

# ارائه‌ی مدل رشنال مکانی به منظور تحلیل آبرفتگی معابر در محیط GIS

روزبه شاد<sup>۱</sup>، اسفندیار صنعی<sup>۲</sup>، محسن اخوان<sup>۳</sup>، فریدون صفری دلوثی<sup>۴</sup>، محمد حسینیون<sup>۵</sup>

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

۲- کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه فردوسی مشهد (واحد بین الملل)، مشهد، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه فردوسی مشهد (واحد بین الملل)، مشهد، ایران

۵- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه فردوسی مشهد (واحد بین الملل)، مشهد، ایران

## چکیده

تحلیل آبرفتگی معابر شهری به کمک مدل رشنال، گامی موثر در جهت مدیریت بهینه‌ی حمل و نقل شهری و کاهش خسارتهای ناشی از تخریب تاسیسات و زیر ساخت های مرتبط می‌باشد. با توجه به پیچیدگی داده‌ها و اطلاعات مرتبط با پدیده‌ی آبرفتگی معابر، مانند: توپوگرافی، هیدرولوژی، ساختمانها و نظایر آن، به‌کارگیری مدل رشنال مکانی 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 مدل رشنال (Rational Method)، خروجی رواناب سطحی به همراه ابعاد زهکش‌های هر حوضه را تعیین می‌کند. در این راستا سعی بر آنست که از مقایسه نتایج به‌دست آمده با وضعیت زهکش‌های موجود، دبی و ابعاد مناسب هر زهکش مورد بازبینی قرار گیرد. در نهایت نتیجه‌ی حاصله از پیاده‌سازی و اجرا بیانگر حدود هفت درصد کاهش در ابعاد زهکش‌ها با توجه به اعمال مدل ارائه شده نسبت به وضعیت موجود منطقه می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آبرفتگی معابر، رواناب، سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، کانالهای آب، معابر شهری، جمع‌آوری آبهای سطحی.

# Rational Spatial Method for Urban Pathway Inundation in GIS

Rouzbeh Shad<sup>1</sup>, Esfandiar Sonei<sup>2</sup>, Mohsen Akhavan<sup>3</sup>, Freadoun Safari Delouei<sup>4</sup>, Mohamad Houseanion<sup>5</sup>

1-Assistant Professor of Civil Department, Engineering Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2-M.Sc. of Hydrolic Structure , Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3-M.Sc. Student of Road engineering, Civil Department, Ferdowsi University of Mashhad (International Branch), Mashhad, Iran

4-M.Sc. Student of Road engineering, Civil Department, Ferdowsi University of Mashhad (International Branch), Mashhad, Iran

5-M.Sc. Student of Road engineering, Civil Department, Ferdowsi University of Mashhad (International Branch), Mashhad, Iran

## Abstract

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

**Keywords:** Inundation, runoff, Geographic Information System (GIS), canals, urban streets, collected surface water.

بهبود کمی و کیفی سیستمهای جمع‌آوری آبهای سطحی و رواناب ناشی از بارش، علاوه بر جلوگیری از ایجاد خسارت به اموال عمومی و حفظ تاسیسات زیربنایی، سبب رفاه و امنیت اجتماعی می‌گردد. این مسأله موجب می‌شود که مشکلاتی نظیر آبرفتگی معابر، احداث غیر اصولی مسیل‌ها و کانالهای جمع‌آوری آبهای سطحی، افزایش ترافیک و آلاینده‌های ناشی از آن، کاهش نفوذپذیری برائرساخت و سازهای بی‌رویه و بدون برنامه و کاهش سطح آبهای زیر زمینی 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 اثرگذاری 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 تاسیسات زیربنایی، تخریب اموال عمومی و ایجاد ترافیک، می‌گردد. لذا برنامه‌ریزی یکپارچه در حوضه‌ی آبریز و توسعه قابلیت‌های سیستم اطلاعات مکانی (GIS) در زمینه‌ی پیاده‌سازی مدل بارش- رواناب، الگویی ایده‌آل برای تجزیه و تحلیل و مدیریت رواناب شهری حاصل از آن می‌باشد. در این مقاله با انتخاب منطقه ۹ شهر مشهد که دارای ویژگیها و خصوصیات 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 روش رشنال پیاده‌سازی و تحلیل گردد. بدین منظور مقاله پیش رو به صورت زیر ساماندهی شده است. ابتدا نتایج حاصل از جستجو در کارهای گذشتگان در زمینه‌های SWMM، SCS و رشنال تعریف شده و مدل رشنال به عنوان روشی مناسب انتخاب می‌گردد. مباحث مرتبط با تجربیات علمی پیاده‌سازی روانابهای شهری نشان میدهد که این مدل دارای پتانسیلهای خاصی در حوضه‌های آبریز نسبتاً کوچک می‌باشد. سپس تئوری و مفاهیم پایه‌ای مورد نیاز برای درک پارامترهای دخیل در مدل رشنال بررسی شده و مفاهیم مکانی به همراه شاخص‌های جغرافیایی در رقومی سازی رواناب تشریح می‌گردند. در ادامه به کمک یک الگوریتم سه قسمتی، داده‌هایی نظیر: توپوگرافی، آمار بارش و کاربری در منطقه مطالعاتی، آماده‌سازی شده و به کمک مؤلفه‌های تحلیل مکانی GIS، تلفیق می‌گردند. مدل تلفیقی رشنال قادر است که ماتریسهای آماده‌سازی شده (به ازای هر پارامتر) را در ساختار رستری، تلفیق نموده و به نحوی همگن در کل منطقه ارائه دهد. 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.

