

مقایسه مدل‌های استدلالی، SWMM و SCS به منظور تحلیل آب‌گرفتگی معابر در محیط GIS (مطالعه موردی: منطقه ۹ شهرداری مشهد)

روزبه شادا، علیرضا هویدا فرد^{*}

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۰۸

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه فردوسی مشهد (واحد بین‌الملل)

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: alireza.hoveida@gmail.com

چکیده

تحلیل آب‌گرفتگی معابر شهری به کمک مدل‌سازی، گامی مؤثر در جهت مدیریت بهینه‌ی حمل‌ونقل شهری و کاهش خسارت‌های ناشی از تخریب تأسیسات و زیرساخت‌های مرتبط است. با توجه به پیچیدگی داده‌ها و اطلاعات مرتبط با پدیده‌ی آب‌گرفتگی معابر مانند توپوگرافی، هیدرولوژی، ساختمان‌ها و نظایر آن، به‌کارگیری مدل‌های استدلالی، SWMM و SCS، تخمینی مطمئن و کارآمد در محیط‌های شهری با حوضه‌های نسبتاً کوچک است. مقاله حاضر، پس از تشکیل الگوی مبتنی بر مدل ارتفاعی رقومی (DEM) و با استفاده از داده‌هایی نظیر نقاط ارتفاعی، منحنی‌های شدت-مدت بارندگی، پلان قطعه‌بندی، کاربری‌های شهری و اجرای مدل‌های مذکور، خروجی رواناب سطحی به‌همراه ابعاد کانال‌های زهکش‌های هر حوضه را تعیین می‌کند. در این راستا سعی بر آن است که از مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با وضعیت زهکش‌های موجود، دبی و ابعاد مناسب هر زهکش مورد بازبینی قرار گیرد. در نهایت، نتیجه حاصل از پیاده‌سازی و اجرای مدل‌ها بیانگر حدود هفت درصد کاهش در ابعاد کانال‌های زهکش با توجه به اعمال مدل‌های ارائه‌شده نسبت به وضعیت موجود منطقه است.

واژه‌های کلیدی: سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل استدلالی، معابر شهری، SWMM، SCS

Comparison of Rational, SCS and SWMM Models for Analysis of Urban Pathway Inundation Using GIS (Case Study: Zone 9 of Mashhad)

R Shad¹, A Hoveidafard^{2*}

Received: 24 September

Accepted: 28 April 2015

1- Assist. Prof. Dept., Civil Engineering Faculty, Ferdowsi Univ. of Mashhad, Iran

2- M.Sc. Student of Road Engin., Dept., Civil Engineering Faculty, Ferdowsi Univ. of Mashhad (International Branch), Iran

*Corresponding Author, Email : alireza.hoveida@gmail.com

Abstract

The analysis of the urban pathway inundation via modeling is an effective step towards the enhanced management of urban transportation and the reduction of the hazards caused by the infrastructure damages. Given the complexity associated with data and the information related to the pathway inundation (such as topography, hydrology, buildings and so on) the rational, SCS and SWMM models can be utilized as reliable and efficient estimation methods in small urban areas with relatively small basins. The present paper is adhering to the Digital Elevation Model (DEM) and employing data such as elevation spots, the intensity-duration curves of precipitation, segmented plans, urban usage, and with execution of the mentioned models determines the surface outlet runoff as well as the dimensions of each drainage canal. In this regard, our research aims at re-evaluating the proper dimensions and flow of each drainage canal through the comparison of the obtained results with the current status of the drainage. The results obtained from the implementation and execution of the models demonstrated 7 percent reduction in the dimension of the drainage canals according to the current status of the region.

Keywords: Geographic Information System (GIS), Rational, SCS, SWMM, Urban streets

ترافیک و آلاینده‌های ناشی از آن، کاهش نفوذپذیری
بر اثر ساخت‌وسازهای بی‌رویه و بدون برنامه و کاهش
سطح آب‌های زیرزمینی به وجود آید. بدین صورت که با
توسعه شهر و شهرنشینی و با حذف پوشش گیاهی،
مناطق پست و ناهمواری‌های طبیعی حوضه‌های آبریز،
به اراضی هموار جهت توسعه شهر تبدیل می‌شوند.
احداث معابر آسفالتی به همراه ساختمان‌ها موجب اثر-

مقدمه

بهبود کمی و کیفی سیستم‌های جمع‌آوری آب-
های سطحی و رواناب ناشی از بارش، علاوه بر
جلوگیری از ایجاد خسارت به اموال عمومی و حفظ
تأسیسات زیربنایی، سبب رفاه و امنیت اجتماعی می-
گردد. آب‌گرفتگی معابر در نتیجه احداث غیراصولی
مسیل‌ها و کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی، افزایش

رستری، تلفیق نموده و به نحوی همگن در کل منطقه ارائه دهند. در نهایت چالش‌ها و جزئیات مرتبط با هر فرآیند (منتهی به محصول اطلاعاتی)، مورد بحث قرار گرفته و نتایج علمی و تئوریک در قالبی هدفمند و واقع‌گرا تفسیر می‌گردند. این موضوع منجر به پیشنهادهایی عملی و مبتنی بر بهسازی خلاقانه‌ی مدل مطلوب خواهد شد. امروزه با افزایش سطح نیاز به ارائه خدمات حمل‌ونقل شهری، مبحث جدیدی به نام ساماندهی زیرساخت‌های معابر عمومی مورد توجه قرار گرفته است (علیزاده ۲۰۰۸). در این زمینه تحقیقات مختلفی برای حل مشکلات و بهبود عملکرد معابر انجام شده که هر یک منجر به ارائه روش‌ها و مدل‌های گوناگونی چه در زمینه طراحی کانال و چه در زمینه بهینه‌سازی زهکش‌ها گردیده است. به‌عنوان مثال انواع کانال‌ها و زهکش‌ها با مقاطعی نظیر: مستطیل، نوزنقه و دایره به‌منظور جمع‌آوری آب‌های سطحی به‌کار گرفته شده و عملکرد هر یک مورد ارزیابی قرار گرفته است (چاو و همکاران ۱۹۹۸). آب‌گرفتگی معابر، پدیده‌های مهم و اثرگذار در حمل‌ونقل شهری است که در نتیجه عواملی مانند لبریز شدن شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی و کمبود ظرفیت‌های هیدرولیکی زهکش‌ها و وقوع رگبارهای شدید در مقاطع زمانی محدود اتفاق می‌افتد. طی تحقیقی در این زمینه که در شهر رشت انجام گرفته است، دلایل اصلی آب‌گرفتگی معابر عواملی نظیر: نفوذپذیری سطح حوضه‌ها، کم شدن پوشش گیاهی و عملکرد نامطلوب سیستم جمع‌آوری رواناب اعلام شده است (افشاری آزاد و پورکی ۲۰۱۲). لازم به ذکر است که برای کنترل و هدایت رواناب‌های شهری، در نظر گرفتن عواملی مانند: هندسه و ظرفیت زهکش‌ها، وضعیت ناهمواری‌های زمین، عمق آب‌های زیرزمینی و نحوه‌ی توزیع کاربری‌های شهری، ضرورت دارد. با مروری اجمالی بر عوامل مذکور مشخص می‌گردد که همگی آن‌ها مکان‌مند بوده، لذا تعاملات و روابط هر یک با دیگری بایستی توسط مدل‌های مکانی تحلیل گردند. در نتیجه به‌کارگیری چارچوبی هدفمند و دیجیتال مانند GIS به‌منظور مدل‌سازی دقیق، صحیح، بهنگام و کارآمد عوامل مذکور در پدیده مدل‌سازی رواناب‌های

گذاری بر نفوذپذیری زمین‌ها و افزایش حجم و سرعت رواناب حاصل از بارش می‌گردد. در صورت بی‌توجهی به چیدمان شهری، موقعیت و ابعاد صحیح کانال‌ها و استفاده از راهکارهای مناسب برای مواجهه با آن، باعث خسارت به تأسیسات زیربنایی، تخریب اموال عمومی و ایجاد ترافیک، می‌گردد. لذا برنامه‌ریزی یکپارچه در حوضه آبریز و توسعه قابلیت‌های سیستم اطلاعات مکانی (GIS) در زمینه‌ی پیاده‌سازی مدل بارش-رواناب، الگویی مناسب برای تجزیه و تحلیل و مدیریت رواناب شهری حاصل از آن هست. در این مقاله با انتخاب منطقه ۹ شهر مشهد که دارای ویژگی‌هایی نظیر قرارگیری در دامنه ارتفاعات بلند، پوشش گیاهی کم، داشتن حوضه‌های آبریز و برخورداری از مسیل‌های طبیعی فراوان است، سعی می‌گردد که مدل بارش-رواناب با استفاده از روش‌های مدل‌های استدلالی، SWMM و SCS پیاده‌سازی و تحلیل گردد. دلیل انتخاب این منطقه از شهر مشهد آمار بالای آب‌گرفتگی معابر و نرخ تغییرات بالای شیب در آن بوده است. بدین منظور مقاله پیش رو به‌صورت زیر ساماندهی شده است. ابتدا نتایج حاصل از جستجو در کارهای گذشتگان در زمینه‌های SWMM، SCS و استدلالی، تعریف شده و مناسب بودن مدل‌های استدلالی، SWMM و SCS نشان داده می‌شود. مباحث مرتبط با تجربیات علمی پیاده‌سازی رواناب‌های شهری نشان می‌دهد که این مدل‌ها دارای پتانسیل‌های خاصی در حوضه‌های آبریز نسبتاً کوچک می‌باشند. سپس تئوری و مفاهیم بنیادی مورد نیاز برای درک پارامترهای دخیل در مدل‌های استدلالی، SWMM و SCS بررسی شده و مفاهیم مکانی به‌همراه شاخص‌های جغرافیایی در رقوم سازی رواناب تشریح می‌گردند. در ادامه به کمک یک الگوریتم سه‌قسمتی، داده‌هایی نظیر: توپوگرافی، آمار بارش و کاربری در منطقه مطالعاتی، آماده‌سازی شده و به کمک مؤلفه‌های تحلیل مکانی GIS، تلفیق می‌گردند. مدل‌های تلفیقی مدل‌های استدلالی، SWMM و SCS، قادرند که ماتریس‌های آماده‌سازی شده (به‌زای هر پارامتر) را در ساختار

محصولات مربوط به رواناب سطحی را در اختیار استفاده‌کنندگان قرار می‌دهد (بلال و همکاران ۱۹۹۶). علاوه بر این برخی نتایج در مطالعات دیگر، نشان می‌دهند که اطلاعات کافی و کامل در خصوص الگوهای زهکشی و پارامترهای رواناب از مهم‌ترین علل موفقیت پروژه‌ها می‌باشند.

