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۲۰، ۳۱٫۵ برابر شده است. در نتیجه سطوح نفوذناپذیر این شهر افزایش داشته است. این تحقیق نشان داد که دبی اوج سال ۱۳۹۵ نسبت به سال‌های ۱۳۲۰، ۱۳۵۵ و ۱۳۶۵ به ترتیب به میزان ۳۰۷، ۲۵۹ و ۱۷۷ درصد افزایش داشته است. هم‌چنین نتایج نشان داد که با وجود افزایش وسعت شهر در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۲۰، زمان تمرکز سیلاب از ۶ ساعت در سال ۱۳۲۰ به ۴٫۵ ساعت در سال ۱۳۹۵ کاهش یابد.

کلید واژه‌ها: رواناب، دبی ماکزیمم، مساحت شهر، مقدار

CN. SWMM

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه عمران، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد
۲- نویسنده مسئول و استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، پست الکترونیک: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir

برخوردار است. این بررسی در محدوده **شهر مشهد و با مدل EPA SWMM** انجام شد و دو حالت اصلی برای احداث شبکه آتلانتیس پیش‌بینی شد. نتایج به‌دست‌آمده از هر دو حالت نشان داد که موج سیلاب بیش از ۴۰ درصد کاهش و زمان تمرکز بیش از ۷۰ درصد افزایش دارد. ضمن آن که بیش از ۴۰ هزار مترمکعب آب تصفیه شده نیز در انتهای شبکه قابل ذخیره‌سازی می‌باشد. شاد و هویدافر [۲۰] با بکارگیری مدل‌های SCS, SWMM و با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، منحنی‌های شدت-مدت بارندگی و کاربری‌های شهری خروجی رواناب سطحی به همراه ابعاد کانال‌های زهکش‌های هر حوضه را تعیین کردند. از مقایسه نتایج به‌دست‌آمده و وضعیت زهکش‌های موجود، دبی و ابعاد هر زهکش مورد بازبینی قرار گرفت. در نهایت، نتیجه بیانگر حدود ۷ درصد کاهش در ابعاد کانال‌های زهکش با توجه به اعمال مدل‌های ارائه شده نسبت به وضع موجود منطقه بود. رستمی خلیج [۱۸] شهرک امام علی واقع در منطقه دو شهر مشهد را با مدل SWMM مورد بررسی قرار داد. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش ۳۰ درصدی مناطق نفوذناپذیر، مقدار دبی اوج ۳/۳۸ درصد افزایش داشته است که بیشترین تأثیر را بر دبی اوج داشته و به عنوان حساس‌ترین پارامتر مدل شناخته شد و از طرف دیگر، درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی کمترین تأثیر را بر دبی اوج حوضه مورد مطالعه دارد. نتایج نشان داد که سازگاری خوبی بین دبی و عمق رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد. قاسمی و مغربی [۵] با مطالعه بر روی حوضه منطقه آب و برق شهر مشهد به منظور کاهش دبی اوج و افزایش زمان رخداد اوج سیلاب از حوضچه‌های تأخیری به عنوان یکی از روش‌های کنترل سیلاب استفاده کرد؛ و با استفاده از مدل SWMM 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 اوج به میزان ۳۱ درصد و در صورت استفاده از سه مخزن، دبی اوج ۳۸ درصد کاهش می‌یابد. در این تحقیق، با استفاده از مدل SWMM، اثر گسترش شهر مشهد بر میزان رواناب تولید شده و همچنین اوج سیلاب ناشی از آن طی سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفته است.

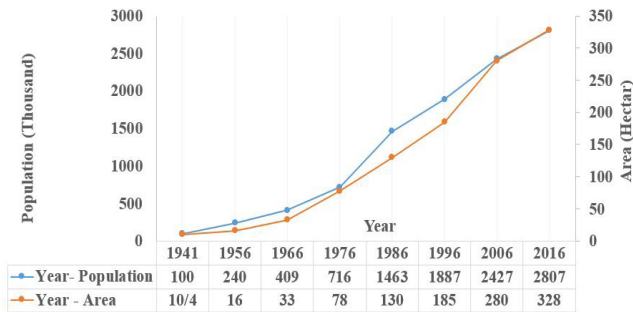
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی، در شمال شرقی ایران، در نواحی پست خراسان واقع شده است. مشهد در حاشیه جنوبی کشف‌رود در بین ۵۹ درجه و دو دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی غربی و ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و هفت دقیقه عرض شمالی جنوبی گسترده یافته است. این شهر بین دو رشته کوه بینالود و هزارمسجد واقع گردیده است و ارتفاع آن از سطح دریا ۹۹۹ متر می‌باشد. وسعت آن در سال ۱۳۹۵، حدود ۳۲۸ کیلومترمربع و جمعیت آن حدود ۲۸۰۷۴۶۴ نفر بوده است سازمان فناوری اطلاعات

اثرات تغییرات کاربری اراضی بر سیلاب حوزه آبخیز میوز به این نتیجه رسیدند که توسعه مناطق نفوذناپذیر با کاهش ظرفیت رطوبت خاک، حجم رواناب را به میزان ۴/۰۶ درصد افزایش می‌دهد. مطالعه عزیزی و خدائشناس [۱۰] بر روی بررسی‌های انجام شده در سه منطقه اروپا، آمریکا و آسیا نشان داد که گرم شدن کره زمین سبب افزایش باران و کاهش بارش برف در زمستان شده است که باعث بالا آمدن سطح آب رودخانه‌ها و در نتیجه افزایش دبی اوج سیلاب رودخانه‌ها شده است. این افزایش سبب خسارات مالی و جانی زیادی و همچنین افزایش احتمال سیل شده است.