## ۲- بررسی کار پیشینیان

امروزه با افزایش سطوح نیاز به ارائه خدمات حمل و نقل شهری، مبحث جدیدی به نام ساماندهی زیرساختهای معابر عمومی مورد توجه قرار گرفته است [۲۱]. در این زمینه تحقیقات مختلفی برای حل مشکلات و بهبود عملکرد معابر انجام شده که هریک منجر به ارائه روشها و مدل‌های گوناگونی چه در زمینه طراحی کانال و چه در زمینه بهینه‌سازی زهکشها گردیده است. به عنوان مثال انواع کانالها و زهکشها با مقاطعی نظیر: مستطیل، دوزنقه و دایره به منظور جمع‌آوری آبهای سطحی به کار گرفته شده و عملکرد هریک مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱۸]. آبگرفتگی معابر، پدیده‌ای مهم و اثرگذار در حمل و نقل شهری است که در نتیجه عواملی مانند لبریز شدن شبکه‌ی 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 [۱]. 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 بکارگیری چارچوبی هدفمند و دیجیتال مانند GIS به منظور مدلسازی دقیق، صحیح، به‌هنگام و کارآمد عوامل مذکور در پدیده مدلسازی روانابهای شهری امری بارز است [۳]. کاربردهای متعددی به منظور مدلسازی جمع‌آوری آبهای 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 [۸ و ۴، ۳، ۱] و مدلسازی تاثیر آن بر تخریب زیرساختها [۸ و ۴، ۳، ۱]، تقسیم نمود. در برخی از این مقالات ترکیب مدل بارش-رواناب با DEM منجر به ارائه‌ی طرح‌های متفاوتی در هندسه زهکشها شده است [۸ و ۴، ۳، ۱]. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۲ با استفاده از روش SCS-SA، عملیات طراحی زهکشهای محوطه اصلی دانشگاه زیمبابوه انجام گرفت [۳]. بدین منظور الگوی جریان، جهت و مقدار رواناب به همراه ابعاد زهکش به صورت توام، تحلیل شده و در فرآیندی مشخص، به منظور تخمین رواناب مورد استفاده قرار گرفت. مدل ارتفاعی رقومی مورد نظر با استفاده از تصاویر هوایی زوج استخراج شده و با داده‌هایی مانند کاربریها، محدوده حوضه‌ها، نقشه‌ی خاک، میزان بارندگی سه ساله به منظور 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 حوضه های شهری تاثیر می گذارند [۱۷، ۱۹، ۲۰]. به منظور مدلسازی روانابهای شهری، روشهای مختلفی توسط محققین ارائه شده که از جمله آنها SCS-CN می باشد [۱۵ و ۱۶]. این روش قادر است که تعادلی منطقی را ما بین دقت مورد نیاز و سهولت اجرا برقرار نماید. بدین منظور در دسترس بودن اطلاعات ورودی مدل، شرطی اساسی می باشد که لازم است به آن توجه شود. مدل مذکور در طی تحقیقی در بستر GIS تحلیل شده و نتایج و محصولات مربوط به رواناب سطحی را در اختیار استفاده کنندگان قرار می دهد [۱۷]. 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 [۱، ۳، ۴ و ۸]. دانشگاه ممفیس واقع در ایالت تنسی از جمله مکانهایی است که تحت تاثیر بارانهای سنگین دائمی قرار گرفته و سیستم طراحی شدهی فاضلاب آن امکان کنترل شرایط را ندارد [۴]. لذا در طی پروژههای، دادههای مکانی مرتبط با نیاز جمع آوری شده و محللهای آبگرفتنی به همراه درصد ریسک هر یک مشخص گردیدند [۴]. در این راستا مدل GUFIM برای محدودههای با نا همواری کم به کارگرفته شده که از مهمترین مزیتها به دست آمده از اعمال آن، ارائه روشهای ترکیبی رواناب و عوامل مکانی است. مدل رشنال از جمله مدللهایی است که به منظور محاسبه رواناب در حوضه های نسبتا کوچک مورد استفاده قرار می گیرد. این مدل که اولین بار توسط KuichLing در سال ۱۸۸۹ ارائه شده، از قابلیتیهایی مانند: تسهیل عملیات، تخمین مطمئن و سرعت اجرا در مدلسازی و تلفیق عوامل و فاکتورهای رواناب شهری برخوردار می باشد. لذا در این مقاله با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی (منطقه ۹ شهرداری مشهد) دارای حوضهها و زیرحوضههای با مساحتهای نسبتا کوچک است، مدل رشنال مدنظر قرار می گیرد. این مدل مطابق با یک فرایند ابتکاری در محیط GIS پیاده سازی شده و نتایج آن با وضعیت زهکشهای موجود مقایسه می گردد. در نتیجه براساس دستاوردهای حاصله، اتخاذ تمهیدات لازم به منظور ساماندهی شبکهی جمع آوری رواناب و تعیین مکانهای تجمع میسر میگردد.

### ۳- مبانی هیدرولوژیکی طرح شبکه آبهای سطحی

اولین گام در محاسبه میزان دفع آبهای سطحی، برآورد رواناب ناشی از بارش به منظور طراحی هیدرولیکی کانالها و مسیلهای مربوطه است که در عمل، فرایندی مشکل، پیچیده و زمانبر می باشد. در مساله مذکور عواملی همچون: تغییرات زمانی و مکانی بارش، متغیر بودن میزان نفوذ در زمین، وجود گودالها و پراکندگی آنها در سطح منطقه تاثیرگذارند که به دلیل حجم بالای دادههای مرتبط و تعاملات نامعلوم بین آنها، غالبا مدلسازی و محاسبات پیچیده می گردند. از معروفترین روشهای محاسبه دبی رواناب سطحی می توان به رشنال (Rational)، SCS و SWMM اشاره نمود که در بین آنها روش رشنال، دبی حداکثر جریان را در اختیار طراحان قرار می دهد و به صورت معمول در طراحی و اجرای کانالهای شهری مورد استفاده قرار می گیرد. عملکرد روش SCS بر مبنای هیدروگراف طرح استوار است که به طور طبیعی (با استفاده از آمار رواناب موجود در یک محل) و یا به صورت

مصنوعی (با توجه به خصوصیات هندسی و فیزیکی حوضه) قابل تولید 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 به طور خلاصه بیان می‌گردد.

### ۳-۱- روشنال (Rational Method)

متداولترین شیوه محاسبه‌ی حداکثر مقدار رواناب سطحی روش روشنال است. این روش بر پایه‌ی فرضیاتی شامل: ثابت بودن شدت رگبار و ضریب رواناب در طول مدت بارندگی، ثابت بودن سرعت جریان آب در داخل شبکه‌ی جمع‌آوری آبهای سطحی و پخش یکنواخت ورود رواناب به داخل دهانه‌های آبریز در طول زمان تمرکز استوار می‌باشد. در این راستا دبی اوج با استفاده از رابطه ۱ قابل محاسبه است.

$$Q = 2.78 \times C \times B \times I \times A \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه Q دبی اوج (lit/s)، C ضریب جریان سطحی، B ضریب حوضه‌ی آبریز، I شدت بارندگی (mm/hr) و A مساحت حوضه‌ی آبریز (ha) می‌باشند. ضریب جریان سطحی (C) که از آن به عنوان ضریب رواناب نیز نام می‌برند، مشخص کننده‌ی بخشی از آب باران است که پس از جریان سطحی به کانال مورد نظر وارد می‌گردد. میزان رواناب ناشی از ریزشهای جوی که در سطح زمین جاری می‌شود، تحت تاثیر عواملی چون: درجه حرارت محیط، رطوبت نسبی، نوع پوشش زمین، شیب اراضی و شدت بارندگی قرار دارد. این ضریب نامطمئنترین پارامتر در روش روشنال است که تابع عواملی نظیر: الف- جذب توسط گیاهان، ب- نفوذ به زمین، ج- ذخیره گودالی و د- تبخیر و تعرق می‌باشد. در طراحی کانالهای شهری، مقدار این ضریب تابعی از: نوع پوشش سطح زمین، شیب سطح زمین و نوع کاربری مناطق شهری است. مقادیر جدول شماره‌ی ۱ در برآورد ضریب جریان سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در صورتیکه مساحت تحت پوشش یک کانال دارای مقادیر ضریب جریان سطحی (C) متفاوتی باشد، متوسط‌گیری وزنی بر مبنای مساحت‌های مربوط به هر C، تعیین کننده‌ی C متوسط برای آن حوضه می‌باشد که از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌گردد.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (\text{رابطه ۲})$$

اگر هدف برآورد دبی اوج در یک نقطه‌ی خاص باشد، A مساحت حوضه‌ی 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 مورد نظر شده است. لذا به منظور تعیین مساحت مذکور، از نقشه‌ی پهنه‌بندی حوضه‌ها می‌توان استفاده نمود. این عمل با توجه به ترازبایی تقاطع‌ها، میداین و نقاط حساس منطقه قابل انجام است. در حوضه‌های

آبریز بزرگ، عملا هیچگاه حداکثر 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.