دانشگاه ممفیس واقع در ایالت تنسی از جمله مکان‌هایی است که تحت تأثیر باران‌های سنگین دائمی قرار گرفته و سیستم طراحی‌شده فاضلاب آن امکان کنترل شرایط را ندارد (چن و همکاران ۲۰۰۹). لذا در طی پروژه‌ای، داده‌های مکانی مرتبط با نیاز جمع‌آوری‌شده و محل‌های آب‌گرفتگی به‌همراه درصد ریسک هر یک مشخص گردیدند. در این راستا مدل *GUFIM* برای محدوده‌های با ناهمواری کم به‌کاررفته شده که از مهم‌ترین مزیت‌های به‌دست‌آمده از اعمال آن، ارائه روش‌های ترکیبی رواناب و عوامل مکانی است. مدل استدلالی از جمله مدل‌هایی است که به‌منظور محاسبه رواناب در حوضه‌های نسبتاً کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل که اولین بار توسط کیچلینگ در سال ۱۸۸۹ ارائه‌شده، از قابلیت‌هایی مانند: تسهیل عملیات، تخمین مطمئن و سرعت اجرا در مدل‌سازی و تلفیق عوامل و فاکتورهای رواناب شهری بر-خوردار هست. لذا در این مقاله با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی (منطقه ۹ شهرداری مشهد) دارای حوضه‌ها و زیر حوضه‌های با مساحت‌های نسبتاً کوچک است، مدل استدلالی مدنظر قرار می‌گیرد. این مدل مطابق با یک فرایند ابتکاری در محیط GIS پیاده‌سازی شده و نتایج آن با روش *SWMM* و *SCS* و همچنین وضعیت زهکش‌های موجود مقایسه می‌گردد. در نتیجه بر اساس دستاوردهای حاصله، اتخاذ تمهیدات لازم به‌منظور ساماندهی شبکه‌ی جمع‌آوری رواناب و تعیین مکان‌های تجمع میسر خواهد شد.

مواد و روش‌ها

اولین گام در محاسبه میزان دفع آب‌های سطحی، برآورد رواناب ناشی از بارش به‌منظور طراحی هیدرولیکی کانال‌ها و مسیل‌های مربوطه است که در

شهری امری بارز است (گمبو و همکاران، ۲۰۰۲). کاربردهای متعددی به‌منظور مدل‌سازی جمع‌آوری آب-های سطحی در سیستم اطلاعات مکانی مورد استفاده قرار گرفته است که مهم‌ترین آن‌ها را می‌توان به چهار دسته مختلف شامل: پهنه‌بندی سیلاب‌ها، کنترل و هدایت آب، تعیین مکان جمع‌شدگی آب و مدل‌سازی تأثیر آن بر تخریب زیرساخت‌ها تقسیم نمود. در برخی از این مقالات ترکیب مدل بارش-رواناب با *DEM* منجر به ارائه‌ی طرح‌های متفاوتی در هندسه زهکش‌ها شده است (فرناندنز، لوتز ۲۰۱۰؛ افشاری آزاد و پورکی ۲۰۱۲؛ گمبو ۲۰۰۲؛ چن و همکاران ۲۰۰۹). به‌عنوان مثال در سال ۲۰۰۲ با استفاده از روش *SCS-SA*، عملیات طراحی زهکش‌های محوطه اصلی دانشگاه زیمبابوه انجام گرفت (گمبو و همکاران ۲۰۰۲). بدین منظور الگوی جریان، جهت و مقدار رواناب به‌همراه ابعاد زهکش به‌صورت توأم، تحلیل‌شده و در فرآیندی مشخص، به‌منظور تخمین رواناب مورد استفاده قرار گرفت. مدل ارتفاعی رقومی موردنظر با استفاده از تصاویر هوایی زوج استخراج‌شده و با داده‌هایی مانند کاربری‌ها، محدوده حوضه‌ها، نقشه‌ی خاک، میزان بارندگی سه‌ساله به‌منظور تخمین رواناب شهری تلفیق گردید. رواناب در حوضه‌های شهری به دو شکل وجود دارد: الف- جریان‌های پایه‌ای منشعب از آب‌های زیرزمینی، ب- رواناب سطحی ناشی از تجمع بارش. عواملی نظیر: نوع خاک، پوشش گیاهی، میانگین بارش، منطقه زهکشی و وضعیت رطوبت پارامترهای اصلی هستند که در حوضه‌های شهری تأثیر می‌گذارند (بوئر ۱۹۸۶، دبورس و همکاران ۱۹۹۴، بلال و همکاران ۱۹۹۶). به‌منظور مدل‌سازی رواناب‌های شهری، روش-های مختلفی توسط محققین ارائه‌شده که از جمله آن‌ها *SCS-CN* هست (اسکولز ۱۹۹۲، بی‌نام ۱۹۸۶). این روش قادر است که تعادلی منطقی را مابین دقت مورد نیاز و سهولت اجرا برقرار نماید. بدین منظور در دسترس بودن اطلاعات ورودی مدل، شرطی اساسی هست که لازم است به آن توجه شود. مدل مذکور طی تحقیقی با استفاده از *GIS* تحلیل‌شده و نتایج و

مشخص‌کننده بخشی از آب باران است که پس از جریان سطحی به کانال موردنظر وارد می‌گردد. میزان رواناب ناشی از ریزش‌های جوی که در سطح زمین جاری می‌شود، تحت تأثیر عواملی چون: درجه حرارت محیط، رطوبت نسبی، نوع پوشش زمین، شیب اراضی و شدت بارندگی قرار دارد. این ضریب نامطمئن‌ترین پارامتر در روش استدلالی است که تابع عواملی نظیر جذب توسط گیاهان، نفوذ به زمین، ذخیره گودالی و تبخیر و تعرق هست. در طراحی کانال‌های شهری، مقدار این ضریب تابعی از نوع پوشش سطح زمین، شیب سطح زمین و نوع کاربری مناطق شهری است. مقادیر جدول ۱ در برآورد ضریب جریان سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورتی که مساحت تحت پوشش یک کانال دارای مقادیر ضریب جریان سطحی (C) متفاوتی باشد، متوسط‌گیری وزنی بر مبنای مساحت‌های مربوط به هر C، تعیین‌کننده C متوسط برای آن حوضه هست که از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌گردد (کروبدو و همکاران ۲۰۰۷).

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad [2]$$

اگر هدف برآورد دبی اوج در یک نقطه‌ی خاص باشد، A مساحت حوضه آبریزی است که بارش در آن تجمع می‌یابد. بدیهی است که توپوگرافی و شیب عمومی خیابان‌ها مشخص می‌کنند که چه مساحتی از زمین منجر به رواناب در منطقه موردنظر شده است. لذا به‌منظور تعیین مساحت مذکور، از نقشه‌ی پهنه‌بندی حوضه‌ها می‌توان استفاده نمود. این عمل با توجه به ترازبایی تقاطع‌ها، میادین و نقاط حساس منطقه قابل انجام است. در حوضه‌های آبریز بزرگ، عملاً هیچ‌گاه بیشینه شدت بارندگی همزمان (با شدت یکنواخت)، در تمام نقاط آن حوضه رخ نمی‌دهد. محاسبات آماری و تجربیات نشان می‌دهند که هر چه وسعت حوضه‌ی آبریز بیشتر شود، احتمال بارندگی همزمان در تمامی سطح حوضه کمتر می‌گردد.