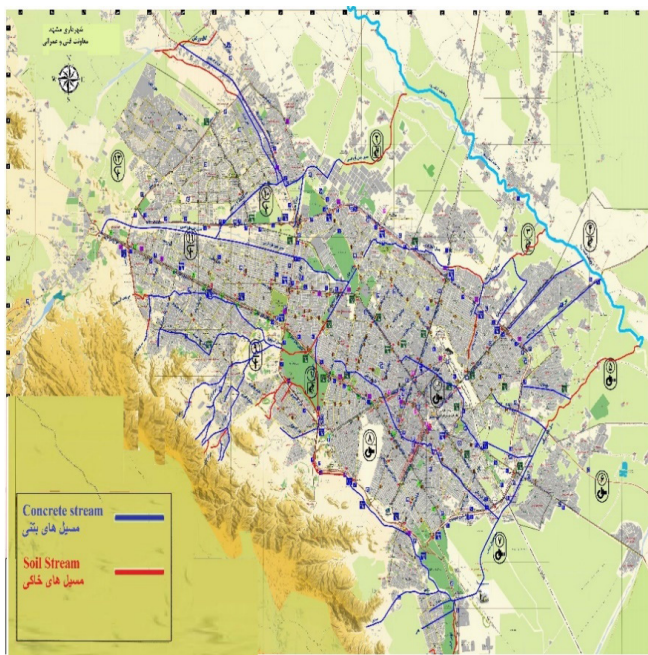
در محدوده شهر مشهد در زمینه بررسی سیلاب و شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی مطالعات مختلفی انجام شده است. شرکت مهندسی مشاور طوس آب [۲۸] در سال ۱۳۷۰ با مدل‌سازی کل حوزه آبخیز شهر مشهد و زهکش‌های مختلف درون و بیرون شهر، نهرهای طبیعی و مسیل‌های دارای نقص و اشکال را شناسایی کردند. این مطالعات از سوی شهرداری مشهد به عنوان طرح مصوب، مبنای اجرای شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی قرار گرفته است. تفتی [۲۱] در سال ۱۳۸۴ با استفاده از مدل‌های GIS و MIKE SWMM به صورت تلفیقی حوزه آبخیز منطقه آب و برق مشهد را شبیه‌سازی نمود و با اعمال بارش با دوره بازگشت‌های ۱۰ ساله، ۳۱ مجرای مستغرق شده را شناسایی نمودند. همچنین نتایج نشان داد که ۹۲ کانال از مجموع ۳۰۰ کانال مورد بررسی، بزرگ‌تر از حد مورد نیاز طراحی و اجرا شده‌اند. صنعتی و احمدی‌جزی [۲۲] با بررسی سه مسیل بزرگ شهر مشهد و با استفاده از روش استدلالی و مدل SWMM و مقایسه آن‌ها با یکدیگر به این نتیجه رسیدند که مقادیر دبی سیلاب به‌دست‌آمده از روش منطقی، بسیار بیشتر از مدل SWMM است و این اختلاف ناشی از ساختار دو روش است. تاجبخش و خدائشناس [۱۱] در بررسی حوزه اقبال شرقی شهر مشهد که با استفاده از مدل MIKE SWMM انجام شد، پیشنهاد استفاده از حوضچه‌های کنترل سیلاب را مطرح کردند و سه مکان مناسب جهت احداث حوضچه‌های کنترل سیلاب شناسایی کردند و ارزیابی عملکرد شبکه نشان داد که ۶ مجرا دچار گرفتگی بوده و دبی شبیه‌سازی آن‌ها از دبی طراحی‌شان بیشتر است. همچنین این حوضچه‌ها دبی اوج سیلاب را به میزان ۸ تا ۱۰۰ درصد کاهش داده و قادر بودند به میزان ۱۲/۳۵ مترمکعب در ساعت آب را نفوذ دهند. حسین‌زاده و جهادی‌طرقی [۸] از دیدگاه ژئومورفولوژی تاریخی و تلفیق آن با روش‌های تجربی، موضوع سیلاب و آب‌گرفتگی شهر مشهد را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند و مشخص کردند که اثرات غیرمستقیم گسترش شهر در داخل حوزه‌های آبخیز منتهی به شهر و اثرات مستقیم آن بر الگوی زهکشی طبیعی در محدوده گسترش بافت فیزیکی باعث تشدید شرایط سیل‌خیزی در این شهر و آسیب‌پذیری بخش‌های وسیعی از بافت آن شده است. طباطبایی قمشه [۲۴] از روش آتلانتیس استفاده کرد. این روش به دلیل تلفیق ابزارهای نفوذ و ذخیره از کارآمدی ویژه‌ای



شکل ۳- تغییرات مساحت و جمعیت شهر مشهد سال‌های ۱۳۲۰-۱۳۹۵

Fig 3. Development of surface and population of Mashhad between 1941-2016.

شهر مشهد دارای حدود ۳۰ کانال اصلی جهت جمع‌آوری آب‌های سطحی می‌باشد که در انتها به ۲۱ مسیل این شهر متصل می‌شوند قاسمی و مغربی [۵]. در شکل (۴) نقشه مسیل‌های اصلی شهر ارائه شده است.



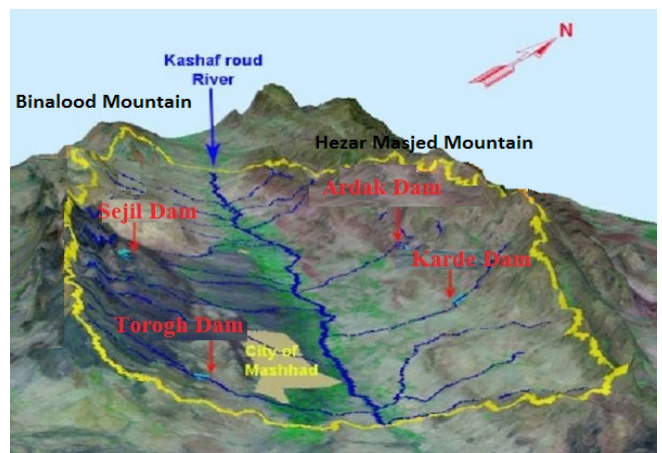
شکل ۴- نقشه مسیل‌های مشهد. شهرداری مشهد [۱۳]

Fig 4. Map of streams of Mashhad [13]

مدل SWMM

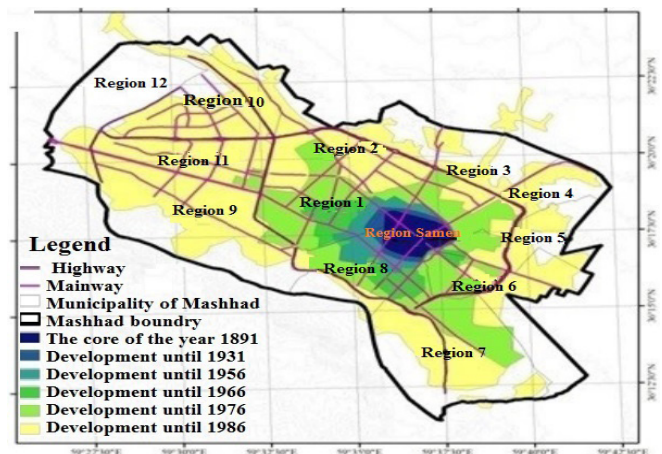
برای حوضه‌بندی شهر از نرم‌افزار GIS استفاده شد. جهت جریان در شهر، از جنوب غرب به سمت شمال شرق می‌باشد. در ادامه با استفاده از نقشه زمین مرجع و دارای مختصات و با توجه به مسیل‌ها، نقشه وضع موجود شهر، شیب شهر و جهت جریان، اقدام به حوضه‌بندی شهر کرده و در نهایت شهر به ۲۸۸ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد (شکل‌های ۶ و ۷). پس از مشخص کردن جهت

شهرداری مشهد [۱۴]. در بخش شرقی، رودخانه کشف‌رود قرار دارد که به عنوان زهکش اصلی و مسیر دفع آب‌های سطحی، خط‌القعر دشت را تشکیل می‌دهد. شیب عمومی دشت مشهد بسیار ملایم و کمی بیش از ۵ در هزار می‌باشد. سازمان فناوری اطلاعات شهرداری مشهد [۱۴] (شکل ۱). تغییرات جمعیتی، مساحت و روند توسعه شهر مشهد بین سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۸۵ در شکل (۲) ارائه شده است. شهرداری مشهد [۱۲]. در دوران قبل از دهه ۱۳۴۰، جمعیت شهر مشهد در هر ۳۵ تا ۴۰ سال دو برابر می‌شده است، ولی در فاصله سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵، جمعیت شهر تقریباً ۶/۹ برابر و مساحت شهر نیز تقریباً ۱۰ برابر شده است. این تغییرات در شکل (۳) مشخص شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در دشت مشهد. دولتی [۴].