جدول شماره ۱- ضریب جریان سطحی (C) در مناطق شهری و زمینهای گوناگون

ضریب جریان سطحی	نوع منطقه یا سطح بارش
۰/۷ - ۰/۹۵	مناطق بازرگانی مرکز شهر و یا مناطق مسکونی بسیار پرتراکم (۳۰۰ تا ۱۰۰۰ نفر در هکتار)
۰/۷۰ تا ۰/۵۰	مناطق بازرگانی اطراف مرکز شهر یا مناطق مسکونی متراکم (۲۰۰ تا ۳۰۰ نفر در هکتار)
۰/۵۰ تا ۰/۳۰	مناطق مسکونی ویلانی یا مناطق کم تراکم (حدود ۱۰۰ نفر در هر هکتار)
۰/۷۵ تا ۰/۴۰	مناطق مسکونی ویلانی نزدیک به هم با تراکم متوسط (۱۰۰ تا ۲۰۰ نفر در هکتار)
۰/۳ - ۰/۱۵	خانه های ویلایی
۰/۴ - ۰/۱۶	آپارتمانی متفرقه
۰/۶ - ۰/۱۷۵	آپارتمانی چند واحدی چسبیده
۰/۲۵ - ۰/۴	شهرک های مسکونی
۰/۵ - ۰/۱۸	مناطق صنعتی سبک
۰/۶ - ۰/۱۹	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	زمین های بازی
۰/۲ - ۰/۳	اراضی باير
۰/۱ تا ۰/۰۵	زمین های سبز در خاکهای شنی، مسطح - شیب حدود ۲ درصد
۰/۱۵ تا ۰/۱	زمین های سبز در خاکهای شنی، شیب متوسط - شیب ۲ تا ۷ درصد
۰/۲ تا ۰/۱۵	زمین های سبز در خاکهای شنی، شیب تند - با شیب بیش از ۷ درصد
۰/۱۷ تا ۰/۱۳	زمین های سبز در خاکهای سنگین، مسطح - شیب حدود ۲ درصد
۰/۲۲ تا ۰/۱۸	زمین های سبز در خاکهای سنگین، شیب متوسط - شیب ۲ تا ۷ درصد
۰/۳۵ تا ۰/۲۵	زمین های سبز در خاکهای سنگین، شیب تند - با شیب بیش از ۷ درصد
۰/۳ - ۰/۱۵	زمینهای کشاورزی
۰/۰۵ - ۰/۲۵	زمین جنگلکاری شده
۰/۹۸ تا ۰/۹۵	سقف های شیروانی (آردواز، فلزی و...)
۰/۹۵ تا ۰/۹	سقف های مسطح آسفالت یا موزائیک
۰/۹ تا ۰/۸۵	خیابانهای آسفالت یا بتنی
۰/۸۵ تا ۰/۷۵	زمین های سنگ چین بدون فاصله و زمین های آجری
۰/۶ تا ۰/۲۵	زمین های سنگ چین با فاصله
۰/۶ تا ۰/۲۵	زمین های با پوشش ماکادام
۰/۳ تا ۰/۱۵	زمین های با پوشش شنی
۰/۱ تا ۰/۰۵	زمین های سبز و زمین های باغچه
۰/۱ - ۰/۲۵	پارک

با توجه به اینکه در روش رشنال حاصل ضرب شدت بارش حداکثر، در مساحت کل حوضه‌ی آبریز محاسبه می‌گردد، لذا به منظور تعدیل، در نظر گرفتن 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 موثر و کارآمد می‌باشد. مقدار ضریب حوضه‌ی آبریز، در حوضه‌های شهری اغلب برابر با ۱,۰ در نظر گرفته می‌شود. در جدول شماره ۲ ضریب حوضه‌ی آبریز برحسب مساحت نشان داده شده است.

جدول شماره ۲- ضریب حوضه‌ی آبریز، B

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

از دیگر پارامترهای مهم و تاثیرگذار در روش رشنال، شدت بارندگی می‌باشد. به منظور 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 [۲۳]. عامل دوم در تعیین شدت بارندگی، زمان بارش می‌باشد که در روش رشنال برابر با زمان تمرکز حوضه‌ی آبریز در نظر گرفته می‌شود. منظور از زمان تمرکز، مدت زمانی است که آب از دورترین نقطه حوضه‌ی آبریز به نقطه تمرکز (گلوگاه) رسیده و به همراه آب بارانی که در این نقطه می‌بارد جاری می‌شود. در کانالهای شهری، زمان تمرکز را می‌توان از جمع زمان‌های ورود و جریان به دست آورد. زمان ورود (Inlet time) مدت زمانی است که لازم است جریان آب بر روی زمین (Overland flow) طی نماید تا به اولین کانال برسد. این زمان به طور معمول بین ۵ الی ۱۵ دقیقه و گاه بیشتر در نظر گرفته می‌شود. زمان جریان (Time of flow) مدت زمانی است که آب در کانال مشخصی جریان یافته و به نقطه تمرکز می‌رسد. بدیهی است که زمان جریان به سرعت (یا دبی) جریان بستگی دارد که در نتیجه آن، مشخص می‌گردد که دبی جریان مطابق با روش رشنال (به طور غیرمستقیم) تابع زمان جریان (Time of Flow) است. این بدان معنی است که تعیین زمان دقیق جریان و در نتیجه زمان درست تمرکز، نیازمند استفاده از فرآیند آزمون و خطا خواهد بود. در چنین فرآیندی می‌توان سرعتی مشخص (مثلا یک متر در ثانیه) برای کانال فرض نمود و طبق آن با توجه به طول کانال، زمان جریان را به دست آورد ( $t_r = \frac{L}{V}$ ). با استفاده از زمان جریان به دست آمده، دبی جریان تعیین شده و براساس 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.

$$t_c = t_i + t_f \quad (\text{رابطه ۳})$$

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 انتخاب شده و با قرار دادن زمان تمرکز در آن، شدت بارندگی حداکثر، مطابق با روش رشنال محاسبه می‌گردد.

### ۳-۲-روش SCS

این روش اولین بار توسط سازمان حفاظت خاک ایالات متحده آمریکا (Soil conservation service) پیشنهاد داده شد [۲]. در مدل‌های هیدروگراف (مانند SCS و TR-55) ارائه شده توسط سازمان حفاظت خاک، میزان بارش بر اساس توزیع (هایتوگراف) با شرط ثابت نبودن آن در سطح حوضه، قابل تعیین است. در روش SCS محاسبه دبی در کانال‌های پایین دست، با تجمیع نمودن هیدروگراف‌های بارش انجام می‌شود. دبی حاصل از هیدروگراف‌های ترسیم شده، صرفاً تابعی از زمان 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 می‌باشد، لذا به عنوان راه حلی مناسب و معتبر برای حوضه های کوچک و بزرگ، شهری و غیر شهری قابل استفاده است. برخلاف روش رشنال، در SCS از شدت و مدت بارندگی به عنوان عوامل مؤثر صرف نظر شده و فقط مقدار بارش در طول مدت زمانی معین، در نظر گرفته می‌شود. لذا سعی بر آن است که مقدار جریان آب حاصل از بارش جوی (بدون اینکه به شدت 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 رابطه‌ی بین بارش و رواناب سطحی جاری در حوضه‌ی آبریز را می‌توان به صورت رابطه‌ی ۴ تعریف نمود.

$$\frac{F}{S_1} = \frac{Q}{P} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در رابطه فوق،  $F$  مقدار ذخیره‌ی رواناب،  $S_1$  حداکثر ظرفیت ذخیره‌ی رواناب،  $Q$  شدت جریان رواناب سطحی،  $P$  حداکثر 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 حداکثر از رابطه (۵) تعیین می‌شود.

$$q = \frac{3.003 \times A \times Q}{t_p} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن A سطح حوضه برحسب ( $km^2$ )، Q ارتفاع رواناب در حوضه که می‌تواند بخشی از ارتفاع بارش رگبار باشد (cm)،  $t_p$  زمان از شروع شاخه صعودی هیدروگراف تا لحظه رسیدن به دبی حداکثر (ساعت)، q دبی حداکثر ( $m^3/s$ ) هستند. به‌طور کلی روش SCS برای حوضه های شهری، نتایج منطقی و کاربردی قابل قبولی ارائه و در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان دقت این روش به انتخاب صحیح پارامترها و خصوصیات فیزیولوژی حوضه های آبریز و تخمین صحیح از عدد CN (عدد منحنی آبدوی)، بستگی دارد. برای تعیین CN ابتدا با توجه به نفوذپذیری خاک، نوع گروه خاک در جدول شماره ۳ مشخص می‌گردد.

جدول شماره ۳- طبقه‌بندی هیدرولوژیکی گروههای خاک

گروه	حداقل نفوذپذیری (MM*H)
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 ارائه شده برای خصوصیات پوششی سطح حوضه بدست می‌آید. سپس با توجه به وضعیت خشکی یا مرطوب بودن زمین، مقدار CN تصحیح می‌گردد [۲۰].