عمل، فرایندی مشکل، پیچیده و زمان‌بر هست. در مسئله مذکور عواملی نظیر تغییرات زمانی و مکانی بارش، متغیر بودن میزان نفوذ در زمین، وجود گودال‌ها و پراکندگی آن‌ها در سطح منطقه تأثیرگذارند که به دلیل حجم بالای داده‌های مرتبط و تعاملات نامعلوم بین آن‌ها، غالباً مدل‌سازی و محاسبات پیچیده می‌گردند. از معروف‌ترین روش‌های محاسبه‌ی دبی رواناب سطحی می‌توان به استدلالی، SCS و SWMM اشاره نمود که در بین آن‌ها روش استدلالی، دبی بیشینه جریان را در اختیار طراحان قرار می‌دهد و به‌صورت معمول در طراحی و اجرای کانال‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملکرد روش SCS بر مبنای هیدروگراف طرح استوار است که به‌طور طبیعی (با استفاده از آمار رواناب موجود در یک محل) و یا به‌صورت مصنوعی (با توجه به ویژگی‌های هندسی و فیزیکی حوضه) قابل‌تولید است. این روش در یک موضع خاص از یک مسیر هیدرولیکی، علاوه بر دبی اوج سیل، زمان اوج و حجم رواناب را در اختیار طراح قرار می‌دهد. در ادامه، اصول محاسبه دبی با استفاده از روش‌های مذکور به‌طور خلاصه بیان می‌گردد.

روش استدلالی (Rational Method)

متداول‌ترین شیوه محاسبه بیشینه مقدار رواناب سطحی روش استدلالی است (کروبدو و همکاران ۲۰۰۷). این روش بر پایه فرضیاتی شامل ثابت بودن شدت رگبار و ضریب رواناب در طول مدت بارندگی، ثابت بودن سرعت جریان آب در داخل شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی و پخش یکنواخت ورود رواناب به داخل دهانه‌های آبریز در طول زمان تمرکز استوار هست. در این راستا دبی اوج با استفاده از رابطه ۱ قابل‌محاسبه است (کروبدو و همکاران ۲۰۰۷).

$$Q = 2.78 \times C \times B \times I \times A \quad [1]$$

در این رابطه Q دبی اوج (لیتر بر ثانیه)، C ضریب جریان سطحی، B ضریب حوضه آبریز، I شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) و A مساحت حوضه آبریز (هکتار) می‌باشند. ضریب جریان سطحی (C) که از آن به‌عنوان ضریب رواناب نیز نام می‌برند،

ضریبی به نام ضریب حوضه‌ی آبریز در محاسبات ضروری است. همچنین این ضریب در کانال‌های اصلی شهرهای بزرگ که مساحت وسیعی را تحت پوشش دارند، بسیار مؤثر و کارآمد هست. مقدار ضریب حوضه‌ی آبریز، در حوضه‌های شهری اغلب برابر با ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود. در جدول شماره ۲ ضریب حوضه‌ی آبریز برحسب مساحت نشان داده شده است.

جدول ۲- ضریب حوضه‌ی آبریز، B.

مساحت حوضه آبریز (KM ²)	ضریب حوضه آبریز
کمتر از ۵	۱
۵ تا ۱۰	۰/۸۷ تا ۱
۱۰ تا ۲۵	۰/۸ تا ۰/۸۷
۲۵ تا ۵۰	۰/۷۶ تا ۰/۸
بزرگتر از ۵۰	۰/۷۶

از دیگر پارامترهای مهم و تأثیرگذار در روش استدلالی، شدت بارندگی هست. به‌منظور تعیین شدت بارندگی از منحنی‌های شدت-مدت با دوره‌های بارش مختلف، می‌توان استفاده نمود که به دو عامل اصلی وابسته است. عامل اول دوره بازگشت است که هر چه مقدار آن برای بارندگی بیشتر شود، ایمنی و ظرفیت زهکشی شبکه افزایش خواهد یافت. ولی از سوی دیگر هزینه‌های اجرائی پروژه افزایش یافته و منجر به کاهش کارآمدی آن می‌گردد. طبق توصیه‌های انجام شده و نیز استانداردهای موجود در کشور، دوره‌های بازگشت مناسب برای طراحی شبکه‌های شهری بین ۲ تا ۱۰ سال و برای مسیله‌ها ۲۵ تا ۱۰۰ سال برآورد شده است (بی- نام ۱۹۹۲). عامل دوم در تعیین شدت بارندگی، زمان بارش هست که در روش استدلالی برابر با زمان تمرکز حوضه‌ی آبریز در نظر گرفته می‌شود. منظور از زمان تمرکز، مدت‌زمانی است که آب از دورترین نقطه حوضه‌ی آبریز به نقطه تمرکز (گلوگاه) رسیده و به‌همراه آب بارانی که در این نقطه می‌بارد جاری می‌شود. در کانال‌های شهری، زمان تمرکز را می‌توان از جمع زمان‌های ورود و جریان به‌دست آورد. زمان ورود (*Inlet time*) مدت‌زمانی است که لازم است جریان آب بر روی زمین (*Overland flow*) طی نماید

جدول ۱- ضریب جریان سطحی (C) در مناطق شهری و زمین‌های گوناگون (علیزاده ۲۰۰۸).

ضریب جریان	نوع منطقه یا سطح بارش
۰/۷-۰/۹۵	مناطق بازرگانی مرکز شهر و یا مناطق مسکونی
۰/۷۰ تا ۰/۵۰	مناطق بازرگانی اطراف مرکز شهر یا مناطق
۰/۵۰ تا ۰/۳۰	مناطق مسکونی ویلائی یا مناطق کم‌تراکم (حدود)
۰/۷۵ تا ۰/۴۰	مناطق مسکونی ویلائی نزدیک به هم با تراکم
۰/۳-۰/۵	خانه‌های ویلائی
۰/۴-۰/۶	آپارتمانی متفرقه
۰/۶-۰/۷۵	آپارتمانی چند واحدی چسبیده
۰/۲۵-۰/۴	شهرک‌های مسکونی
۰/۵-۰/۸	مناطق صنعتی سبک
۰/۶-۰/۹	مناطق صنعتی سنگین
۰/۲-۰/۴	منطقه راه آهن
۰/۹۰ تا ۰/۵۰	مناطق صنعتی بسته به تراکم ساختمان در آن
۰/۳۵ تا ۰/۲۰	زمین‌های بازی
۰/۲-۰/۳	اراضی بایر
۰/۱ تا ۰/۰۵	زمین‌های سبز در خاک‌های شنی، مسطح - شیب
۰/۱۵ تا ۰/۱	زمین‌های سبز در خاک‌های شنی، شیب متوسط -
۰/۲ تا ۰/۱۵	زمین‌های سبز در خاک‌های شنی، شیب تند - با
۰/۱۷ تا ۰/۱۲	زمین‌های سبز در خاک‌های سنگین، مسطح - شیب
۰/۲۲ تا ۰/۱۸	زمین‌های سبز در خاک‌های سنگین، شیب متوسط -
۰/۳۵ تا ۰/۲۵	زمین‌های سبز در خاک‌های سنگین، شیب تند - با
۰/۳-۰/۵	زمینه‌های کشاورزی
۰/۰۵-۰/۲۵	زمین جنگل‌کاری شده
۰/۹۵ تا ۰/۹۸	سقف‌های شیروانی (آردواز، فلزی و...)
۰/۹۵ تا ۰/۹	سقف‌های مسطح آسفالت یا موزاییک
۰/۹ تا ۰/۸۵	خیابان‌های آسفالت یا بتنی
۰/۸۵ تا ۰/۷۵	زمین‌های سنگ‌چین بدون فاصله و زمین‌های
۰/۲۵ تا ۰/۶	زمین‌های سنگ‌چین بافاصله
۰/۲۵ تا ۰/۶	زمین‌های با پوشش ماکادام
۰/۱۵ تا ۰/۳	زمین‌های با پوشش شنی
۰/۱ تا ۰/۰۵	زمین‌های سبز و زمین‌های باغچه
۰/۱-۰/۲۵	پارک

با توجه به اینکه در روش استدلالی حاصل‌ضرب شدت بارش بیشینه، در مساحت کل حوضه آبریز محاسبه می‌گردد، لذا به‌منظور تعدیل، در نظر گرفتن

تمرکز نبوده و پارامترهای مختلفی در آن دخیل هستند. علاوه بر این امکان اعمال مقدار نفوذ و چالاب در محاسبه دبی از ویژگی‌های دیگر این روش هست، لذا به‌عنوان راه‌حلی مناسب و معتبر برای حوضه‌های کوچک و بزرگ، شهری و غیرشهری قابل‌استفاده است. برخلاف روش استدلالی، در SCS از شدت و مدت بارندگی به‌عنوان عوامل مؤثر صرف‌نظر شده و فقط مقدار بارش در طول مدت‌زمانی معین، در نظر گرفته می‌شود. لذا سعی بر آن است که مقدار جریان آب حاصل از بارش جوی (بدون اینکه به‌شدت بارش و یا طول مدت بارش توجه شود)، با در نظر گرفتن عواملی از قبیل شیب، نوع خاک، درصد پوشش زمین، شکل حوضه‌ی آبریز و نوع کانال‌های موجود، تعیین گردد. در نتیجه رابطه بین بارش و رواناب سطحی جاری در حوضه آبریز را می‌توان به‌صورت رابطه ۴ تعریف نمود (علیزاده ۲۰۰۸).

$$\frac{F}{S_1} = \frac{Q}{P} \quad [4]$$

در رابطه فوق، F مقدار ذخیره‌ی رواناب، S_1 بیشینه ظرفیت ذخیره رواناب، Q شدت‌جریان رواناب سطحی و P بیشینه ظرفیت تشکیل سیلاب (یا رواناب سطحی) می‌باشند. ظرفیت ذخیره‌ی رواناب پارامتری است که عواملی چون نفوذ رواناب در سطح نفوذپذیر، چالاب، برگاب و عوامل تأخیر رواناب در آغاز بارش را در خود مستتر داشته و تحت عنوان ضریب کاهش اولیه نامیده می‌شود. با توجه به اینکه اساس SCS بر پایه هیدروگراف مثلثی است، دبی بیشینه از رابطه ۵ تعیین می‌شود (علیزاده ۲۰۰۸).