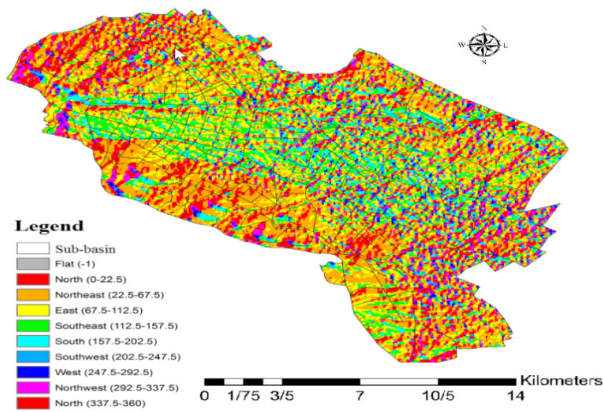
Fig 1. Location of case study in the Mashhad Plain



شکل ۲- توسعه مشهد طی سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۲۰

سازمان فناوری اطلاعات شهرداری مشهد [۱۴].

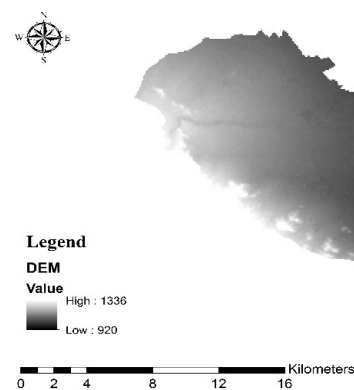
Fig 2. Development of Mashhad during 1891 - 1996 [14].



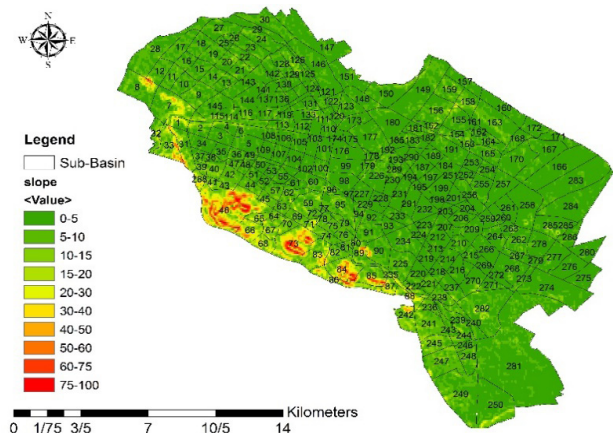
شکل ۷- نقشه جهت جریان
Fig 7. Flow direction map

برای محاسبه CN زیرحوضه‌ها، در ابتدا پس از محاسبه مساحت کل هر زیرحوضه در GIS، مساحت مناطق مسکونی نیز به طور جداگانه از طریق همین سیستم محاسبه و با شیب فایل تراکم جمعیتی شهر، کنترل شد. هم‌چنین مساحت مناطق بایر، کشاورزی و پارک‌ها نیز مشخص گردید. تعداد ۲۰ محله از ۱۳ منطقه مشهد، به صورت تصادفی به عنوان نمونه انتخاب گردید و مساحت خیابان‌های آن‌ها محاسبه شد و نمونه‌ها با توجه به محلات به کل حوضه تعمیم داده شد. برآورد مساحت خیابان‌ها نشان داد که ۲۷ درصد مناطق دارای پوشش آسفالت می‌باشند. سپس مقدار CN برای هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه گردید. بیشتر حوضه‌ها به عنوان حوضه مسکونی در نظر گرفته شد و به دلیل دشوار بودن تفکیک مناطق تجاری و صنعتی در داخل شهر، میانگین قسمت‌های مسکونی، تجاری و صنعتی در مساحت مسکونی برای حوضه‌هایی که دارای مناطق مسکونی، تجاری و صنعتی بودند ضرب شد. در نهایت CN زیرحوضه‌ها محاسبه شد (برای میانگین CN شهر، عدد ۸۲ به دست آمد) و درصد مناطق نفوذناپذیر با توجه به نقشه شهر، محاسبه مساحت مناطق مسکونی و غیرمسکونی، مساحت مناطق کشاورزی، خیابان‌ها و ... و هم‌چنین با توجه به CN منطقه محاسبه گردید (جدول ۱). در جدول ۱، روند محاسبه CN ۵ زیرحوضه برای نمونه نشان داده شده است. برای زمین‌های کاملاً نفوذپذیر، مقدار ۱۰ درصد به عنوان قسمت نفوذناپذیر و مبنایی برای زیرحوضه‌های نفوذپذیر با مشورت کارشناسان خبره در نظر گرفته شد. انتخاب این عدد به این دلیل است که چون در زمین‌های نفوذپذیر به علت سیمانی شدن، وجود سنگ و ... آب به صورت ۱۰۰ درصد نمی‌تواند نفوذ کند، بنابراین این مقدار به عنوان مقدار پایه نفوذناپذیر در نظر گرفته شد. هم‌چنین ۵۰ درصد مناطق مسکونی نیز به عنوان مناطق نفوذناپذیر در نظر گرفته شد. سازمان مدیریت و برنامه ریزی [۲۶]. در مجموع، مساحت خیابان‌ها و منطقه مسکونی با یکدیگر جمع و تقسیم بر مساحت کل بر حسب درصد به عنوان درصد مناطق نفوذناپذیر محاسبه شد و با ۱۰ درصد پایه جمع گردید. عدد به دست