### ۳-۳- روش SWMM

مقدار رواناب سطحی جاری در یک حوضه‌ی آبریز (حاصل از بارش‌های جوی) به عواملی چون: شدت-مدت بارندگی، خصوصیات فیزیکی حوضه (اعم از: شیب، جنس بستر، درصد سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر) و پهنای حوضه بستگی دارد. روابط اساسی قابل استفاده در تحلیل‌های هیدرولیکی، روابط پیوستگی، انرژی و مومنتم است که شرح کامل آنها در مراجع هیدرولیک موجود می‌باشد [۲۲]. مدل SWMM یک حادثه رگبار را بر اساس هایتوگراف بارندگی، داده های 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 قابلیت‌هایی مانند: محاسبه‌ی هیدروگراف زیرحوضه های شهری، انتقال آبهای سطحی و همچنین قابلیت انتقال آب به صورت تحت فشار، موجود هستند. SWMM هیدروگراف ناشی از بارندگی بر سطح زیرحوضه‌ها را تعیین نموده و آن را به صورت مخزن غیرخطی،

در زیرحوضه‌های کوچک و کانالها، روندیابی می‌کند. در این حالت مخزن غیرخطی توسط دو معادله پیوستگی و مانینگ به دست می‌آید. برای یک زیرحوضه مقدار پیوستگی به صورت زیر قابل تعریف است.

$$\frac{dy}{dt} = A \times \frac{dy}{dt} = A \times i^* = Q \quad (\text{رابطه ۶})$$

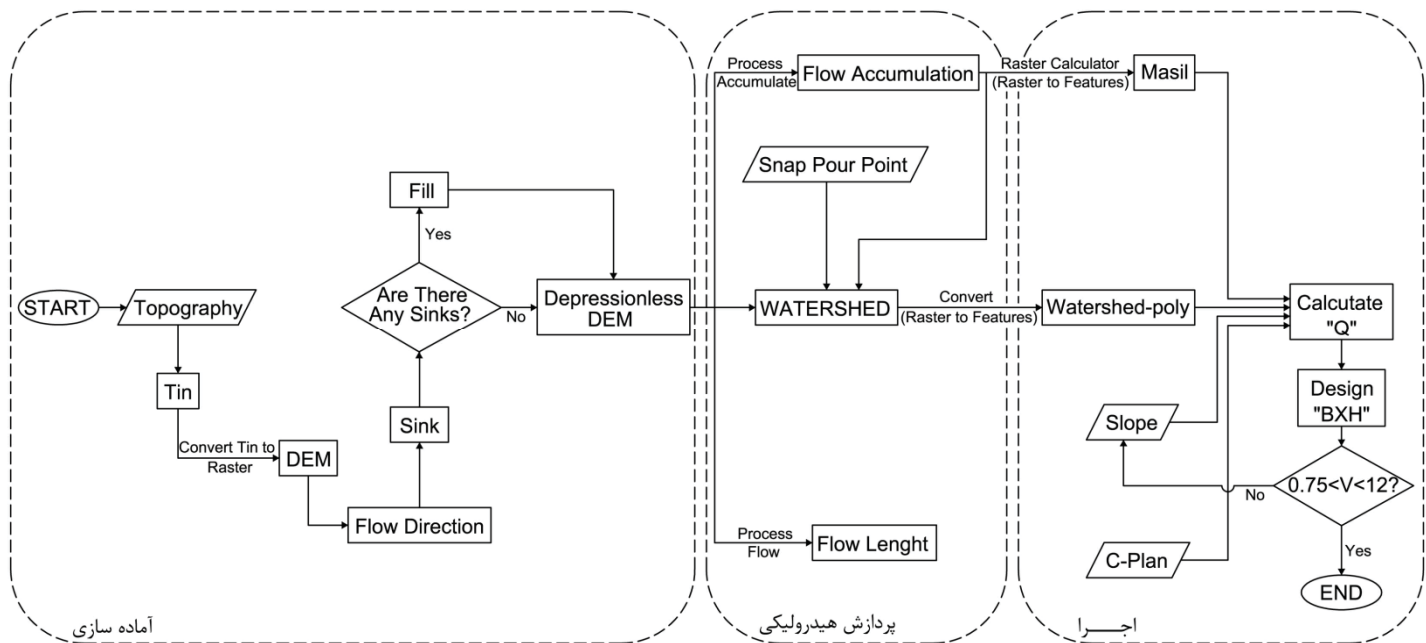
در رابطه‌ی (۶)،  $V=A.y$  حجم آب در زیرحوضه ( $m^3$ )،  $i^*$  بارش مازاد (شدت بارش منهای شدت تبخیر و نفوذ بر حسب  $(m/s)$ )،  $t$  زمان (ثانیه)،  $y$  عمق آب (متر)،  $A$  مساحت زیر حوضه ( $m^2$ ) و  $Q$  دبی خروجی از زیرحوضه ( $m^3/s$ ) می‌باشند. علاوه بر این جریان خروجی معادله مانینگ به صورت زیر بدست می‌آید.

$$Q = \frac{W}{n} \times (y - y_p)^{5/3} \times S^{1/2} \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن  $W$  پهنای زیر حوضه ( $m$ )،  $n$  ضریب زبری مانینگ،  $y_p$  عمق چالاب و  $S$  شیب متوسط زیرحوضه هستند. معادلات فوق در یک رابطه دیفرانسیل غیر خطی ترکیب شده و برای پارامتر عمق مجهول  $y$  حل می‌گردند.

#### ۴) پیاده سازی و اجرا

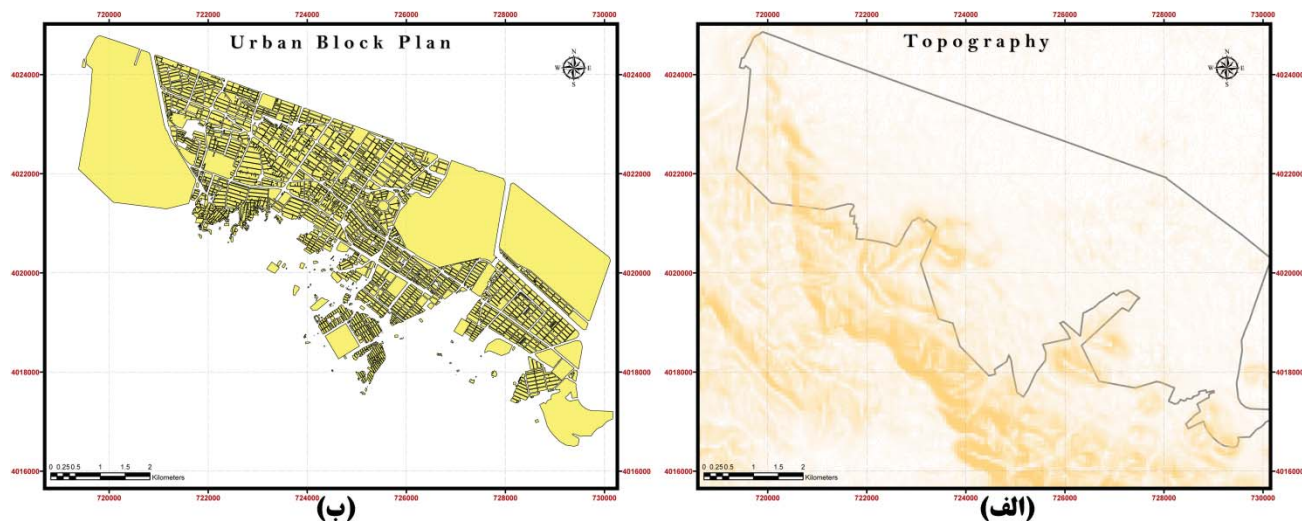
در این قسمت پیاده‌سازی و ارزیابی مدل رشنال، طی سه مرحله شامل: رسم روند کلی الگوریتم، بررسی محدوده مطالعاتی و مقایسه نتایج اجرایی، انجام می‌گیرد. در روند الگوریتم ترسیمی، فرایند پیاده سازی گام به گام، به سه بخش: آماده سازی، پردازش هیدرولیکی و اجرا تقسیم شده است (شکل شماره ۱). در فرایند آماده‌سازی، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، پس از بررسی‌های کیفی، در پایگاه داده‌ی مکانی ذخیره شده و به منظور تعیین مسیر پیمایش آب و تحلیل‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه با انجام آنالیزهای هیدرولیکی، پارامترهایی نظیر: سطوح حوضه‌ی 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 بدست آمده و با توجه به مشاهدات واقعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.