$$q = \frac{2.083 \times A \times Q}{t_p} \quad [5]$$

که در آن A سطح حوضه (کیلومترمربع)، Q ارتفاع رواناب در حوضه که می‌تواند بخشی از ارتفاع بارش رگبار باشد (سانتی‌متر)، t_p زمان از شروع شاخه صعودی هیدروگراف تا لحظه رسیدن به دبی بیشینه (ساعت)، q دبی بیشینه (مترمکعب بر ثانیه) هستند. به‌طورکلی روش SCS برای حوضه‌های شهری،

تا به اولین کانال برسد. این زمان به‌طورمعمول بین ۵ الی ۱۵ دقیقه و گاه بیشتر در نظر گرفته می‌شود. زمان جریان ($Time\ of\ flow$) مدت‌زمانی است که آب در کانال مشخصی جریان یافته و به نقطه تمرکز می‌رسد. بدیهی است که زمان جریان به‌سرعت (یا دبی) جریان بستگی دارد که در نتیجه آن، مشخص می‌گردد که دبی جریان مطابق با روش استدلالی (به‌طور غیرمستقیم) تابع زمان جریان است. این بدان معنی است که تعیین زمان دقیق جریان و زمان تمرکز، نیازمند استفاده از فرآیند آزمون و خطا خواهد بود. در چنین فرآیندی می‌توان سرعتی مشخص (مثلاً یک متر در ثانیه) برای کانال فرض نمود و طبق آن با توجه به طول کانال، زمان جریان را به‌دست آورد ($t_f = L/V$). با استفاده از زمان جریان به‌دست‌آمده، دبی جریان تعیین‌شده و بر اساس آن (با استفاده از روابط هیدرولیکی) سرعت جریان جدید و نیز زمان جریان متناسب با آن، محاسبه می‌گردد. این فرآیند تا آنجا ادامه می‌یابد که مطابق رابطه ۳ زمان جریان یا زمان تمرکز مورد نظر در مقدار واقعی خود تثبیت گردند (کروبدو و همکاران ۲۰۰۷).

$$t_c = t_i + t_f \quad [3]$$

در رابطه فوق t_c (زمان تمرکز)، t_i (زمان ورود) و t_f (زمان جریان) هستند. لذا با انتخاب دوره بازگشت، منحنی شدت-مدت انتخاب‌شده و با قرار دادن زمان تمرکز در آن، شدت بارندگی بیشینه، مطابق با روش استدلالی محاسبه می‌گردد.

روش SCS

این روش اولین بار توسط سازمان حفاظت خاک ایالات متحده آمریکا پیشنهاد داده شد. (علیزاده ۲۰۰۸). در مدل‌های هیدروگراف (مانند SCS و TR-55) ارائه‌شده توسط سازمان حفاظت خاک، میزان بارش بر اساس توزیع (هایتوگراف) با شرط ثابت نبودن آن در سطح حوضه، قابل‌تعیین است. در روش SCS محاسبه دبی در کانال‌های پایین‌دست، با تجمیع نمودن هیدروگراف‌های بارش انجام می‌شود. دبی حاصل از هیدروگراف‌های ترسیم‌شده، صرفاً تابعی از زمان

قابلیت‌هایی مانند محاسبه‌ی هیدروگراف زیر حوضه‌های شهری، انتقال آب‌های سطحی و همچنین قابلیت انتقال آب به‌صورت تحت‌فشار، موجود هستند. *SWMM* هیدروگراف ناشی از بارندگی بر سطح زیر حوضه‌ها را تعیین نموده و آن را به‌صورت مخزن غیرخطی، در زیر حوضه‌های کوچک و کانال‌ها، روندیابی می‌کند. در این حالت مخزن غیرخطی توسط دو معادله پیوستگی و مانینگ به‌دست می‌آید (سین و همکاران ۲۰۱۴). برای یک زیر حوضه مقدار پیوستگی به‌صورت زیر قابل‌تعریف است (وندر استرن و همکاران ۲۰۱۴).

$$\frac{dv}{dt} = A \times \frac{dy}{dt} = A \times i^* = Q \quad [6]$$

در رابطه ۶، $V=A.y$ حجم آب در زیر حوضه (مترمکعب)، i^* بارش مازاد (شدت بارش منهای شدت تبخیر و نفوذ بر حسب متر بر ثانیه)، t زمان (ثانیه)، y عمق آب (متر)، A مساحت زیر حوضه (مترمربع) و Q دبی خروجی از زیر حوضه (مترمکعب بر ثانیه) می‌باشند. علاوه بر این جریان خروجی معادله مانینگ به‌صورت زیر به‌دست می‌آید (وندر استرن و همکاران ۲۰۱۴).

$$Q = \frac{w}{n} \times (y - y_p)^{\frac{5}{3}} \times s^{\frac{1}{2}} \quad [7]$$

که در آن w پهنای زیر حوضه (متر)، n ضریب زبری مانینگ، y_p عمق چالاب و s شیب متوسط زیر حوضه هستند. معادلات فوق در یک رابطه دیفرانسیل غیرخطی ترکیب‌شده و برای پارامتر عمق مجهول (y) حل می‌گردند.

پیاده‌سازی و اجرا

در این قسمت پیاده‌سازی و ارزیابی مدل‌های *استدلالی*، *SWMM* و *SCS* طی سه مرحله شامل رسم روند کلی الگوریتم، بررسی محدوده مطالعاتی و مقایسه نتایج اجرایی، انجام می‌گیرد. در روند الگوریتم ترسیمی، فرایند پیاده‌سازی گام‌به‌گام، به سه بخش: آماده‌سازی، پردازش هیدرولیکی و اجرا تقسیم‌شده است (شکل ۱).

نتایج منطقی و کاربردی قابل قبولی ارائه و در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان دقت این روش به انتخاب صحیح پارامترها و ویژگی‌های فیزیولوژی حوضه‌های آبریز و تخمین صحیح از عدد CN (عدد منحنی آبدهی)، بستگی دارد. برای تعیین CN ابتدا با توجه به نفوذپذیری خاک، نوع گروه خاک در جدول شماره ۳ مشخص می‌گردد.

جدول ۳- طبقه‌بندی هیدرولوژیکی گروه‌های خاک (علیزاده ۲۰۰۸).

گروه	کمینه نفوذپذیری (mmhr^{-1})
A	۷,۵ - ۱۱,۵
B	۳,۸ - ۷,۵
C	۱,۳ - ۳,۸
D	۰ - ۱,۳

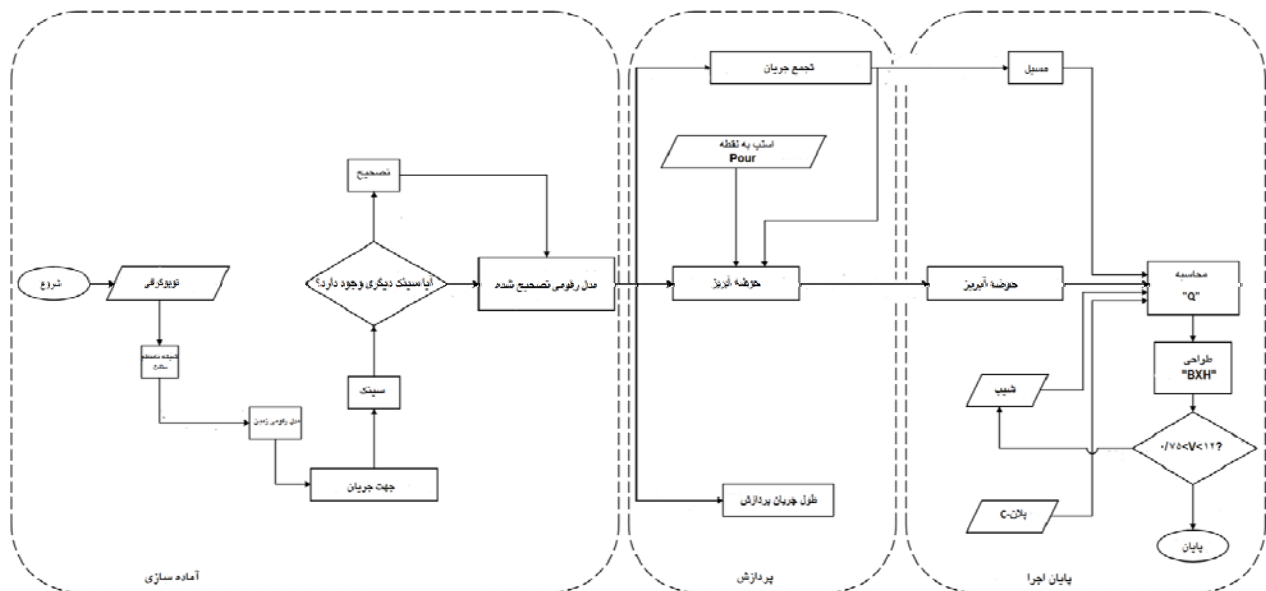
پس از تعیین گروه هیدرولوژیکی خاک، مقدار متوسط CN توسط جداول ارائه‌شده، برای ویژگی‌های پوششی سطح حوضه به‌دست می‌آید. سپس با توجه به وضعیت خشکی یا مرطوب بودن زمین، مقدار CN تصحیح می‌گردد (علیزاده ۲۰۰۸، افشاری آزاد و پورکی ۲۰۱۲).