شیب خیابان‌ها با بازدید میدانی از سطح شهر و با استفاده از نقشه‌های به‌دست آمده شیب، جهت جریان، حوضه‌بندی، نقشه وضع موجود و نقشه مسیل‌ها نقاط گره‌ها و مسیر آبراهه‌ها مشخص شد. نهایتاً شبکه با ۳۹۸ گره، ۳۹۹ کانال انتقال رواناب و ۵ نقطه خروجی اصلی شهر بسته شد (شکل ۸). پنج نقطه خروجی از حوزه و محل اتصال به کشف‌رود عبارت‌اند از: انتهای مسیل‌های چهل‌بازه، اقبال غربی، اقبال شرقی، التیمور و مسیل طبرسی. شرکت مهندسین مشاور طوس آب [۲۷]. نقاط ارتقاعی گره‌ها نیز با استفاده از DEM (شکل ۵) منطقه محاسبه شد. پس از مشخص شدن مساحت زیرحوضه‌ها، ارتفاع گره‌ها و طول مسیر آبراهه‌های حوضه‌ها، مقادیر به دست آمده وارد مدل SWMM شد. در این مدل، به منظور تعیین افت در شبکه‌های انتقال آب، از معادله‌های داریسی و یسباخ، هایزن ویلیامز و مانینگ، جهت تعیین میزان نفوذ در زیرحوضه‌های شهری، از معادلات نفوذ گرین آمپت و هورتن، و برای تعیین رواناب و نفوذ از روش شماره منحنی (SCS) استفاده شده است. هم‌چنین جهت روندیابی، معادلات سنت-نانت و برای حل این معادلات، روش‌های روندیابی جریان ماندگار، موج سینماتیکی و موج دینامیکی به کار برده شد.



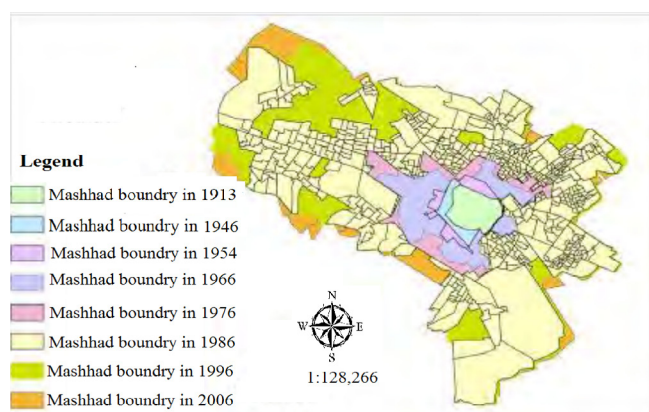
شکل ۵- نقشه DEM مشهد. شهرداری مشهد [۱۳]
Fig 5. DEM map of Mashhad [13].



شکل ۶- نقشه شیب شهر با استفاده از DEM منطقه
Fig 6. Map of the city slope using DEM

Table 1. CN sub-basin calculations

Sub-basin	Area (Hectar)	N Street (نمونه خیابان)	Percent (street of total) درصد خیابان	A (street) مساحت خیابان	A (50%) (Residential) مساحت مسکونی (۵۰درصد)	A (&Park) مساحت زمین باير و پارک	A (Agriculture) مساحت کشاورزی	A*CN (Street) =98	A*CN (Residential) =81	A*CN(Wasteland) =74	A*CN (Agriculture) =78	A*CN (Park) =74	CN
110	70.37	1	13	9.15	13.37	34.48	0	841.60	2165.92	2551.52	0	0	79
111	52.31	1	18	9.42	14.65	13.60	0	866.25	2372.76	1006.40	0	0	81
112	60.74	1	27	16.40	22.17	0	0	1508.88	3591.79	0	0	0	84
113	74.98	1	0	0.00	0.00	74.98	0	0	0	5548.69	0	0	74
114	116.20	1	0	0.00	0.00	116.20	0	0	0	8598.77	0	0	74
115	51.36	4.5	30	15.41	17.98	0	0	1417.58	2912.21	0	0	0	84



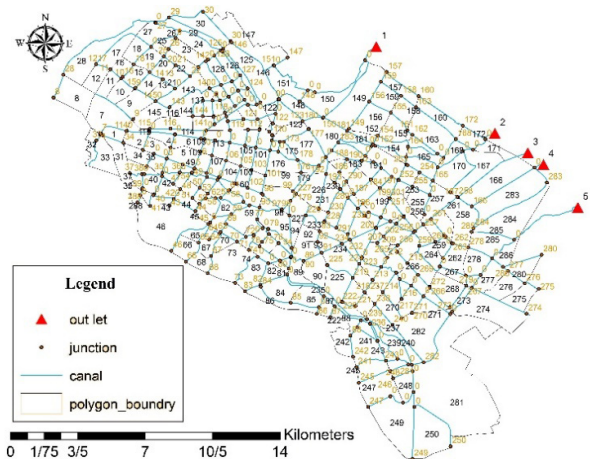
شکل ۹- نقشه توسعه شهر از سال ۱۲۹۲ تا سال ۱۳۸۵ شهرداری مشهد [۱۲].

Fig 9. City development map between 1913 to 2006 [12].

در این تحقیق، از روش تجمعی برای داده‌های بارش استفاده و دوره زمانی ۳۰ دقیقه انتخاب و برای محاسبه و انتخاب الگوی بارش از روش SCSII استفاده شد که به صورت یک توزیع غیریکنواخت می‌باشد (شکل ۱۰). در محاسبات، بارش با تداوم ۳۶۰ دقیقه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی [۲۶] و دوره بازگشت ۲۵ ساله از IDFهای شهر مشهد استفاده شد قهرمان [۷] و مبنای محاسبات قرار گرفت. مقادیر به دست آمده در جدول (۲) ارائه شده است که با توجه به شرایط حوزه و استفاده از روش SCS و همچنین شبیه بودن رگبار شهر مشهد به SCS تپ II استفاده از این الگوی بارش مبنای کار قرار گرفت.

آمده به عنوان درصد منطقه نفوذناپذیر وارد مدل شد. برای سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۷۵، ۱۳۶۵، ۱۳۵۵، ۱۳۴۵، ۱۳۳۵ و ۱۳۲۰ با توجه به نقشه توسعه شهر (شکل ۹) و به علت گسترش شهر و افزایش مناطق نفوذناپذیر از سال ۱۳۲۰ تا سال ۱۳۸۵، مقادیر CN مجدداً بررسی و مطابق با همان سال به دست آمد.