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

#### ۴-۱- محدوده مطالعاتی

شهر مشهد با آب و هوای معتدل و متمایل به سرد و خشک، در شمال شرق ایران واقع شده است و از سه 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 سیزده منطقه‌ی شهرداری تقسیم شده که از بین آنها مناطق ۷، ۸ و ۹ همجوار ارتفاعات جنوبی می‌باشند. یک چهارم مساحت منطقه‌ی ۹ واقع در جنوب غربی مشهد، در دامنه‌ی ارتفاعات قرار گرفته و از شیب نسبتاً تندی برخوردار است (شکل ۲-الف). در هنگام بارندگی، رواناب حاصل از بارش در این منطقه، از سطح حوضه‌های آبریز بالا دست به سمت شهر جاری شده و از طریق مسیل‌های طبیعی دفع می‌گردد. لذا در این مقاله، دلیل اصلی انتخاب این منطقه به عنوان محدوده مطالعاتی، کوچک بودن نسبی حوضه‌های آبریز، تعدد زهکشها و وجود سرشاخه‌های اصلی زهکشها می‌باشد. در این تحقیق پس از انتخاب روش رشنال و محاسبه دبی رواناب، با استفاده از رابطه‌ی ۸ (رابطه دبی در جریان پیوسته) میزان دبی رواناب مشخص می‌گردد.

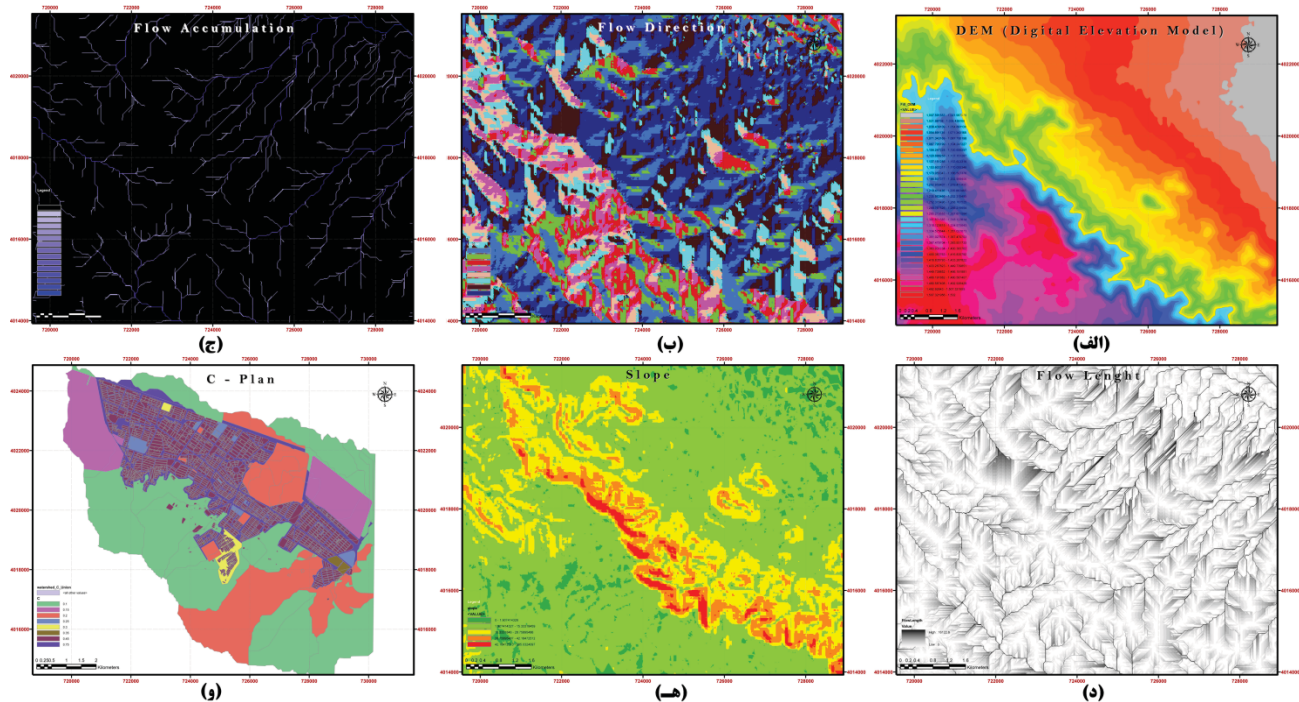


شکل ۲- نمایشی از توپوگرافی و پلان مبلمان شهری محدوده مطالعاتی

#### ۲-۴- 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 درونیابی منحنی میزانها، محصول اطلاعاتی سه بعدی به نام شبکه نامنظم مثلثی (Triangular Irregular Network) 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 می‌باشد. این موضوع با خواص سیال بودن آب و حرکت آن از ارتفاع بیشتر به ارتفاعات کمتر همخوانی دارد. در شکل (۳-ب) کلاس ۱۲۸ با رنگ سورمه‌ای نشانگر جهت جریان رواناب به سمت شمال شرقی میباشد 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 ناحیه‌ای 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 میباشد. همچنین خطوط مشکی رنگ در شکل (۳-د)، مسیر پیمایش آب از

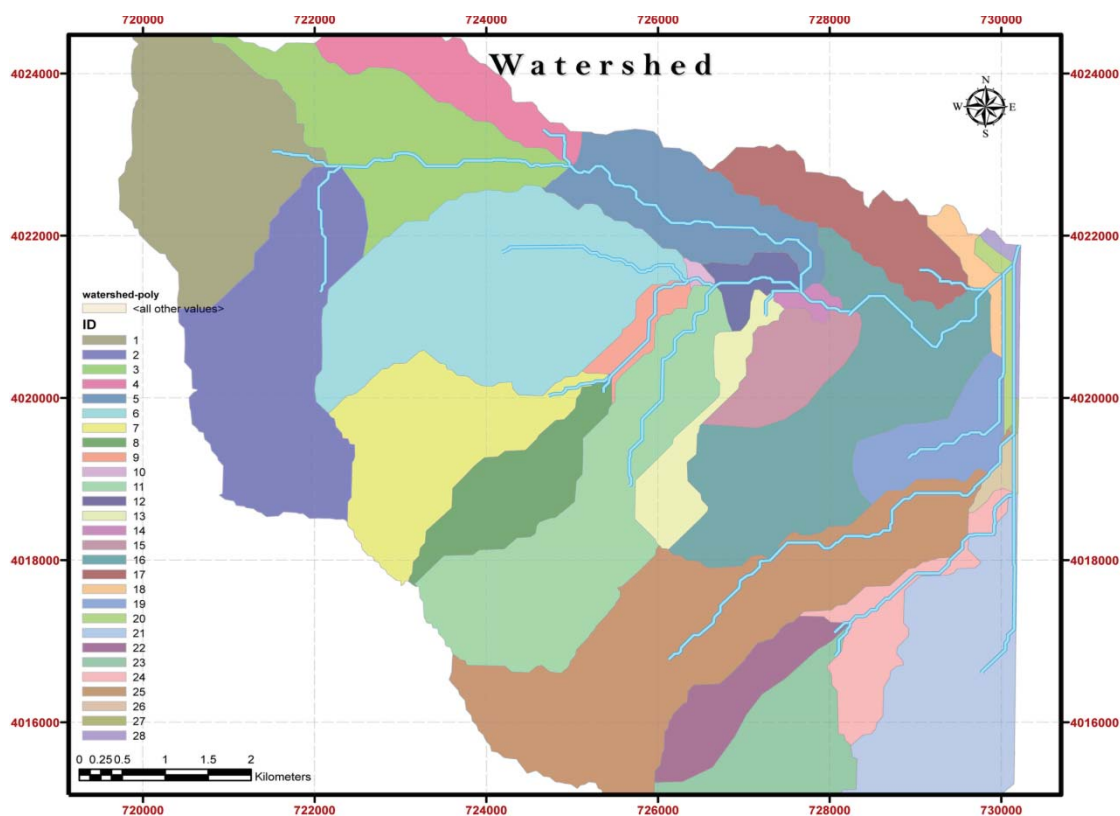
دورترین نقطه خط الراس حوضه تا محل خروج آب از آن را نمایش می‌دهد. همانگونه که در بخش سوم توضیح داده شد، این مسیر نقش بسزایی را در محاسبه زمان تمرکز جریان ایفا می‌نماید.