روش *SWMM*

مقدار رواناب سطحی جاری در یک حوضه‌ی آبریز (حاصل از بارش‌های جوی) به عواملی چون: شدت-مدت بارندگی، ویژگی‌های فیزیکی حوضه (اعم از: شیب، جنس بستر، درصد سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر) و پهنای حوضه بستگی دارد. روابط اساسی قابل‌استفاده در تحلیل‌های هیدرولیکی، روابط پیوستگی، انرژی و مومنتم است که شرح کامل آن‌ها در مراجع هیدرولیک موجود هست. مدل *SWMM* یک حادثه رگبار را بر اساس هایتوگراف بارندگی، داده‌های ورودی هواشناسی، سیستم حوضه و شبکه زهکشی جهت تولید هیدروگراف خروجی، شبیه‌سازی می‌کند. این مدل یکی از پیشرفته‌ترین مدل‌ها جهت تحلیل مربوط به برآورد سیلاب و آبدهی کانال‌های مستقل و مختلط (سطحی و زیرزمینی) محسوب می‌شود که در آن

حوضه آبریز، جهت جریان و شیب مسیر پیمایش رواناب مشخص می‌شود. در نهایت، نتایج خروجی شامل: زمان تمرکز، دبی، ابعاد زهکش و سرعت رواناب در زهکش به دست آمده و با توجه به مشاهدات واقعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

در فرایند آماده‌سازی، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، پس از بررسی‌های کیفی، در پایگاه داده مکانی ذخیره شده و به منظور تعیین مسیر پیمایش آب و تحلیل‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه با انجام تحلیل‌های هیدرولیکی، پارامترهایی نظیر سطوح

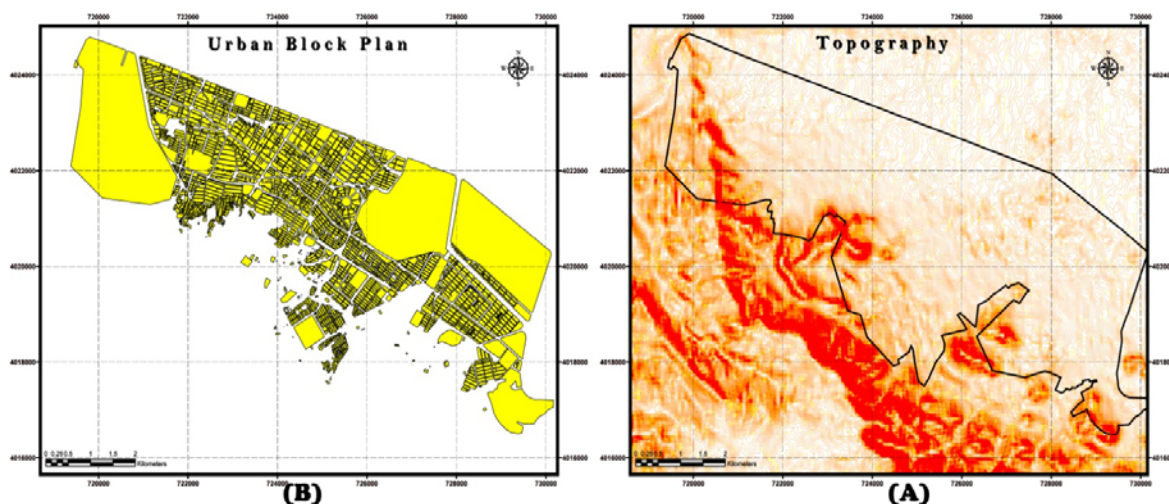


شکل ۱- روند کلی اجرای الگوریتم به صورت گام به گام.

محدوده مطالعاتی

گردد. لذا در این مقاله، دلیل اصلی انتخاب این منطقه به عنوان محدوده مطالعاتی، کوچک بودن نسبی حوضه-های آبریز، تعدد زهکش‌ها و وجود سرشاخه‌های اصلی زهکش‌ها است. علاوه بر این طبق آمار شهرداری مشهد، این منطقه در بین سایر مناطق مشهد بیشترین آب‌گرفتگی در معابر را داشته است. در این تحقیق پس از انتخاب روش‌های *استدلالی*، *SWMM* و *SCS* و محاسبه دبی رواناب، با استفاده از رابطه ۸ (رابطه دبی در جریان پیوسته) میزان دبی رواناب مشخص می‌گردد.

شهر مشهد با آب‌وهوای معتدل و متمایل به سرد و خشک، در شمال شرق ایران واقع شده است و از به سمت شمال، مشرق و مغرب به دشت توس و در جنوب به ارتفاعات بینالود منتهی می‌گردد. این شهر با جمعیتی بالغ بر ۲۴۱۰۸۰۰ نفر به ۱۳ منطقه شهرداری تقسیم شده که از بین آن‌ها مناطق ۷، ۸ و ۹ هم‌جوار ارتفاعات جنوبی می‌باشند. یک‌چهارم مساحت منطقه‌ی ۹ واقع در جنوب غربی مشهد، در دامنه ارتفاعات قرار گرفته و از شیب نسبتاً تندی برخوردار است (شکل ۲-۲-الف). در هنگام بارندگی، رواناب حاصل از بارش در این منطقه، از سطح حوضه‌های آبریز بالادست به سمت شهر جاری شده و از طریق مسیل‌های طبیعی دفع می‌گردد.

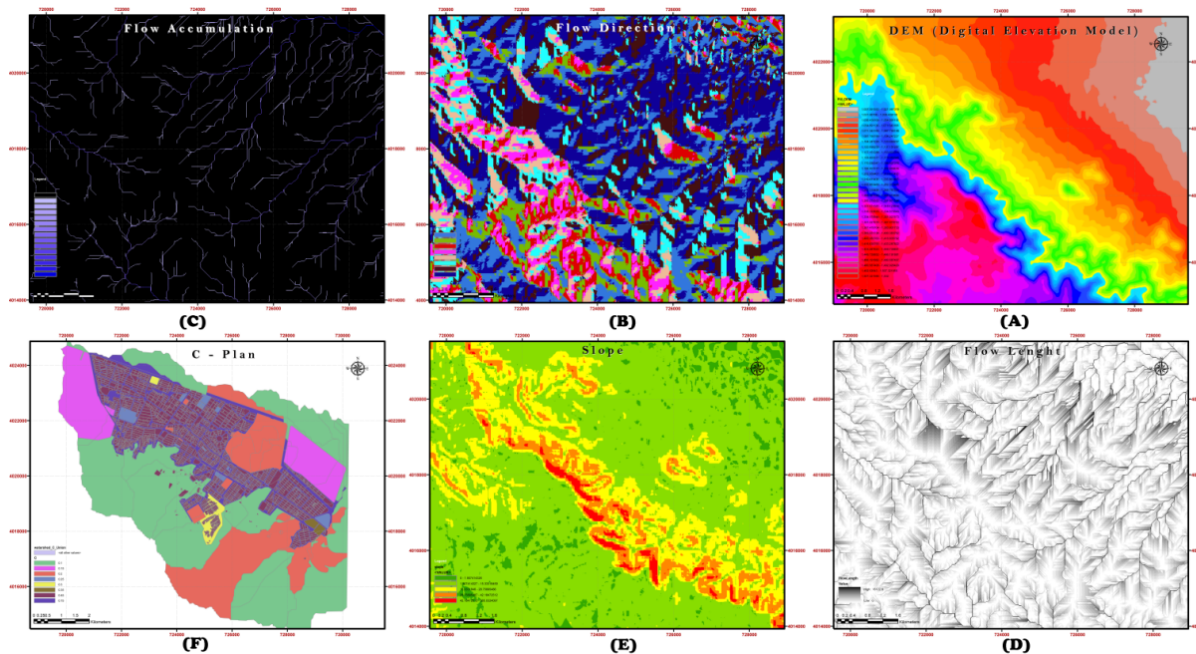


شکل ۲- نمایی از توپوگرافی و پلان مبلمان شهری محدوده مطالعاتی.