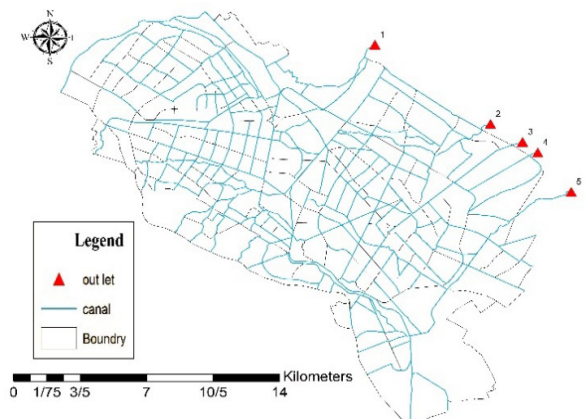
ابعاد کانال‌ها ثابت فرض شد و ضریب زبری نیز برای کانال‌های شهر ثابت در نظر گرفته شد. کانال‌های اصلی از سال ۱۳۶۵ به قبل به صورت کاملاً خاکی فرض شد. زیرحوضه‌هایی که از محدوده شهری خارج می‌شدند، کانال‌های آن‌ها حذف و رواناب با گذشتن از سایر زیرحوضه‌ها و انتقال به کانال اصلی جمع‌آوری شد. مناطق شمالی و شرقی شهر به عنوان زمین‌های کشاورزی و زمین‌های مناطق جنوبی و قسمتی از مناطق غربی شهر، به عنوان باغ فرض شد. ضریب مانینگ نیز برای مناطق نفوذناپذیر، ۰/۱۳ و برای مناطق نفوذپذیر، ۰/۱-۰/۱۳ در نظر گرفته شد راهنمای SWMM [۲۳].



شکل ۸- تعیین مسیر آبراه‌های اصلی در سطح شهر

Fig 8. Determining the direction of the main waterways in the city

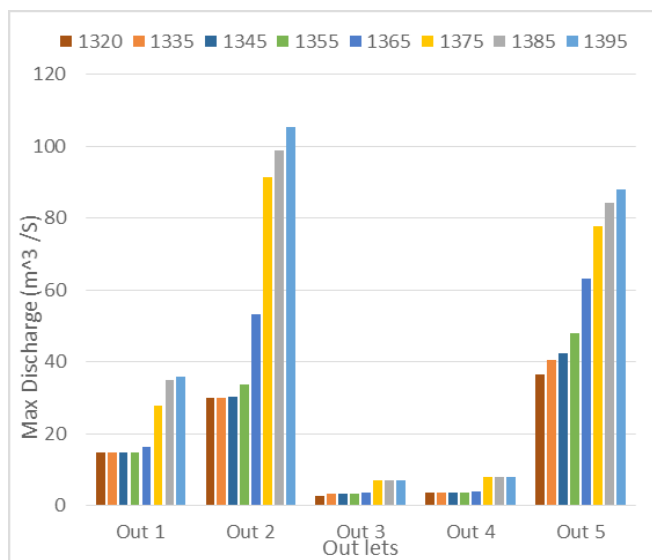
سال‌های مذکور ۱۶ بار اجرا شد و جواب حاصل از آن به دست آمد. این مدل در دو حالت واقعی^۱ و مجازی^۲ اجرا شد. در شکل ۱۱، موقعیت ۵ خروجی اصلی شهر و آبراه‌ها مشخص شده است.



شکل ۱۱- محل خروجی‌های اصلی شهر

Fig 11. Main outlets location of the city

افزایش میزان دبی در حالت واقعی با گذشت سال در هر خروجی در شکل ۱۲ و دبی خروجی برای حالت مجازی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۱۲، مقادیر دبی بین سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵ در حالت واقعی برای هر یک از خروجی‌های مسیل‌های اصلی شهر (out1 تا out5) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



شکل ۱۲- مقایسه دبی برای خروجی‌های حوزه بین سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵ در حالت واقعی

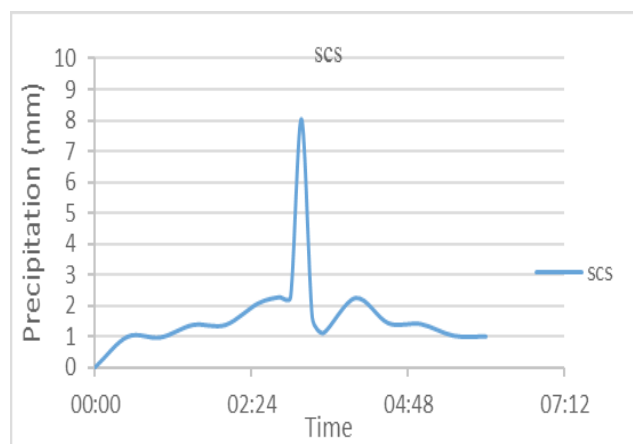
Fig 12. Comparison of maximum discharges for watershed outflows between 1941 and 2016 (in Real mode)

1- Real
2- Free

جدول ۲- توزیع بارش با روش SCSII

Table 2. Distribution of precipitation by SCS II method

Depth	SUM depth	Percent Total Depth	Time	Total Depth
عمق	جمع عمق بارش	درصد جمع عمق	زمان	مجموع بارش
0.000	0.000	0.000	00:00	29.06
0.988	0.988	0.034	00:30	
0.959	1.947	0.067	01:00	
1.366	3.313	0.114	01:30	
1.366	4.679	0.161	02:00	
2.064	6.743	0.232	02:30	
2.267	9.010	0.310	02:50	
2.267	11.277	0.388	03:00	
8.022	19.299	0.664	03:10	
1.599	20.897	0.719	03:20	
1.104	22.002	0.757	03:30	
2.238	24.240	0.834	04:00	
1.424	25.664	0.883	04:30	
1.395	27.059	0.931	05:00	
1.017	28.076	0.966	05:30	
0.988	29.064	1.000	06:00	



شکل ۱۰- نمودار الگوی بارش به روش SCSII

Fig 10. Rainfall pattern by SCS II

نتایج

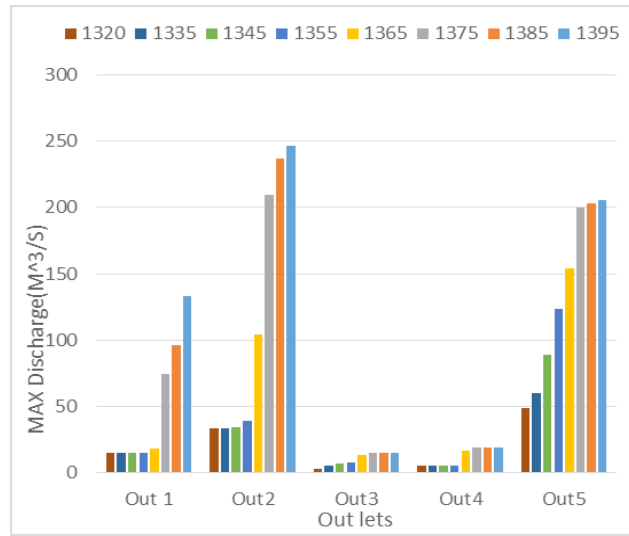
پس از مشخص شدن الگوی بارش مناسب، مدل برای سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵ اجرا شد. برای این منظور دو حالت در نظر گرفته شد: (۱) ابعاد واقعی کانال‌های موجود در داده‌های مدل وارد شد تا به وسیله آن بتوان شرایط زهکشی واقعی کانال‌ها را به دست آورد. در این حالت با توجه به ناکافی بودن ظرفیت کانال‌ها و زهکش‌ها، نقاط متعددی در شبکه دچار سرریز و آب‌گرفتگی شده است (حالت واقعی)؛ و (۲) برای برآورد دقیق‌تر میزان سیلاب ایجاد شده در حوزه و امکان مقایسه آن در دوره‌های مختلف، ابعادی مجازی برای کانال‌ها فرض شد که بتوان بدون سرریز (با ۹۵ درصد پرشدگی) کل جریان سیلاب را از خود عبور دهد. در مجموع، این مدل برای

جدول ۳ اختلاف دبی خروجی کل سیستم در دو حالت واقعی و مجازی را نشان می‌دهد. در سال ۱۳۹۵، دبی واقعی سیستم، ۲۴۴ مترمکعب و در حالت مجازی، ۶۱۸ مترمکعب بر ثانیه به دست آمده است که می‌توان به عنوان یک مبنا، میزان دبی خروجی از مسیل‌ها و آب‌گرفتگی معابر را برآورد و بررسی کرد.