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 (Pour Point)، مدل ارتفاعی دیجیتال (DEM) (شکل ۳- الف) و سایر اطلاعات استخراج شده (شکل ۳)، در نهایت حوضه‌ی آبریز محدوده‌ی طرح (شکل ۴) مشخص می‌گردد.

در ادامه به منظور محاسبه‌ی مشخصات ژئومتریکی عوارض در تحلیل مطلوب، با استفاده از قابلیت‌های تبدیل ساختار داده‌ای در سیستم اطلاعات مکانی (مانند تبدیل رستر به بردار)، لایه‌ی برداری محدوده‌ی حوضه‌های آبریز تشکیل شده و اطلاعات لازم از قبیل سطوح حوضه به همراه سایر مشخصات، استخراج می‌گردند. اینک با استفاده از تئوری رشنال (مطابق با توضیحات بخش سوم) میزان دبی رواناب با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد. در این رابطه پارامتر  $A$  مساحت هر حوضه برحسب هکتار، از طریق محدوده‌های برداری خروجی بدست آمده و  $B$  یا ضریب حوضه‌ی آبریز، با توجه به مساحت هر یک و با در نظر گرفتن جدول شماره‌ی ۲ قابل محاسبه است.



شکل ۴- حوضه های آبریز استخراج شده از محدوده مطالعاتی

پارامتر I یا شدت بارندگی، از فرمولهای تجربی ارائه شده برای دوره‌های بازگشت مختلف بدست می‌آید. در این تحقیق، با در نظر گرفتن دوره‌ی بازگشت یکصد ساله جهت مسیل‌های اصلی و مطابق رابطه ۸، مقدار I محاسبه می‌گردد.

$$I = 28.2[0.54t^{0.25} - 0.5] \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در این رابطه،  $t$  (زمان تمرکز)  $(T_c)$  (مطابق آنچه در قبل توضیح داده شد) از رابطه ۹ بدست می‌آید.

$$T_c = \left[0.87 \frac{L^2}{h}\right]^{0.388} \quad (\text{رابطه ۹})$$

در رابطه فوق،  $L$  طول اصلی آبراهه منتج از مسیر پیمایش آب و  $H$  اختلاف ارتفاع ابتدای آبراهه (بالترین نقطه ارتفاعی حوضه) و انتهای آبراهه (پائین‌ترین نقطه ارتفاعی حوضه) می‌باشد که از محدوده‌های برداری خروجی قابل تعیین است. اکنون با استفاده از پارامترهای مشخص شده فوق و  $C_{ww}$  مطابق با آنچه در تئوری انجام کار بیان گردید، می‌توان دبی جریان برای هر حوضه را محاسبه نمود. مقدار  $C_{ww}$  یا ضریب رواناب سطحی وزن‌دار، با استفاده از شکل (۳-و) و انجام فرایندی شامل همپوشی با محدوده هر حوضه (شکل ۴) قابل تعیین می‌باشد. در این فرایند یک تحلیل

آماري زونال (Zonal Statistics) بر روي داده هاي مكاني C-plan (شكل ۳-و) انجام شده و شاخص  $C_{wv}$  به ازاي هر حوضه مشخص ميگردد. C-plan نقشه‌اي تفكيكي از مبلمان شهري به ازاي مقادير تعريف شده در جدول شماره (۱) مي‌باشد كه با استفاده از رابطه‌ي (۲) به مقادير  $C_{wv}$  مرتبط مي‌گردد. سپس با اعمال رابطه‌ي (۱۰) (رابطه پيوستگي) كه در آن Q دبي رواناب ( $m^3/s$ )، A سطح مقطع زهكش ( $m^2$ ) و V سرعت آب در داخل زهكش ( $m/s$ ) هستند، مقدار V از رابطه‌ي ۱۱ محاسبه مي‌گردد.

$$Q = A \times V \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$V = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times S^{1/2} \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

در رابطه‌ي ۱۱، n ضريب زبري مانينگ (بدون واحد)،  $R_h$  (رابطه‌ي ۱۲) شعاع هيدروليكي مقطع زهكش (m) و S شيب طولی زهكش مي‌باشند. n ضريب زبري مانينگ، بستگي به جنس مصالح زهكش داشته كه در اين تحقيق با توجه به در نظر گيري جنس بتن براي كانالها، ضريب n معادل 0.014 در نظر گرفته مي‌شود.

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

در رابطه‌ي فوق، A سطح مقطع زهكش ( $m^2$ ) و P محيط خيس شده آن (m)، مي‌باشند كه مقدار P به نوع مقطع (دايره، دوزنقه و يا حالات ديگري از مقاطع هندسي) بستگي دارد. در نتيجه با توجه به موقعيت منطقه مطالعاتي و سهولت در اجرا، مقطع مطلوب (با شكل مستطيل) انتخاب شده و رابطه‌ي بين ابعاد (B عرض مقطع و D ارتفاع آن) تعيين ميگردد. رابطه‌ي بين عرض مقطع و ارتفاع آن، بر اساس اين نکته كه در مقطع مستطيلي بهترين سطح مقطع هيدروليكي زماني ايجاد مي‌گردد كه عرض مقطع دو برابر ارتفاع باشد، به صورت ذيل قابل محاسبه است.

$$A = B \times D \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

$$P = B + 2D \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

$$B = 2 \times D \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

با جايگذاري روابط ۱۳ الي ۱۵ در رابطه‌ي ۱۱، ارتفاع مقطع زهكش قابل محاسبه خواهد بود (رابطه‌ي ۱۶).

$$D = \left( \frac{Q \times n}{\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 2} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (\text{رابطه ۱۶})$$



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 بلعکس با افزایش شیب طولی آبرو، ابعاد مقطع کوچکتر می‌گردد. در این خصوص، رابطه (۱۱) بیانگر رابطه‌ی مستقیم شیب با سرعت جریان می‌باشد.

پس از به‌دست آوردن ابعاد مقطع زهکش، لازم است که حدود رواداری سرعت رواناب، از طریق رابطه‌ی ۱۵ کنترل گردد.

$$0.75 < V < 12 \quad (\text{رابطه ۱۷})$$

چنانچه مقدار  $V$  بدست آمده، خارج محدوده‌ی 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 منطقه‌ی مطالعاتی نشان داده شده‌اند.