مراحل اجرا

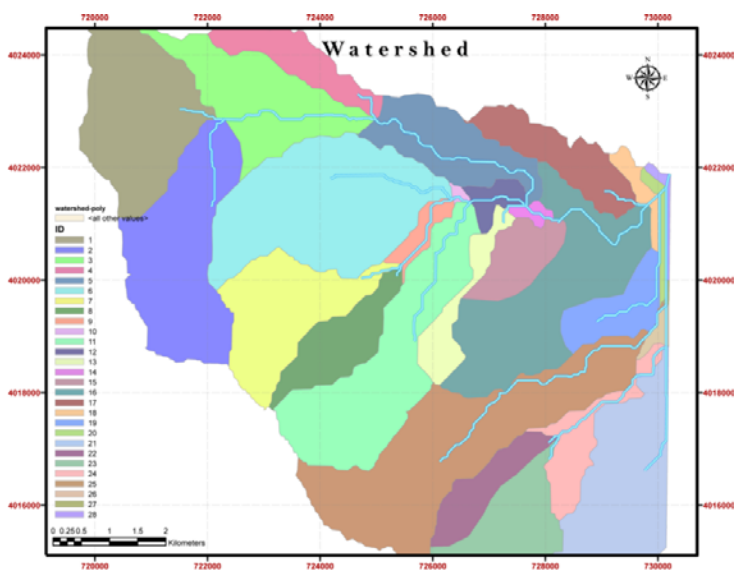
در گام اول، به منظور جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌های مکانی، از نقشه‌های توپوگرافی $\frac{1}{2000}$ شهر مشهد (شکل ۲-الف) به همراه پلان مبلمان شهری (شکل ۲-ب) استفاده می‌گردد. بدین نحو که ابتدا با پردازش و درونی‌یابی منحنی میزان‌ها، محصول اطلاعاتی سه‌بعدی به نام شبکه نامنظم مثلثی آماده‌سازی شده و سپس بر مبنای آن مدل رستری دیجیتال ارتفاعی (شکل ۳-الف) به دست می‌آید. با بررسی تغییرات ارتفاعی (شکل ۳-الف) مشخص می‌گردد که ارتفاعات در محدوده مطالعاتی از جنوب غربی (کوه‌های آب و برق) به سمت شمال شرقی (مرکز شهر) روند نزولی دارد. اکنون با توجه به تحلیل تغییرات ارتفاعی نسبت به مکان، می‌توان در هر موقعیت جهت جریان (شکل ۳-ب)، تجمع رواناب (شکل ۳-ج) و مسیر پیمایش آب (شکل ۳-د) را مشخص نمود. تغییر جهت جریان در محدوده مطالعاتی، نشانگر جهت هدایت آب از هر مکان مشخص (X,Y) به مکان‌های مجاور بعدی هست. این موضوع با خواص

سیال بودن آب و حرکت آن از ارتفاع بیشتر به ارتفاعات کمتر هم‌خوانی دارد. در شکل (۳-ب) کلاس ۱۲۸ نشانگر جهت جریان رواناب به سمت شمال شرقی هست که تراکم بالای آن مبین تطابق جهت جریان‌های آبی با شیب طبیعی در منطقه مورد مطالعه است. علاوه بر این، با تعیین مسیر تجمع رواناب در جهات مکانی مختلف، به راحتی می‌توان عوارض خطی و ناحیه‌های مربوط به خطوط مسیر حرکت آب را به منظور استخراج اطلاعات لازم جهت تعیین طول آن تشکیل داد. در شکل (۳-ج) خط القعرها و مسیرهای رواناب با رنگ سفید مشخص گردیده است که در آن هر پیکسل، حاصل تجمع رواناب هست. همچنین خطوط مشکی رنگ در شکل (۳-د)، مسیر پیمایش آب از دورترین نقطه خط الراس حوضه تا محل خروج آب از آن را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که در بخش سوم توضیح داده شد، این مسیر نقش بسزایی را در محاسبه زمان تمرکز جریان ایفا می‌نماید.



شکل ۳- داده‌های پردازش شده جهت اجرا و پیاده‌سازی.

با تعیین نقاطی در محل تقاطع خطوط پیوند، رواناب‌های سطحی که دارای بیشترین میزان تراکم دبی هستند، مدل ارتفاعی دیجیتال (شکل ۳- الف) و سایر اطلاعات استخراج شده (شکل ۳)، در نهایت حوضه آبریز محدوده طرح (شکل ۴) مشخص می‌گردد.



شکل ۴- حوضه‌های آبریز استخراج شده از محدوده مطالعاتی.

plan (شکل ۳-و) انجام شده و شاخص C_w به ازای هر حوضه مشخص می‌گردد. C -plan نقشه‌های تفکیکی از مبلمان شهری به ازای مقادیر تعریف شده در جدول ۱ هست که با استفاده از رابطه ۲ به مقادیر C_w مرتبط می‌گردد. سپس با اعمال رابطه (۱۰) (رابطه پیوستگی) که در آن Q دبی رواناب (مترمکعب بر ثانیه)، A سطح مقطع زهکش (مترمربع) و V سرعت آب در داخل زهکش (متر بر ثانیه) هستند، مقدار V از رابطه ۱۱ محاسبه می‌گردد (کروبدو و همکاران ۲۰۰۷).

$$Q = A \times V \quad [10]$$

$$V = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times S^{1/2} \quad [11]$$

در رابطه ۱۱، n ضریب زبری مانینگ (بدون واحد)، R_h (رابطه ۱۲) شعاع هیدرولیکی مقطع زهکش (m) و S شیب طولی زهکش می‌باشند. n ضریب زبری مانینگ، بستگی به جنس مصالح زهکش داشته که در این تحقیق با توجه به در نظر گیری جنس بتن برای کانال‌ها، ضریب n معادل ۰/۰۱۴ در نظر گرفته می‌شود (کروبدو و همکاران ۲۰۰۷).

$$R_h = \frac{A}{P} \quad [12]$$

در رابطه‌ی فوق، A سطح مقطع زهکش (مترمربع) و P محیط خیس شده آن (متر)، می‌باشند که مقدار P به نوع مقطع (دایره، نوزنقه و یا حالات دیگری از مقاطع هندسی) بستگی دارد. در نتیجه با توجه به موقعیت منطقه مطالعاتی و سهولت در اجراء، مقطع مطلوب (با شکل مستطیل) انتخاب شده و رابطه بین ابعاد (B عرض مقطع و D ارتفاع آن) تعیین می‌گردد. رابطه‌ی بین عرض مقطع و ارتفاع آن، بر اساس این نکته که در مقطع مستطیلی بهترین سطح مقطع هیدرولیکی زمانی ایجاد می‌گردد که عرض مقطع دو برابر ارتفاع باشد، به صورت ذیل قابل محاسبه است (کروبدو و همکاران ۲۰۰۷).

$$A = B \times D \quad [13]$$

در ادامه به منظور محاسبه مشخصات ژئومتریک عوارض در تحلیل مطلوب، با استفاده از قابلیت‌های تبدیل ساختار داده‌ای در سیستم اطلاعات مکانی (مانند تبدیل رستر به بردار)، لایه برداری محدوده حوضه‌های آبریز تشکیل شده و اطلاعات لازم از قبیل سطوح حوضه به همراه سایر مشخصات، استخراج می‌گردند. سپس با استفاده از تئوری استدلالی، $SWMM$ و SCS (مطابق با توضیحات بخش سوم) میزان دبی رواناب با استفاده از روابط ۱، ۵ و ۷ محاسبه می‌گردد. به عنوان مثال در رابطه ۱ پارامتر A مساحت هر حوضه برحسب هکتار، از طریق محدوده‌های برداری خروجی به دست آمده و B یا ضریب حوضه‌ی آبریز، با توجه به مساحت هر یک و با در نظر گرفتن جدول ۲ قابل محاسبه است. پارامتر I یا شدت بارندگی، از فرمول‌های تجربی ارائه شده برای دوره‌های بازگشت مختلف به دست می‌آید. در این تحقیق، با در نظر گرفتن دوره‌ی بازگشت یکصد ساله جهت مسیل‌های اصلی و مطابق رابطه ۸، مقدار I محاسبه می‌گردد.

$$I = 28.2 [0.54t^{0.22} - 0.5] \quad [8]$$

که در این رابطه، t (ت) زمان تمرکز (مطابق آنچه در قبل توضیح داده شد) از رابطه ۹ به دست می‌آید (کروبدو و همکاران ۲۰۰۷).

$$tc = [0.87] \frac{l^{3.0385}}{h} \quad [9]$$

در رابطه فوق، L طول اصلی آبراهه منتج از مسیر پیمایش آب و H اختلاف ارتفاع ابتدای آبراهه (بالاترین نقطه ارتفاعی حوضه) و انتهای آبراهه (پایین‌ترین نقطه ارتفاعی حوضه) هست که از محدوده‌های برداری خروجی قابل تعیین است. اکنون با استفاده از پارامترهای مشخص شده فوق و C_w مطابق با آنچه در پایه نظری انجام کار بیان گردید، می‌توان دبی جریان برای هر حوضه را محاسبه نمود. مقدار C_w یا ضریب رواناب سطحی وزن دار، با استفاده از شکل (۳-و) و انجام فرایندی شامل همپوشی با محدوده هر حوضه آبریز (شکل ۴) قابل تعیین هست. در این فرآیند یک تحلیل آماری زونال بر روی داده‌های مکانی C -

$$0.75 < V < 12 \quad [17]$$

چنانچه مقدار V به دست آمده، خارج محدوده اعلام شده باشد، لازم است که با تغییر شیب طولی مقطع و یا تغییر مصالح به کار رفته در آن، سرعت رواناب در کانال کنترل گردد. در جدول ۴ ابعاد زهکش‌های حاصل از محاسبات و وضعیت موجود کانال‌های رواناب در سطح منطقه مطالعاتی نشان داده شده‌اند.