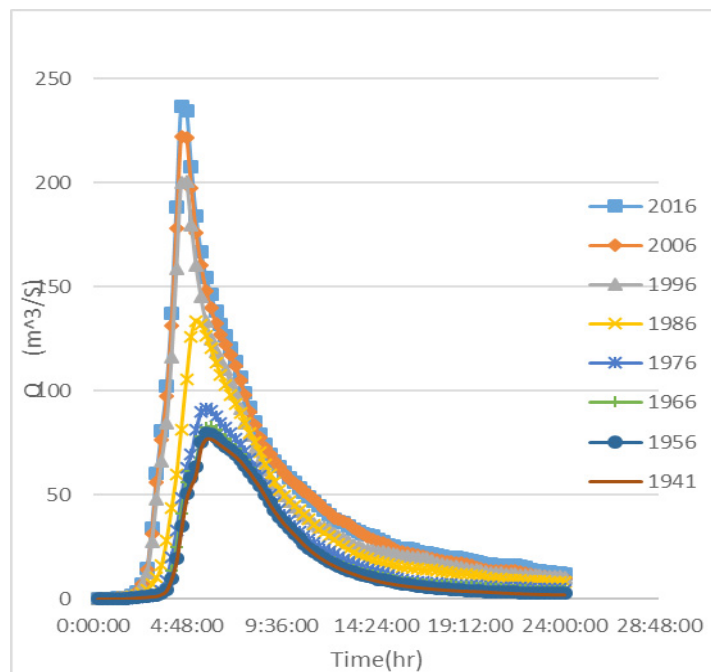
مقادیر وسعت شهر و دبی اوج و هم‌چنین حجم آب خروجی بین سال‌های ۱۳۲۰ تا سال ۱۳۹۵ در جدول (۴) ارائه شده است. هم‌چنین در شکل ۱۵ روند گسترش شهر و تأثیر آن بر میزان دبی ماکزیمم نشان داده شده است.

در شکل ۱۳، دبی ماکزیمم برای هر ۵ خروجی در حالت مجازی نشان داده شده است. در این حالت، چون مقداری از رواناب هنگام آب‌گرفتگی از کانال خارج می‌شود و اطلاع دقیقی از این که مدل قدرت بازگرداندن و محاسبه آن را دارد، در دست نبود، در نتیجه برای به‌دست آوردن حداکثر مقدار سیلاب به گونه‌ای که هیچ‌گونه آب‌گرفتگی در سطح شهر رخ ندهد و کانال، ظرفیت کامل گذردهی آب را داشته باشد، انجام شد تا مقادیر حداکثر به‌دست آید.

هیدروگراف دبی ماکزیمم کل سیستم در سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵، در شکل ۱۴ برای حالت واقعی ترسیم شده است.



شکل ۱۳- مقایسه دبی برای خروجی‌های حوزه بین سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵ در حالت مجازی
Fig13. Comparison of maximum discharges for watershed outflows between 1941 and 2016 (in free mode)



شکل ۱۴- هیدروگراف دبی سیل بین سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵ در حالت واقعی
Fig 14. Flood discharge hydrograph between years of 1941 and 2016 (in Real mode)

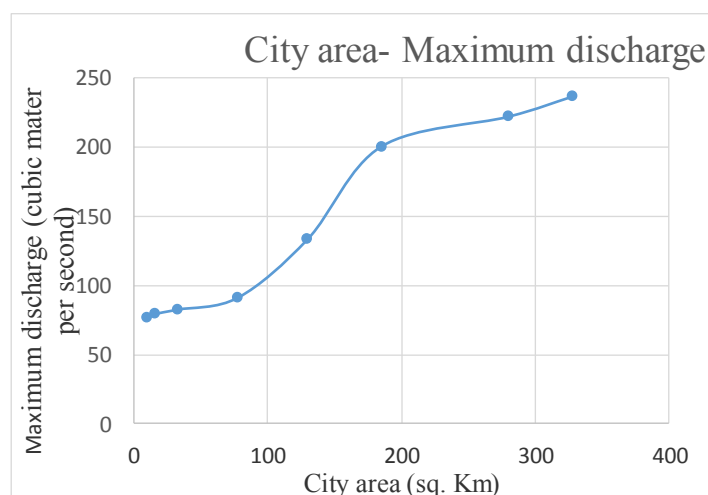
Table 3. The total of maximum discharge in outlets between 1941 to 2016 in both real and free mode

سال Year		2016	2006	1996	1986	1976	1966	1956	1941
جمع دبی ماکزیمم ΣMax Discharge ($\frac{m^3}{s}$)	REAL	244.07	232.97	211.41	140.44	103.03	93.97	91.69	87.48
	FREE	618.73	570.42	517.59	306.43	190.11	150.40	118.58	105.07

جدول ۴- رابطه بین توسعه شهر با دبی ماکزیمم و حجم آب خروجی

Table 4. Relationship between city development with maximum discharge and volume of outlet water

سال Year	مساحت شهر (کیلومتر مربع) Area(KM ²)	دبی ماکزیمم (متر مکعب بر ثانیه) Max discharge ($\frac{m^3}{s}$)	مجموع حجم آب خروجی (متر مکعب) Total Volume (m ³)
2016	328	236.59	5251000
2006	280	222.00	4883000
1996	185	200.47	4487000
1986	130	133.56	3518000
1976	78	91.26	2460000
1966	33	82.56	2134000
1956	16	79.42	1920000
1941	10.4	76.91	1825000



شکل ۱۵- نمودار توسعه مشهد در مقایسه با دبی ماکزیمم سیلاب خروجی از شهر بین سال های ۱۳۲۰ - ۱۳۹۵

Fig 15. Chart of development of Mashhad compared to maximum discharge of outflow flood between 1941 and 2016.