جدول ۴- مقایسه ابعاد زهکشهای موجود و ابعاد طراحی شده

H	G	F	E	D	C	B	A	
240X140	270X150	200X120	240X150	440X250	400X210	200X130	275X160	ابعاد موجود زهکش
230X135	260X150	190X115	230X135	440X240	390X215	200X120	260X150	ابعاد طراحی شده

## ۵- بحث و بررسی

با توجه به سادگی و قابلیت‌های مدل رشنال جهت محاسبه دبی رواناب و ویژگیهای منحصر به فرد منطقه نه شهرداری مشهد، محاسبه دبی و طراحی زهکش‌های این منطقه به عنوان هدف اصلی این مقاله مد نظر قرار گرفت. از طرفی خصوصیات روش رشنال مانند: الف- لزوم همزمانی بارش در کلیه‌ی مناطق، ب- ضرورت یکنواخت بودن بارش در نواحی مختلف، ج- وسیع نبودن منطقه‌ی مطالعاتی و د- عدم تاثیرپذیری ابعاد زهکش‌ها از حوضه‌ی آبریز بالادست، باعث می‌شود تا طراحی و بررسی وضعیت آبگرفتگی و همچنین ارزیابی زهکش‌ها، در سایر مناطق سیزده‌گانه شهر مشهد میسر نباشد. لذا با در نظر گرفتن این موضوع و نتایج حاصله از پیاده‌سازی مدل مشخص می‌گردد که خروجی ابعاد زهکش‌ها با نتایج کار انجام شده توسط مشاور طرح (وضعیت اجرا شده) مطابقت دارد (جدول شماره ۴). با مقایسه خروجیهای بدست آمده (جدول ۴) و محاسبه‌ی متوسط نسبت مساحت‌های بدست آمده از ابعاد زهکشهای طراحی شده به مساحت کانالهای موجود، میزان کاهش ابعاد به طور 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 محافظه کارانه تری را ارائه می کند، حائز اهمیت می باشد. کاهش ابعاد مذکور تابع عواملی نظیر: الف- تفاوت در نحوه محاسبه ضریب رواناب وزن شده ( $C_w$ ) (که ناشی از تفاوت در کاربری قطعات خصوصا در مناطق با وضعیت ساخت و ساز نامشخص می باشد)، ب- در نظر نگرفتن کمربندی جنوبی شهر مشهد (که پس از احداث، تغییراتی جزئی در وضعیت حوضه های آبریز بالادست ایجاد خواهد نمود)، ج- تفاوت در پوشش گیاهی منطقه فاقد مستحدثات می باشد. لذا چنانچه نیاز به طراحی شبکه ی جمع آوری رواناب سطحی در مناطق شهر مشهد باشد، این روش قابلیت محاسبه دبی رواناب در سه منطقه از سیزده منطقه ی شهرداری مشهد را خواهد داشت.

با بررسی های میدانی انجام گرفته نظیر بازدید از مسیل های اصلی و اندازه گیری ابعاد و تهیه ی گزارش و عکس از وضعیت موجود و دریافت اطلاعات از اداره فنی و عمران شهرداری منطقه، به منظور ارزیابی وضعیت موجود، مشخص می شود که مشکلات عمده ی آبرگرفتی منطقه مورد مطالعه عبارتست از: الف- عدم اجرای مقطع مناسب در بعضی از محدوده ها ب- تخلیه غیرمجاز نخاله ها و ضایعات ساختمانی در مقاطعی از مسیلهای طبیعی. اشکال (۵) و (۶) به ترتیب مقاطع پائین دست و بالادست یکی از مسیلهای منطقه واقع در حد فاصل لادن ۲۲ تا لادن ۱۶ در غرب محدوده مطالعاتی را نمایش می دهد. همانگونه که مشاهده می شود، ابعاد در بالادست متناسب با ابعاد بدست آمده از نتایج محاسبات در مقاله است (ابعاد بر حسب سانتیمتر ۲۴۰×۴۴۰). حال آنکه در پایین دست، مشکلات اجرایی و عدم تحصیل حریم مناسب، منجر به اجرای کانال با ابعاد کوچکتر از میزان مورد نیاز گردیده است (مقطع پایین دست به شکل لوله و با قطر ۲ متر که کمتر از ۳۰ درصد میزان مساحت مورد نیاز می باشد). همچنین در شکل (۷) که در ناحیه ی جنوبی محدوده مطالعاتی میباشد (روستای چهارچشمه)، تخلیه غیر قانونی ضایعات و نخاله های ساختمانی سبب انسداد مسیر طبیعی زهکش شده است.



شکل ۶ - مقطع بالا دست کانال لادن

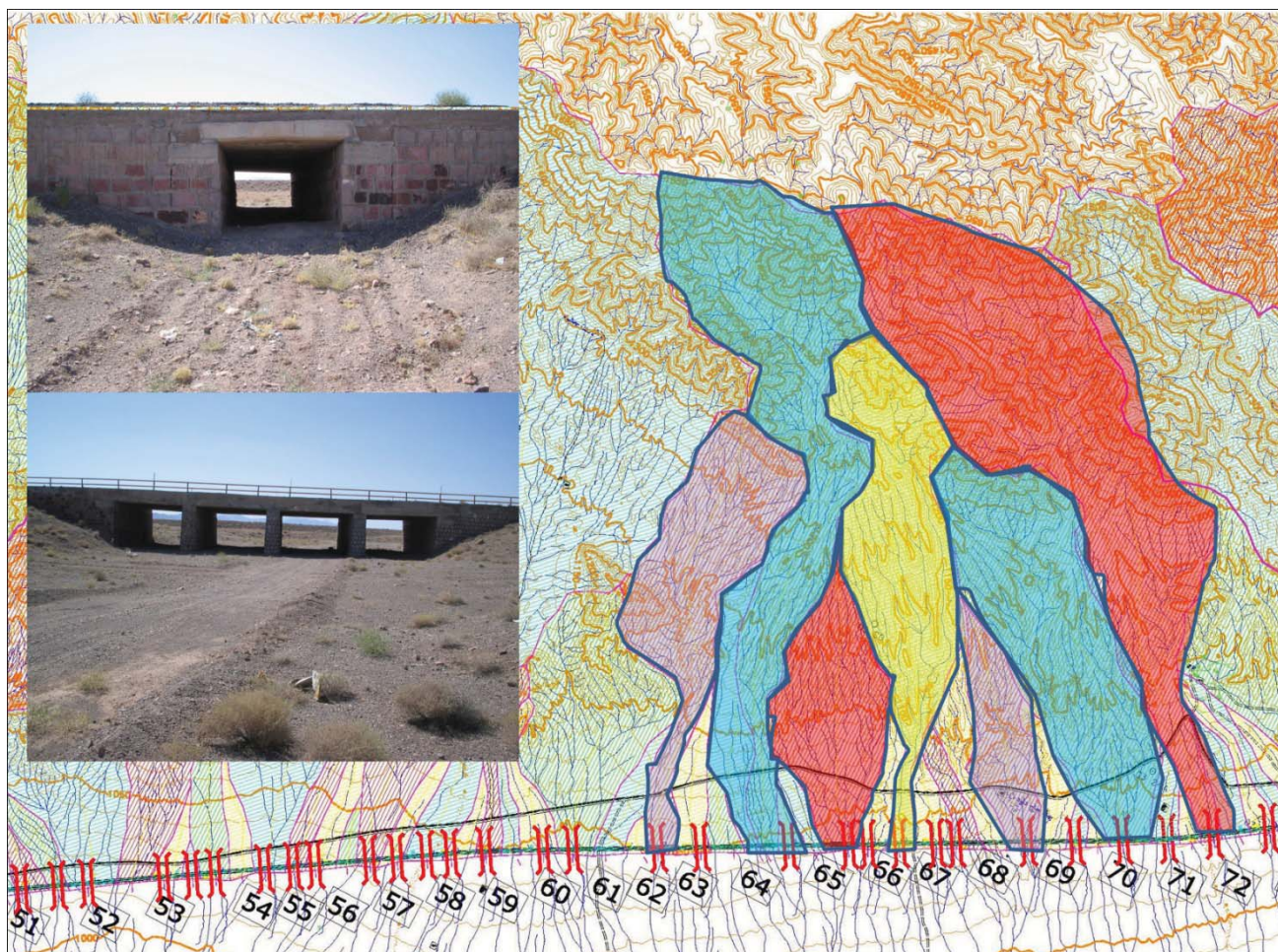


شکل ۵ - مقطع پایین دست کانال لادن



شکل ۷ - تخلیه غیر مجاز نخاله درسرشاخه روستای چهار چشمه

در نتیجه میتوان گفت که مدل رشنال، روشی مناسب برای حوضه‌بندی و محاسبه‌ی رواناب سطحی در حوضه‌های نسبتاً کوچک است. به همین منظور در پروژه‌های راهسازی، خصوصاً در طراحی مسیرهای برون شهری که به علت وجود مسیلهای طبیعی، نیازمند طراحی کالورت و آبرو از عرض مسیر هستند، حوضه‌بندی و طراحی ابعاد آبروهای عرضی به صورت محافظه کارانه و با دقت نسبی بالا، میسر می‌گردد. لذا این روش با توجه به تعداد زیاد آبراهه‌ها در طول راههای برون شهری، روشی مناسب و کارآمد خواهد بود. در شکل (۸) قسمتی از پلان مسیر برون شهری با سه خط ممتد نمایش داده شده است که شماره‌های مندرج در حاشیه معبر، مربوط به آبروهای عرضی مسیر هستند. با حوضه‌بندی و تعیین مسیر آبراهه‌ها و در نهایت محاسبه‌ی مقطع کالورت، مقطع آبروها به صورت یک و یا چند دهانه قابل تعریف است (شکل ۸).