همان‌طور که از نتایج جدول ۴ مشخص است، ابعاد زهکش‌ها پس از مدل‌سازی فرمول روش‌های مطلوب در محیط GIS به دست آمده‌اند. به منظور تعیین بهترین عملکرد ابعاد زهکش‌های موجود با ابعاد برآورد شده مقایسه گردید (شکل ۵) که بر اساس آن روش استدلالی با کمترین خطا بهترین عملکرد را ارائه نمود.

$$P = B + 2D \quad [14]$$

$$B = 2 \times D \quad [15]$$

با جایگذاری روابط ۱۳ الی ۱۵ در رابطه ۱۱، ارتفاع مقطع زهکش قابل محاسبه خواهد بود (رابطه ۱۶).

$$D = \left(\frac{Q \times n}{2.48 \times S} \right)^{0.375} \quad [16]$$

طبق رابطه ۱۶، میزان شیب در نظر گرفته شده با ابعاد کانال نسبت معکوس دارد. لذا با کاهش مقدار شیب، ابعاد زهکش افزایش یافته و برعکس با افزایش شیب طولی آبرو، ابعاد مقطع کوچک‌تر می‌گردد. در این خصوص، رابطه ۱۱ بیانگر رابطه‌ی مستقیم شیب با سرعت جریان هست. پس از به دست آوردن ابعاد مقطع زهکش، لازم است که حدود مجاز سرعت رواناب، از طریق رابطه‌ی ۱۵ کنترل گردد.

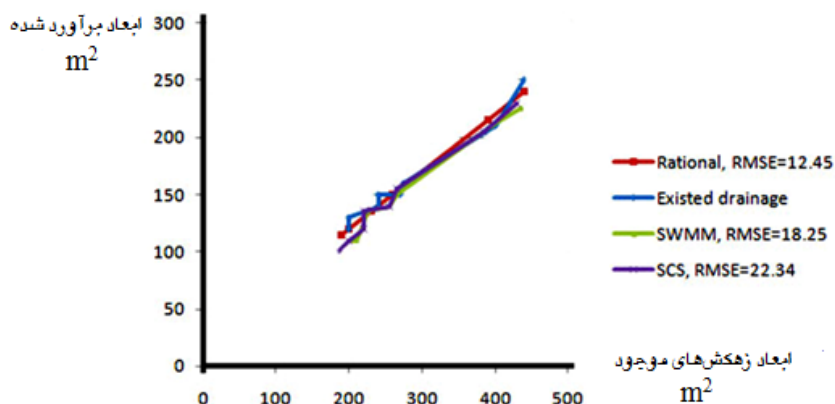
جدول ۴- مقایسه ابعاد زهکش‌های موجود و ابعاد طراحی شده.

H	G	F	E	D	C	B	A	
۲۴۰*۱۴۰	۲۷۰*۱۵۰	۲۰۰*۱۲۰	۲۴۰*۱۵۰	۴۴۰*۲۵۰	۴۰۰*۲۱۰	۲۰۰*۱۳۰	۲۷۵*۱۶۰	ابعاد موجود زهکش برحسب (m ²)
۲۳۰*۱۳۵	۲۶۰*۱۵۰	۱۹۰*۱۱۵	۲۳۰*۱۳۵	۴۴۰*۲۴۰	۳۹۰*۲۱۵	۲۰۰*۱۲۰	۲۶۰*۱۵۰	ابعاد طراحی شده (با روش استدلالی)
۲۲۵*۱۳۵	۲۶۵*۱۴۰	۲۱۰*۱۱۰	۲۲۰*۱۲۵	۴۳۵*۲۲۵	۳۹۵*۲۱۰	۲۰۰*۱۱۰	۲۵۵*۱۵۰	ابعاد طراحی شده (با روش SWMM)
۲۲۰*۱۴۰	۲۶۵*۱۳۵	۱۸۵*۱۱۰	۲۲۰*۱۲۰	۴۳۰*۲۳۰	۳۸۵*۲۰۵	۲۰۰*۱۰۰	۲۵۵*۱۵۵	ابعاد طراحی شده (با روش SCS)

نتایج و بحث

مطالعاتی و د- عدم تأثیرپذیری ابعاد زهکش‌ها از حوضه‌ی آبریز بالادست، باعث می‌شود تا طراحی و بررسی وضعیت آب‌گرفتگی و همچنین ارزیابی زهکش-ها، در سایر مناطق سیزده‌گانه شهر مشهد میسر نباشد. لذا با در نظر گرفتن این موضوع و نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل مشخص می‌گردد که خروجی ابعاد زهکش‌ها با نتایج کار انجام شده توسط مشاور طرح (وضعیت اجرا شده) مطابقت بیشتری دارد (جدول شماره ۴).

با توجه به سادگی و قابلیت‌های مدل‌های استدلالی، SWMM و SCS جهت محاسبه دبی رواناب و ویژگی‌های منحصر به فرد منطقه ۹ شهرداری مشهد، محاسبه دبی و طراحی زهکش‌های این منطقه به عنوان هدف اصلی این مقاله مد نظر قرار گرفت. از طرفی ویژگی‌های روش استدلالی مانند: الف- لزوم همزمانی بارش در کلیه‌ی مناطق، ب- ضرورت یکنواخت بودن بارش در نواحی مختلف، ج- وسیع نبودن منطقه



شکل ۵- نتیجه مقایسه عملکرد روش‌های استدلالی، SWMM و SCS در برآورد ابعاد زهکش‌ها.

شهر مشهد (که پس از احداث، تغییراتی جزئی در وضعیت حوضه‌های آبریز بالادست ایجاد خواهد نمود)، ج- تفاوت در پوشش گیاهی منطقه فاقد مستحذات هست. لذا چنانچه نیاز به طراحی شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی در مناطق شهر مشهد باشد، روش استدلالی قابلیت محاسبه دبی رواناب در سه منطقه از سیزده منطقه شهرداری مشهد را خواهد داشت. با بررسی‌های میدانی انجام‌گرفته نظیر بازدید از مسیل-های اصلی و اندازه‌گیری ابعاد و تهیه گزارش و عکس از وضعیت موجود و دریافت اطلاعات از اداره فنی و عمران شهرداری منطقه، به‌منظور ارزیابی وضعیت موجود، مشخص می‌شود که مشکلات عمده آب‌گرفتگی منطقه مورد مطالعه عبارت است از: الف- عدم اجرای مقطع مناسب در بعضی از محدوده‌ها ب- تخلیه غیرمجاز نخاله‌ها و ضایعات ساختمانی در مقاطعی از مسیل‌های طبیعی. اشکال ۶ و ۷ به‌ترتیب مقاطع پائین‌دست و بالادست یکی از مسیل‌های منطقه واقع در حد فاصل لادن ۲۲ تا لادن ۱۶ در غرب محدوده مطالعاتی را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ابعاد در بالادست متناسب با ابعاد به‌دست‌آمده از نتایج محاسبات در مقاله است (ابعاد بر حسب سانتی-متر 440×240). حال آنکه در پایین‌دست، مشکلات اجرایی و عدم تحویل حریم مناسب، منجر به اجرای کانال با ابعاد کوچک‌تر از میزان موردنیاز گردیده است (مقطع پایین‌دست به شکل لوله و با قطر ۲ متر که کمتر از ۳۰ درصد میزان مساحت موردنیاز هست). همچنین

با مقایسه خروجی‌های به‌دست‌آمده (جدول ۴) و محاسبه متوسط نسبت مساحت‌های به‌دست‌آمده از ابعاد زهکش‌های طراحی‌شده به مساحت کانال‌های موجود، میزان کاهش ابعاد در روش استدلالی به‌طور متوسط ۷ درصد تخمین زده شده است. این موضوع از نظر اکثر محققین و کارشناسان، با توجه به اینکه در مقایسه با روش‌های دیگر (*SCS-TR55*) نتایج محافظه‌کارانه‌تری را ارائه می‌کند، حائز اهمیت هست. درحالی‌که در روش SWMM با میانگین کاهش $5212/5$ متر مربع و متوسط ابعاد زهکش‌های موجود $49762/5$ مترمربع مقدار متوسط کاهش ابعاد $10/5$ درصد به‌دست‌آمده است. به‌نظر می‌رسد که این موضوع تحت تأثیر پهنای زیر حوضه‌ها و شیب متوسط هر یک از آن‌ها بوده است. همچنین با توجه به نتایج روش SCS با میانگین کاهش مساحت $5928/125$ مترمربع حدوداً $11/9$ درصد کاهش ابعاد افتاده است. البته میزان دقت این روش به انتخاب صحیح پارامترها و ویژگی‌های فیزیولوژی حوضه‌های آبریز و تخمین صحیح از عدد CN (عدد منحنی آبدهی)، بستگی داشته است که در اینجا با در نظر گرفتن مطالعات انجام‌گرفته نتیجه خوبی حاصل نگردیده است. به‌طورکلی می‌توان گفت که کاهش ابعاد مذکور تابع عواملی نظیر: الف- تفاوت در نحوه محاسبه ضریب رواناب وزن شده (C_w) (که ناشی از تفاوت در کاربری قطعات خصوصاً در مناطق با وضعیت ساخت‌وساز نامشخص هست)، ب- در نظر نگرفتن کمربندی جنوبی

بندی و طراحی ابعاد آبروهای عرضی به صورت محافظه‌کارانه و با دقت نسبی بالا، میسر می‌گردد. لذا این روش با توجه به تعداد زیاد آبراهه‌ها در طول راه-های برون‌شهری، روشی مناسب و کارآمد خواهد بود. در شکل ۹ قسمتی از پلان مسیر برون‌شهری با سه خط ممتد نمایش داده شده است که شماره‌های مندرج در حاشیه معبر، مربوط به آبروهای عرضی مسیر هستند. با حوزه‌بندی و تعیین مسیر آبراهه‌ها و در نهایت محاسبه مقطع کالورت، مقطع آبروها به صورت یک و یا چند دهانه قابل تعریف است (شکل ۹).