در شکل ۱۲ مقادیر دبی بین سال ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵ در حالت واقعی برای هر یک از خروجی‌ها نشان داده شده است. خروجی یک و خروجی دو که مربوط به مسیل چهل بازه اصلی و مسیل خیام می‌باشد، نشان‌دهنده این است که این دو مسیل از سال ۱۳۲۰ تا ۱۳۷۵ چون در مناطق شهری قرار نداشتند، تغییرات دبی تقریباً یکنواخت بوده است، تغییرات دبی ماکزیمم در خروجی ۲ بین سال ۱۳۲۰ تا ۱۳۷۵ از ۲۹/۹۵ مترمکعب بر ثانیه به ۵۳/۱۷ مترمکعب بر ثانیه رسیده است (افزایش ۷۸ درصد در ۵۵ سال و متوسط سالانه ۱/۴ درصد)، اما از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ که جزء مناطق شهری قرار گرفته است، دبی ماکزیمم تغییرات چشمگیری داشته است و از ۵۳/۱۷ مترمکعب بر ثانیه به ۱۰۹/۲۷ مترمکعب بر ثانیه رسیده است (۱۰۵ درصد در ۲۰ سال و متوسط سالانه ۵/۳ درصد) که تأثیر افزایش مناطق نفوذناپذیر در اثر افزایش سطح به طور کامل مشخص می‌باشد. برای خروجی ۱ نیز بین سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۷۵، دبی ماکزیمم از ۱۴/۶۷ به ۱۶/۴۷ مترمکعب بر ثانیه و بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ دبی ماکزیمم از ۱۶/۴۷ به ۳۵/۸۲ مترمکعب بر ثانیه رسیده است. این شرایط برای سایر خروجی‌ها نیز مشخص می‌باشد.

نتایج شکل ۱۳ نشان می‌دهد که در حالت مجازی، دبی ماکزیمم در خروجی ۱ بین سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۷۵، از ۱۴/۹۴ به ۱۸/۳۵ مترمکعب بر ثانیه رسیده است و بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵، از ۱۸/۳۵ به ۱۳۳/۰۳ متر مکعب بر ثانیه افزایش یافته است. هم‌چنین دبی ماکزیمم سایر خروجی‌ها نیز در شکل مشخص می‌باشد. به علاوه می‌توان از تفاضل دبی بین دو حالت واقعی و مجازی، میزان دبی سیلاب آب‌گرفتگی برای هر خروجی را نیز مشخص کرد.

با توجه به شکل ۱۴ دبی اوج در سال ۱۳۹۵ به مقدار ۱۵۶/۵۸۵ مترمکعب بر ثانیه بیشتر از سال ۱۳۲۰ می‌باشد. هم‌چنین زمان رسیدن به دبی اوج در سال ۱۳۹۵ در چهار ساعت و ۳۰ دقیقه بعد از بارندگی و در سال ۱۳۲۰ در شش ساعت پس از آن می‌باشد، که نشان از افزایش سطوح نفوذناپذیر و توسعه شهری می‌باشد. هم‌چنین بین سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۷۵ که توسعه شهرنشینی به صورت گسترده شکل گرفت، دبی اوج از ۹۱/۲۶ در سال ۱۳۵۵ به ۲۰۰/۴۷ مترمکعب بر ثانیه در سال ۱۳۷۵ افزایش یافته است. فاصله بین دبی اوج این دو دوره بیانگر این موضوع می‌باشد.

با توجه به جدول ۴ و شکل ۱۵ می‌توان نتیجه گرفت مساحت شهر بین سال‌های ۱۳۲۰ تا سال ۱۳۵۵، ۷/۵ برابر و دبی اوج به میزان ۱/۲ افزایش داشته است. افزایش دبی بین سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۵ و سال ۱۳۶۵ تا سال ۱۳۷۵ از سرعت گسترش بیشتری برخوردار بوده است. به گونه‌ای که وسعت شهر در سال ۱۳۶۵ نسبت به سال ۱۳۲۰، ۱۲/۵ برابر و نسبت به سال ۱۳۵۵، ۱/۷ برابر شده است و دبی اوج این سال نیز نسبت به سال ۱۳۲۰، ۱/۷۴ برابر و در مقایسه با سال ۱۳۵۵، ۱/۴۶ برابر شده است.

شهر در سال ۱۳۷۵ نسبت به سال ۱۳۲۰، به میزان ۱۷/۸ برابر

توسعه پیدا کرده است و نسبت به سال ۱۳۶۵ (برابر شده است)؛ و میزان دبی اوج نسبت به سال‌های ۱۳۲۰ و ۱۳۶۵، به ترتیب به میزان ۲/۶۱ و ۱/۵ برابر شده است. در نهایت، مساحت شهر در سال ۹۵ نسبت به سال ۲۰، حدود ۳۱/۵ برابر و دبی نسبت به همین سال، ۳/۰۸ برابر شده است و در مقایسه با سال ۱۳۷۵، شهر ۱/۷۷ و دبی اوج ۱/۱۸ برابر رشد داشته است.

بررسی‌ها نشان داد که با افزایش ۳۱/۵ برابری وسعت شهر مشهد بین سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵، دبی اوج به میزان ۳۰۷ درصد افزایش داشته است؛ هم‌چنین سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۵ که سال‌های رشد توسعه شهر مشهد بوده است، دبی ماکزیمم سیلاب نسبت به سال ۱۳۲۰ به ترتیب به میزان ۱۱۸ درصد و ۱۷۳ درصد افزایش داشته است که نشان از تأثیر روند توسعه شهر دارد. زمان تمرکز دبی ماکزیمم در سال ۱۳۹۵ در چهار ساعت و ۳۰ دقیقه بعد از بارندگی بوده است، در صورتی که این زمان در سال ۱۳۲۰ شش ساعت بوده است که نشان می‌دهد با وجود افزایش وسعت ۳۱/۵ برابری شهر، زمان تمرکز سیلاب ۱/۵ ساعت کاهش داشته است که ناشی از افزایش قابل توجه سطوح نفوذناپذیر و کاهش زیاد ضریب زبری آبراهه‌ها می‌باشد.

این بررسی‌ها نشان داد که بین سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۷۵، وسعت شهر از ۷۸ به ۱۸۵ کیلومتر مربع افزایش داشته است که افزایشی حدود ۱۰۷ کیلومتر مربع را نشان می‌دهد. در این میان، دبی ماکزیمم، ۳ برابر شده است. اما بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ وسعت شهر از ۱۸۵ به ۳۲۸ کیلومتر مربع رسیده است که افزایش ۱۴۳ کیلومتر مربع را نشان می‌دهد و دبی ماکزیمم نیز ۱/۲ برابر شده است. این امر ممکن است به این علت باشد که بین سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۷۵، سرعت افزایش سطوح نفوذناپذیر بیشتر بوده است.