شکل ۸ - حوضه‌بندی جهت طراحی کالورت‌های مسیرهای برون شهری

## ۶) نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در راستای مدیریت حمل و نقل و کاهش خسارات ناشی از آب گرفتگی تاسیسات شهری، در این مقاله روش رشنال از بین سایر روشهای محاسبه‌ی رواناب، انتخاب گردید. بدین منظور، با تلفیق این روش و قابلیت‌های سیستم اطلاعات مکانی در خصوص پیاده‌سازی مدل بارش-رواناب، مدیریت دفع صحیح و اصولی آبهای سطحی میسر می‌گردد. با بررسی تحقیقات علمی و تجربیات مرتبط با این زمینه، مشخص می‌شود که تاکنون ارزیابی مناسبی بر عملکرد مدل رشنال در راستای جمع‌آوری آبهای سطحی محدوده‌های شهری، انجام نشده است. با توجه به مطابقت منطقه ۹ شهرداری مشهد با مفروضات مدل رشنال، این منطقه به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب گردید. لذا در این مقاله پس از جمع‌آوری و آماده‌سازی اطلاعات لازم (شامل: نقشه‌های توپوگرافی منطقه و مبلمان شهری)، الگوریتم و روش کلی پیاده‌سازی ارائه شده و در نهایت نتایج خروجی حاصله با مشاهدات عینی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از مقایسه‌ی ابعاد وضع موجود مسیله‌ها با ابعاد محاسبه شده و ارزیابی میدانی ابعاد، مبین آنست که وضعیت زهکش‌های منطقه مناسب بوده و مطابق با طرح میباشند. با توجه به بررسی‌های میدانی، معضلات و مشکلات آبرفتگی منطقه از دو بخش عمده شامل: کاهش مقطع زهکش در پاره‌ای از مناطق پائین دست و تخلیه غیرقانونی نخاله و ضایعات ساختمانی در سرشاخه‌های مسیله‌های طبیعی در بالادست، تشکیل شده است. لذا نتایج ارزیابی حاکی از آنست که در مقاطع فاقد مشخصات فنی و با ابعاد نامناسب، بایستی فرایند بازسازی مطابق با ابعاد محاسباتی انجام گیرد، تا در هنگام وقوع سیلاب از انباشت و پس‌زدگی آب جلوگیری شود. همچنین لازم است که بازسازی مسیله‌های طبیعی با توجه به ابعاد مناسب با طرح در مناطق بالادست تکمیل شده و مدیریت بهینه جهت حفاظت از حریم آنها، توسط مجریان و ضابطین قانونی صورت پذیرد. از طرفی با استناد به مراحل انجام شده، مشخص می‌گردد که این روش کمک موثری به مهندسین و مشاورین راه، در حوضه‌بندی‌ها و طراحی کالورت‌های راه‌های برون شهری خواهد نمود.

- [1] M. Afshari Azad, H. Puraky, (2012). "Urban Morphology and Inundation pathways in Rasht." Quarterly Journal of geographical environment, vol 17.
- [2] A. Alizadeh, (2008). "Principles of Applied Hydrology". The twenty-fourth edition, Imam Reza University. Mashhad, Iran.
- [3] B. Gumbo, N. Munyamba, G. Sithole, H.G. Savenije, (2002). Coupling of digital elevation model and rainfall-runoff model in storm drainage network design. Physics and Chemistry of the Earth, 27:11-22.
- [4] J. Chen, A.A. Hill, L.D. Urbano, (2009). A GIS-based model for urban flood inundation. Journal of Hydrology, 373:184-192.
- [5] M.B. Smith, (2006). Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. Journal of Hydrology, 317:355-363.
- [6] M.K. Jain, U.C. Kothiyari, K.G. Ranga Raju, (2004). A GIS Based Distributed Rainfall Runoff Model. Journal of Hydrology, 299:107-115.
- [7] W Al-Sabhan, M. Mulligan, G.A. Blackburn, (2003). A real-time hydrological model for flood prediction using GIS and the WWW. Computers, Environment and Urban Systems, 27:9-32.
- [8] D.S. Fernandez, M.A. LUTZ, (2010). Urban flood hazard zoning in Tucuman Provinc, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. Engineering Geology, 111:90-98.
- [9] C.Q. Cheng, Y.C. Ko, Y. Yuan, Y. Ge, Sh. Zheng, (2006). GIS modeling for predicting river runoff volume in ungauged drainages in the Greater Toronto Area, Canada. Computer & Geosciences, 32:1108-1119.
- [10] D. Djokic, D.R. Maidment, (1991). Terrain analyses for urban storm water modeling. Hydrological processes, 5:115-124.
- [11] S. Djordjevic, D. Prodanovic, C. Maksimovic, (1999). An approach to simulation of dual drainage. Water Science and Technology, 39 (9):95-103.
- [12] M.H. Hsu, S.H. Chen, T.J. Chang, (2000). Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. Journal of hydrology, 324:21-37.
- [13] O. Mark, S. Weesakul, C. Apirumanekul, S.B. Aroonnet, S. Djordjevic, (2004). Potential and limitations of 1D modeling of urban flooding. Journal of hydrology, 35:159-172.
- [14] T.G. Schmith, M. Thomas, N. Ettrich, (2004). Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. Journal of hydrology, 293:300-311.

- [15] USDA, (1986). United States Department of Agriculture, soil conservation service: Urban hydrology for small watersheds. Technical Release 55. National Technical Information Service, Springfield, VA.
- [16] R.E. Schulze, E.J. Schmidt, J.C. Smithers, (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 .
- [17] M. Bellal, X. Sillen, Y. Zeck, (1996). Coupling GIS with a distributed hydrology model for studying the effect of various urban planning options on rainfall–runoff relationship in urbanized watersheds, In application of GIS in hydrology and water resources management, k. kovar, H.p.(editors), Nachtnebel. hydro GIS 96, IAHS Publication No.235, page 99-106.
- [18] V.T. Chaw, D.R. Maidment, L.W. Mays, (1998). Applied Hydrology. Mac Grow-Hill, NY.
- [19] C. Debource, X. Sillen, A. Van Hauwaert, Y. Zech,(1994). Rainfall-runoff modeling of partly urbanized watersheds: Comparison between a distributed model using GIS and other models sensitivity analysis. Wat. Sci. technol. Vol. 29, No. 1-2, pp 163-170.
- [20] H. Bouwer,(1986). Intake rate : Cylinder infiltrometer. In : A. Klute, (editor), Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods, ASA, Madison, USA.
- [21] S.A. Jafari Nejad, (2006). City and Intercity transportation networks for the environment, The National Conference of Urban Environment, Tehran, Faculty of Medical Sciences, Janbazan.[http://www.civilica.com/Paper-NCEUED01-NCEUED01\\_059.html](http://www.civilica.com/Paper-NCEUED01-NCEUED01_059.html)
- [22] EPA's Storm Water Management Model (SWMM) is used throughout the world ... is a dynamic rainfall-runoff simulation model used for single event or long-term ...  
<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>
- [23] Management and programming organization of Iran, (1992). Fundamental concepts and instruction of collecting surface water and wastewater in urban area. MPO Publication center, Journal of 118-3, PP. 7.