در شکل ۸ که در ناحیه‌ی جنوبی محدوده مطالعاتی هست (روستای چهارچشمه)، تخلیه غیرقانونی ضایعات و نخاله‌های ساختمانی سبب انسداد مسیر طبیعی زهکش شده است. در نتیجه می‌توان گفت که مدل استدلالی، روشی مناسب برای حوزه‌بندی و محاسبه‌ی رواناب سطحی در حوزه‌های نسبتاً کوچک نسبت به روش‌های SWMM و SCS است. به همین منظور در پروژه‌های راه‌سازی، خصوصاً در طراحی مسیرهای برون‌شهری که به علت وجود مسیل‌های طبیعی، نیازمند طراحی کالورت و آبرو از عرض مسیر هستند، حوزه-



شکل ۷ - مقطع بالادست کانال لادن.



شکل ۶ - مقطع پایین‌دست کانال لادن.



شکل ۸- تخلیه غیرمجاز نخاله در سرشاخه روستای چهار چشمه. شکل ۹- حوزه بندی جهت طراحی کالورت های مسیرهای برون‌شهری.



نتیجه‌گیری کلی

در این مقاله روش‌های استدلالی، *SWMM* و *SCS* در راستای مدیریت حمل‌ونقل و کاهش خسارات ناشی از آب‌گرفتگی تأسیسات شهری، در زمینه محاسبه رواناب و تعیین مکان آب‌گرفتگی معابر مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین نحو که ابعاد زهکش‌های موجود در منطقه مطالعاتی با ابعاد حاصل از مدل‌سازی هر یک از روش‌های مذکور مقایسه شده و بهترین روش تعیین گردید. در گام بعدی با اعمال بهترین روش پارامترهای مؤثر تلفیق گردیده، مکان‌های آب‌گرفتگی شناسایی شده و به‌صورت میدانی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در نتیجه به کمک مدل مذکور و داده‌های مکانی شامل: توپوگرافی، شیب، حوضه‌ها، معابر، زهکش‌ها و نظیر آن مشکلات اثرگذار در سیستم حمل‌ونقل عمومی تعیین‌شده و تمهیدات مناسب اتخاذ می‌گردند. بدین منظور با توجه به اینکه منطقه ۹ شهرداری مشهد (واقع در جنوب غربی مشهد)، در دامنه ارتفاعات قرار گرفته و از شیب نسبتاً تندی برخوردار است، به‌عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب گردید. لذا پس از جمع‌آوری و آماده‌سازی اطلاعات لازم (شامل نقشه-های توپوگرافی منطقه و مبلمان شهری)، الگوریتم و روش کلی پیاده‌سازی ارائه‌شده و در نهایت نتایج خروجی حاصله با مشاهدات عینی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه ابعاد وضع موجود مسیل‌ها با ابعاد محاسبه‌شده و ارزیابی میدانی ابعاد، مبین آن است که وضعیت زهکش‌های محاسبه‌شده به کمک روش استدلالی مناسب‌تر از روش‌های *SWMM* و

SCS بوده و مطابقت بیشتری با طرح موجود دارند. کاهش ابعاد مذکور تابع عواملی نظیر: الف- تفاوت در نحوه‌ی محاسبه ضریب رواناب وزن شده (C_w) (که ناشی از تفاوت در کاربری قطعات خصوصاً در مناطق با وضعیت ساخت‌وساز نامشخص هست)، ب- در نظر نگرفتن کمربندی جنوبی شهر مشهد (که پس از احداث، تغییراتی جزئی در وضعیت حوضه‌های آبریز بالادست ایجاد خواهد نمود) و ج- تفاوت در پوشش گیاهی منطقه فاقد مستحذات هست. با توجه به اعمال مدل مذکور و بررسی‌های میدانی انجام‌شده می‌توان گفت که معضلات و مشکلات آب‌گرفتگی منطقه از دو بخش عمده شامل: کاهش مقطع زهکش در پاره‌ای از مناطق پائین‌دست و تخلیه غیرقانونی نخاله و ضایعات ساختمانی در سرشاخه‌های مسیل‌های طبیعی در بالادست، تشکیل‌شده است. این موضوع حاکی از آن است که در مقاطع فاقد مشخصات فنی و با ابعاد نامناسب، بایستی فرآیند بازسازی مطابق با ابعاد محاسباتی انجام گیرد. در نتیجه در هنگام وقوع سیلاب از انباشت و پس‌زدگی آب جلوگیری خواهد شد. همچنین لازم است که بازسازی مسیل‌های طبیعی با توجه به ابعاد مناسب با طرح در مناطق بالادست تکمیل‌شده و مدیریت بهینه جهت حفاظت از حریم آن‌ها، توسط مجریان و ضابطین قانونی صورت پذیرد. از طرفی با استناد به مراحل انجام‌شده، مشخص می‌گردد که این روش کمک مؤثری به مهندسین و مشاورین راه، در حوضه‌بندی‌ها و طراحی کالورت‌های راه‌های برون‌شهری خواهد نمود.

منابع مورد استفاده

- علیزاده آ، ۲۰۰۸. قوانین کاربردی هیدرولوژی. چاپ بیست و چهارم، دانشگاه امام رضا، مشهد، ایران.
- Afshari azad M, and Puraki H, 2012. Urban morphology and inundation of canals in Rasht. *Journal of the Geographical Environment* 17: 55-76.
- Al-Sabhan W, Mulligan M and Blackburn G.A, 2003. A real-time hydrological model for flood prediction using GIS. *Computers. Environment and Urban Systems* 27: 9-32.
- Bellal M, Sillen X and Zeck Y, 1996. Coupling GIS with a distributed hydrology model for studying effect of various urban planning options on rainfall-runoff relationship in urbanized watersheds, In: Kovar K and Nachtnebel H.P (eds), *Application of GIS in Hydrology and Water Resources Management* Pp. 99-106. Hydro GIS 96, IAHS Publication.
- Bouwer H, 1986. In-teke rate: Cylinder infiltrometer Pp. 169-198. In: Klute A (ed), *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, ASA, Maidson, USA.

- Chaw VT, Maidment DR and Mays LW, 1998. Applied Hydrology. Mac Grow-Hill, NY.
- Chen J and Hill Urbano A.A, 2009. A GIS-based model for urban flood inundation. Journal of Hydrology 373:184-192.
- Cheng C.Q, Ko Y.C, Yuan Y, Ge Y and Zheng S.H, 2006. GIS modeling for predicting river runoff volume in ungauged drainages in the Greater Toronto Area, Canada. Computer & Geosciences 32: 1108-1119.
- Crobeddu E, Bennis S and Rhouzlane S, 2007. Improved استدلالی hydrograph method, Journal of Hydrology 338: 63-72.
- Debource C, Sillen X, Van Hauwaert A and Zech Y, 1994. Rainfall-runoff modeling of partly urbanized watersheds: Comparison between a distributed model using GIS and other models sensitivity analysis. Water and Science Technology 29: 163-170.
- Djokic D and Maidment D.R, 1991. Terrain analyses for urban storm water modeling. Hydrological processes 5: 115-124.
- Djordjevic S, Prodanovic D and Maksimovic, C, 1999. An approach to simulation of dual drainage. Water Science and Technology 39 (9):95-103.
- Fernandez D.S and LUTZ M.A, 2010. Urban flood hazard zoning in Tucuman Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. Engineering Geology 111: 90-98.
- Gumbo B, Munyamba N, Sithole G and Savenije H.G, 2002. Coupling of digital elevation model and rainfall-runoff model in storm drainage network design. Physics and Chemistry of the Earth 27:11- 22.
- Hsu M.H, Chen S.H and Chang T.J, 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. Journal of Hydrology 324: 21-37.
- Jain M.K, Kothiyari U.C and Ranga Raju K.G, 2004. A GIS Based Distributed Rainfall Runoff Model. Journal of Hydrology 299:107-115.
- Management and Planning Organization (MPO), 1992. Principles and criteria of designing the surface water collection and sewage networks, Tehran, Iran, 7P.
- Mark O, Weesakul S, Apirumanekul C, Aroonnet S.B and Djordjevic S, 2004. Potential and limitations of 1D modeling of urban flooding. Journal of hydrology 35:159-172.
- Rossman L, 2005. Storm Water Management Model (SWMM). EPA, US.
- Schmitht T.G, Thomas M and Ettrich N, 2004. Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. Journal of hydrology 293: 300-311.
- Schulze R.E, Schmidt E.J and Smithers J.C, 1992. SCS-SA user manual PC Based SCS Design flood estimates for small catchments in southern Africa, report no.40, Department of Agricultural Engineering of Natal, Pietermaritzburg, South Africa.
- Sin J, Jun C, Zhu J.H and Yoo C, 2014. Evaluation of Flood Runoff Reduction Effect of LID (Low Impact Development) based on the Decrease in CN: Case Studies from Gimcheon Pyeonghwa District, Korea. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013, Procedia Engineering 70: 1531-1538.
- Smith M.B, 2006. Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. Journal of Hydrology 317:355-363.
- USDA 1986. United States Department of Agriculture, soil conservation service: Urban hydrology for small watersheds. Technical Release 55, National Technical Information Service, Springfield, VA.
- Van der Sterren M, Rahman A and Ryan G, 2014. Modeling of a lot scale rainwater tank system in XP-SWMM: A case study in Western Sydney, Australia. Journal of Environmental management 141: 177-189.