منابع

- Ahmadi, M. 2015. Water engineering software Practical and Modeling Guide (1th Ed). Kalak Zarin Press. (In Persian)
- Choi, K.S. and Ball, J. 2002. Parameter estimation for urban runoff modeling. Journal of Urban Water 4: 31-41
- De Roo, A. Odijk, M. Koster, E. and Lucieer, A. 2001. Assessing the Effects of Land Use Changes on Floods in the Meuse and Oder Catchments. Phys. Chem. Earth (B), 26(7-8): 593-599.
- Dolati, J. 2010. Environmental Impact of the Developing of Mashhad City on Aquifer and Water Resources. The 5th National Congress on Civil Engineering (NCCE05), 4 May, Mashhad, Iran. (In Persian)

Archive of SID
impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *Journal of Hydrology* 515: 59–70.

15. Phillips, BC. Yu, S. Thompson, GR. and De Silva, N. 2005. 1D and 2D Modelling of urban drainage systems using XP-SWMM and TUFLOW, 10th International Conference on Urban Drainage, 21-26 August, Copenhagen, Denmark, 8p. graded assessments. *Geography Compass* 2(5): 1549-1579. 2008

16. Rostami Khalaj, M. Khalighi Sigarodi, Sh. Mahdavi, M. and Salajeghe, A. 2015. Calibration and evaluation of SWMM model for simulation of urban runoff (Case Study: Imam Ali Town of Mashhad). *Pasture and Watershed Management. Iranian Natural Resources Journal* 68(3): 487-498. (In Persian)

17. Rostami Khalaj, M. Khalighi Sigarodi, Sh. Mahdavi, M. and Salajeghe, A. 2012. Sensitivity Analysis of Variables Affecting on Urban Flooding Using SWMM Model. *Watershed Management Research* 3(5): 81-91. (In Persian)

18. Sahoo, GB. Ray, C. and De Carlo, EH. 2006. Calibration and Validation of Physically Distributed Hydrological Model MIKE SHE, to Predict Storm Flow at High Frequency in Flashy Mountainous Hawaii Stream. *Journal of Hydrology*, 327:94-109

19. Shad, R. and Hoveidafard, A. 2015. Comparison of Rational, SCS and SWMM Models for Analyzing the Urban Pathway Inundation Using GIS (Case Study: Zone 9 of Mashhad). *Journal of Water and Soil Science* 25(4.1): 285-301. (In Persian)

20. Sharifi, Mb. and Falah Tafti, E. 2005. Simulating the drainage network of surface runoffs in Ab-o-Bargh region in Mashhad using MIKE SWMM model. M.Sc. Dissertation. Faculty of Civil Engineering. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)

21. Sonei, E. Ahmadi Jazi, R. 2006. The Comparison of the Rational and SWMM methods in determining the streams flood discharge. The first National Engineering Conference of Streams. 28February- 1March, Mashhad, Iran, 1-10. (In Persian)

22. STORM WATER MANAGEMENT MODEL USER'S MANUAL Version 5.0 swmm. 2004.

Tabatabaei Ghomshe, SJ. 2012. Modeling the new

4. Faghfour Maghrebi, M. and Ghasemi, S. 2015. Survey the best collection method of surface runoffs In Mashhad (Case study: Mashhad Ab-o-Bargh region). 14th National Hydraulic Conference of Iran, 11-13 November, Zahedan, Iran (In Persian)

5. Ghafouri, M. and Hafezi Moghadas, N. 2006. The streams and the problems caused by them in Mashhad city. The first National Engineering Conference of the streams, 28February- 1March, Mashhad, Iran (In Persian)

6. Ghahraman, B. 2007. The updated curves of Mashhad.

7. Hosseinzadeh, SR. and Jahadi Toroghy, M. 2008. The effects of the expansion of Mashhad city on the pattern of natural drainage and intensification of urban floods. *Journal of Geographic Research* 61: 145-159 (In Persian)

8. Karimi, V. Solaimani, K. Habibnejad Roshan, M. and Shahedi, K. 2013. Comparison of Some Rainfall Temporal Pattern Determination for Urban Flood Estimation (Case Study: Babolsar). *Journal of Applied Water Engineering*, Vol. 4, No. 13.

9. Khodashenas, SR. and Azizi, J. 2016. Investigating the climate change on the urban flood intensity (Case study of three regions: Europe, USA and Asia). The second research conference on architecture, urban planning and urban management (AUUM- 2016), 6 March, Tehran, Iran. (In Persian)

10. Khodashenas, SR. and Tajbakhsh, M. 2012. Revision of Surface- Runoff Drainage System by Simulation and Application of Retention Basins (Case Study: East Eghbal Catchment, Mashhad). *Journal of Water and Soil Science* 22(1): 109-123. (In Persian)

11. Mashhad municipality. 2009. The Development and Construction Plan (Comprehensive) in Mashhad Metropolis. (In Persian)

12. Mashhad municipality. 2016. Photo streams of Mashhad. (In Persian)

13. Mashhad Municipality Information Technology Organization. 2014. Municipality statistics of Mashhad city. (In Persian)

14. Miller, JD. Kim, H. Kjeldsen, TR. Packman, J. Grebby, S. and Dearden, R. 2014. Assessing the

25. Touss Water Consultant Engineers Company. 2015. (In Persian)

Touss Water Consultant Engineers Company. 1991. (In Persian)

26. Zoppou, C. 2001. Review of urban storm water models, Environmental Modelling & Software. doi: 10.1016/S1364-8152(00)00084-0, 16(3), 195-231

Atlantis scheme in the Sarafrazan basin of Mashhad. M.Sc. Dissertation. Faculty of Civil Engineering. Ferdowsi University of Mashhad (In Persian)

23. Taheri Behbahani, MT. Bozorgzadeh, M. 1996. Urban floods (1th Ed). Tehran: Scientific and cultural publications, 537p (In Persian)

24. The Management and Planning Organization report No. 117-1.

*Abstract***The Effect of Mashhad City Development on Its Flooding During 1941- 2016**J. Azizi¹ and S.R. Khodashenas²

Received: 13-03-2018 Accepted: 05-01-2019

Impervious surfaces in urban zones, during rainfall, increase the runoff speed and reduce the opportunity for evapotranspiration. This will increase maximum discharge and reduce the time of concentration of flood in urban storm. In this research, the effect of the development of Mashhad on the urban flood has been studied. The EPA SWMM model was used for this study. The studies showed that the surface of Mashhad in 2016 compared to 1941 was 31.5. The results showed that the maximum discharge in 2016 increased to 307, 259 and 177 percent, respectively, compared to 1941, 1976 and 1986. Also, the results showed that despite the increase in the size of the city in 2016 compared to 1941, the time of concentration from 6 hours in 1320 to 4.5 hours in 1395 decreases.

Keywords: *Runoff, Maximum Discharge, Area, CN, SWMM.*

1. M.Sc. student in Water Engineering and Hydraulic Structures, Department of civil Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad.

2. Corresponding Author and Professor, Ferdowsi University of Mashhad. Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir