2019, Vol.6, No.1, Pages 51 to 60
Journal of Water and Sustainable Development

سال ششم، شماره ۱، ۱۳۹۸، صفحات ۵۱ تا ۶۰
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Methodology/ Case Study

نوع مقاله: روش‌شناسی/ مطالعه موردی

Investigating the Use of Urban Rainfall for Green Space Usage using Civil Storm Software (Case Study: Southern Part of Mashhad City)

M. Zebardast*, A. Roshani2*

1,2- MSc in Civil Engineering and Hydraulic Structures & Assistant Professor of Water Engineering, Islamic Azad University of Torbatheydarieh, Torbatheydarieh, Iran.

*(Corresponding Author Email: ar.roshani3380@gmail.com)

Received: 23-11-2018
Accepted: 03-03-2019

بررسی امکان استفاده از بارش‌های شهری جهت استفاده در مصارف فضای سبز با استفاده از نرم‌افزار Civil Storm (مطالعه موردی بخش جنوب شهر مشهد)

مجتبی زبردست[1]، علیرضا روشنی[2*]

۱ و ۲- به ترتیب کارشناس‌ارشد گروه عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی و استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت حیدریه.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: ar.roshani3380@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۰۲
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۲

Abstract

One of the main problems in industrial and urban areas is the runoff caused by rainfall and consequently the flood formation in these areas. Two important things in this regard are: i) rainfalls form urban floods, considering the recent droughts, this could be the main water resources for green spaces in urban areas, ii) the major amount of rainfalls become to flood due to the lack of synchronisation with irrigation demand or storage. The aim of this study is to determine the capacity of using rainfall in urban areas for usage in the development of urban green spaces. The runoff volume and runoff hydrograph are calculated using Civil Storm software. Based on the results, a suitable model for calculating the flood volume, as well as economic solutions to build runoff collecting structures are obtained. Civil Storm, Google Earth, Global Mapper, and AutoCad softwares were also used to map channels, nodes, routes, basins, and suburban basins and finally by adding the soil permeability coefficient and rainfall probability, the basin was simulated. The results confirm the ability of Storm Civil software to simulate the surface runoff and design the runoff collection systems. The comparison of the amount of runoff with a return period of 25 years, equal to 269337 m3, with the total volume of water requirement in district 9, equal to 2189849 m3, indicates that the study area, which is approximately one third of the area of district 9, can provide approximately 12.3% of the water requirement of the region.

Keywords: Urban flood, Determination of drainage network efficiency, Urban water resources management, Urban green space development.

چکیده

رواناب ناشی از بارندگی در جوامع و مراکز صنعتی و شهری ایجاد آب‌گرفتگی و وقوع سیلاب را به همراه دارد که از مشکلات عمده این مناطق می‌باشد. دراین‌خصوص دو نکته حائز اهمیت است: ۱- بارش‌ها در شرایط کنونی سیلاب‌های شهری را ایجاد می‌کند و از طرفی با وجود خشکسالی‌های اخیر می‌تواند تأمین‌کننده منابع آبی برای فضای سبز در مناطق شهری باشد. ۲- بخش عمده بارش‌های جوی به‌دلیل عدم هم‌زمانی با نیاز آبیاری و یا عدم ذخیره‌سازی از دسترس خارج شده و سبب جاری شدن سیل و ایجاد خسارت می‌شود. در این تحقیق تعیین ظرفیت استفاده از بارش باران در سطح مناطق شهری جهت استفاده در توسعه فضای سبز شهری بررسی شد و جهت محاسبه حجم رواناب و هیدروگراف سیلاب از نرم‌افزار Civil Storm استفاده شده است. با استفاده از این نرم‌افزار مدل مناسبی جهت برآورد حجم سیلاب و راهکاری اقتصادی جهت احداث ابنیه جمع‌آوری رواناب‌های سطحی به‌دست آمد. همچنین از نرم‌افزارهای Civil Storm، Google Earth، Global Mapper و AutoCad جهت ترسیم کانال‌ها، گره‌ها، مسیرهای ارتباطی، حوضه و زیرحوضه‌های شهری و خارج شهری استفاده شد و با اضافه کردن ضریب نفوذپذیری خاک و بارش محتمل، شبیه‌سازی حوضه تکمیل شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد قابلیت شبیه‌سازی حوضه جهت بررسی جریان رواناب سطحی و امکان طراحی شبکه جمع‌آوری رواناب و تأسیسات مورد نیاز با نرم‌افزار Civil Storm امکان‌پذیر می‌باشد. در نهایت حجم رواناب با دوره بازگشت ۲۵ سال (۲۶۹۳۳۷ مترمکعب) با حجم کل نیاز آبی منطقه ۹ (۲۱۸۹۸۴۹ مترمکعب) مقایسه شد و مشخص شد محدوده مورد مطالعه (شامل حدود یک سوم مساحت منطقه ۹) می‌تواند حدود ۱۲/۳ درصد نیاز آبی منطقه را تأمین کند.

واژه‌های کلیدی: سیلاب‌های شهری، تعیین کارایی شبکه زهکش، مدیریت منابع آب شهری، توسعه فضای سبز.

DOI: 10.22067/jwsd.v6i1.76771

مقدمه

سلسله چالش‌ها و مشکلات ناشی از کمبود آب و استفاده نادرست از منابع آب در ایران عوامل بروز بحران آب در این کشور است. خشکسالی‌های مکرر توأم با برداشت بیش‌ازحد آب‌های سطحی و زیرزمینی از طریق شبکه بزرگی از زیرساخت‌های هیدرولیکی و چاه‌های عمیق وضعیت آب کشور را به سطح بحرانی رسانده است. از نشانه‌های این وضعیت خشک‌شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، فرونشست زمین، تخریب کیفیت آب، فرسایش خاک، بیابان‌زایی و طوفان‌های گرد و غبار است.

ایران کشوری با اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. بحران آب در ایران تحت تأثیر سه عامل عمده رشد سریع و الگوی نامناسب استقرار جمعیت، کشاورزی ناکارآمد و سو مدیریت و عطش توسعه می‌باشد. از طرفی رشد جمعیت، توسعه شهری و صنعتی شدن جوامع تأثیرات نامطلوبی در هیدرولوژی حوضه آبریز می‌گذارد و موجب تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی در قسمت پایاب، کاهش جریان‌های پایه و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود (طاهری بهبهانی و بزرگ‌زاده، ۱۳۷۵). سطوح روکش شده شهر، بام ساختمان‌ها و سطوح خیابان‌ها و پارکینگ‌ها مانع از نفوذ آب باران به داخل خاک و تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شوند و بخش زیادی از بارندگی را به رواناب‌های سطحی تبدیل می‌کند (اصغری مقدم، ۱۳۸۴).

انسان‌ها با تغییر کاربری اراضی در حوضه‌های آبخیر، روی آوردن به شهرنشینی، احداث سدها و ذخایر آب، ساخت دیواره ساحلی رودخانه، مستقیم‌سازی کانال‌ها و تغییر اقلیم بر مورفولوژی و جریان رودخانه‌ها تأثیر می‌گذارند (Overeem و همکاران، ۲۰۱۳). دفع مستقیم رواناب‌های شهری به منابع آبی پذیرنده آلودگی شدید منابع آبی و محیط‌زیست را به همراه دارد. نفوذ دادن رواناب‌های آلوده شهرها در خاك ممکن است باعث آلودگی خاك و منابع آب زیرزمینی شود و خسارات جبران‌ناپذیری به بار آورد (Bedient و Huber، ۱۹۹۴). بیشتر آلودگی رواناب‌ها طی یک واقعه بارش رخ می‌دهد. شناخت یک منطقه در برابر هر بارش می‌تواند به تخمین دقیق میزان آلودگی در اثر رواناب‌های شهری کمک کند (Aryal و همکاران، ۲۰۰۹). بهینه‌سازی بهره‌برداری از ریزش‌های جوی یکی از راهکارهای اجرایی مدیریت و بهره‌برداری از آب قابل دسترس به‌ویژه برای مقابله با کم‌آبی است. جمع‌آوری آب باران به‌معنی جمع‌آوری و ذخیره رواناب‌ها از سطح بام‌ها، زمین‌ها و آب‌های فصلی و استفاده از آن برای آبیاری سالانه محصولات، مراتع و درختان، مصارف خانگی و دام و تغذیه آب زیرزمینی می‌باشد (Tuinhof و همکاران، ۲۰۱۲).

طراحی زهکش اصلی شهری شامل فرایندی پیچیده است. این امر از جهات مختلفی چون تعیین منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش‌های منطقه، انتخاب دوره بازگشت مناسب طراحی، انتخاب زمان بارش و انتخاب مدل مناسب بارش-رواناب می‌تواند بررسی شود. مدل بارش-رواناب فرآیندهای پیچیده هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را شبیه‌سازی می‌کند و ساختار مفهومی و ریاضی پیچیده‌ای دارد و به کمیت درآوردن آن‌ها نیاز به تخمین پارامترهای فیزیکی متعددی دارد (نصری و همکاران، ۱۳۹۵ ب).

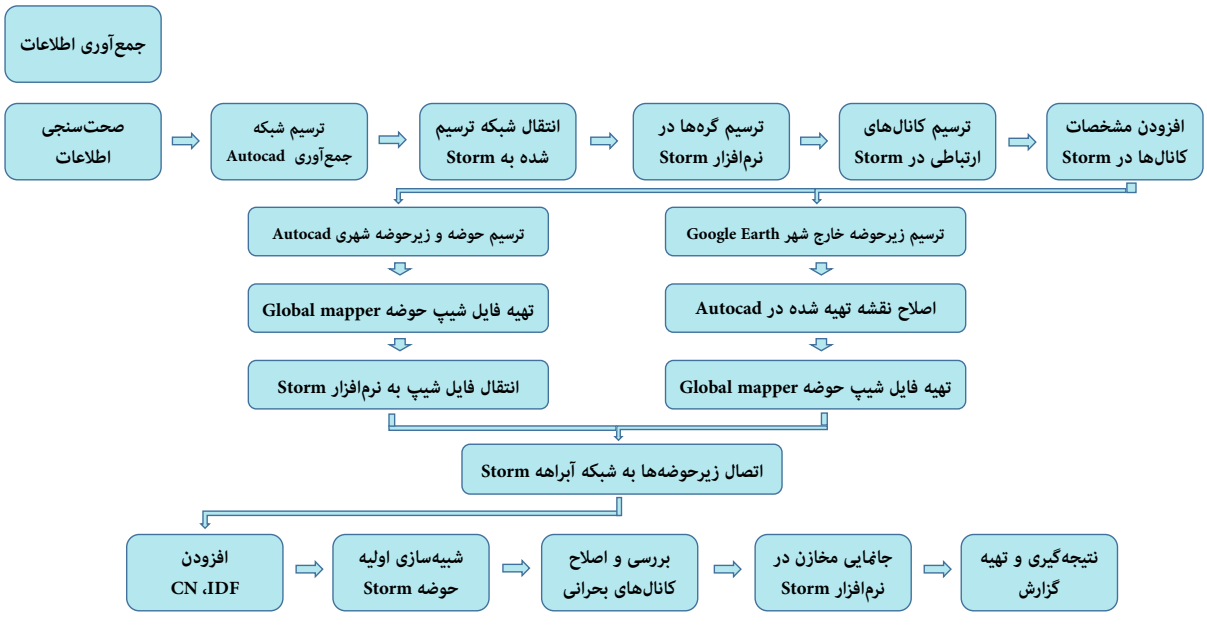
اهمیت جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی به‌عنوان یک ضرورت در توسعه شهری مطرح است و یکی از شاخص‌های توسعه شهری کارایی سیستم‌های جمع آوری و هدایت آب‌های سطحی می‌باشد. جمع‌آوری رواناب در محل مناسب نه تنها باعث کاهش پیک در هیدروگراف سیل می‌شود بلکه استفاده مجدد از سیلاب را ممکن می‌سازد. موارد کاربرد حوضچه‌های ذخیره شامل کنترل سیلاب، ذخیره‌سازی رواناب، کاربردهای تفریحی، تغذیه آب‌های زیرزمینی، مصارف آتش‌نشانی و استفاده در سیستم‌های خنک‌کننده کارخانه‌ها می‌باشد. نگرش حاکم در زمینه کنترل رواناب در کشور ما مبتنی بر دفع و انتقال سریع سیلاب به فواصل دور از شهر است و مدیریت بهینه منابع آب ناشی از نزولات بارش‌های آسمانی کمتر مورد توجه قرار می گیرد. به‌علت عدم طراحی مطلوب، توسعه شهری و مسائل بهره‌برداری و نگهداری مناسب، با کمترین مقدار بارش، شبکه اشباع می شود و در خیابان ها و معابر آب گرفتگی به وجود می‌آید. بنابراین نیاز است از تکنیک‌ها و سیستم‌های جدید مدیریتی و اجرایی در این‌خصوص مانند حوضچه‌های ذخیره، سنگفرش‌های نفوذ پذیر، ترانشه‌ها و باکس‌های نفوذ و سایر روش‌ها استفاده شود (نصری و همکاران، ۱۳۹۵ الف).

عابدی کوپایی و هاشمی (۱۳۹۵) به‌منظور برآورد رواناب شهری جهت استفاده در فضای سبز شهر نجف آباد نشان دادند چنانچه بخشی از بارش‌های جوی استحصال و ذخیره شود بخشی از آب مورد نیاز فضای سبز شهری تأمین خواهد شد. همچنین آن‌ها بیان کردند از این طریق می‌توان آب‌های با کیفیت مطلوب که صرف آبیاری فضای سبز می‌شود را به مصرف شرب و بهداشت اختصاص داد و فشار برداشت از منابع را جهت استفاده این بخش کاهش داد. آن‌ها از نرم‌افزار Storm Civil جهت شبیه‌سازی فرآیند بارش رواناب استفاده کردند و نیاز آبی فضای سبز شهری نجف‌آباد را حدود ۲۲/۴ درصد از پتانسیل تولید رواناب شهری در منطقه برآورد کردند. بنابراین با اتخاذ تدابیر لازم از جمله شبکه‌های جمع‌آوری و هدایت رواناب و همچنین مخازن ذخیره در ابعاد مناسب می‌توان رواناب تولیدی بر اثر نزولات جوی در سطح شهر را ذخیره و در آبیاری فضای سبز استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

• مراحل انجام تحقیق

برای محاسبه میزان رواناب سطحی اطلاعات مورد نیاز مانند نقشه‌های توپوگرافی منطقه از سازمان نقشه‌برداری خراسان رضوی، مشخصات شبکه آبراهه طبیعی و شبکه کانال‌های جمع‌آوری آب سطحی از شهرداری مشهد، آمار بارش حوضه از سازمان هواشناسی استان، اطلاعات شدت-مدت-فراوانی بارش حوضه و ظرفیت نفوذپذیری حوضه از شرکت‌های مشاور فعال در بخش مدیریت منابع آب شهری و جداول نیاز آبی فضای سبز از شهرداری منطقه ۹ شهر مشهد جمع‌آوری و اطلاعات مربوط به ابعاد کانال‌ها باتوجه‌به مشاهدات میدانی و برداشت های نقشه برداری صحت‌سنجی و در صورت لزوم اصلاح شد. سپس محاسبات انجام شده و با استفاده از نرم‌افزارهای AutoCad، CivilStorm، Global Mapper و Google Earth شبیه‌سازی حوضه انجام شد. در شکل (۱) مراحل ذکر شده ارائه شده است.



شکل ۱- فلوچارت مراحل انجام تحقیق

• نرم‌افزار Civil Storm

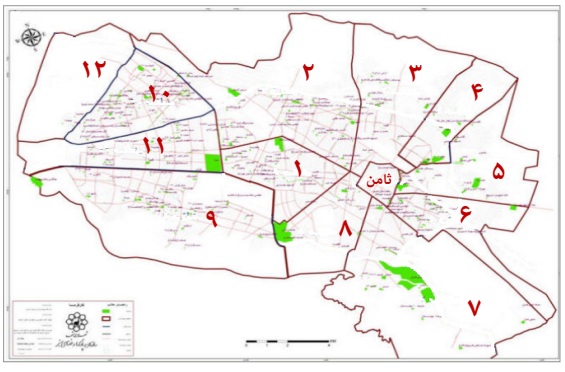
نرم‌افزار Civil Storm کل سیستم آب حاصل از رگبار را در یک مدل به‌صورت قابل فهم و با مقیاس مناسب شبیه‌سازی می‌نماید. موتور مدل‌سازی دینامیکی آب حاصل از رگبار و هیدروگراف‌های رواناب را محاسبه نموده و عکس‌العمل هیدرولیکی درون سیستم‌های داخلی شامل ورودی‌ها، لوله‌ها، آبراهه‌ها، کالورت‌ها و تالاب‌ها را تحلیل می‌نماید. همچنین این امکان را فراهم می‌آورد مشکلات ناشی از طراحی و رواناب را در قالب جداول پروفیل‌هایی نمایش دهد (نصری و همکاران، ۱۳۹۳).

باتوجه‌به دقت بالای محاسبات، در دسترس بودن نرم‌افزار جهت نصب، نوار ابزار قوی و به‌روز بودن آن به سرعت در جهان مورد استقبال مشاوران و پژوهشگران در مسائل آبی قرار گرفته است. این نرم‌افزار توانمند توانایی انجام محاسبات و پردازش‌های مختلف بر روی سیلاب را دارد. همچنین امکان استفاده از این نرم‌افزار در تحلیل شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی وجود دارد. این نرم‌افزار بر مبنای مختصات مکانی امکان سناریوسازی‌های مختلف را در تحلیل شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی فراهم آورده است.

• منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد با ۳۵۱ کیلومتر مربع مساحت و با بیشینه ارتفاع ۱۱۵۰ متر و کمینه ۹۵۰ متر است (آمارنامه شهر مشهد ۱۳۹۴ بازبینی شده در ۲۶ مهر ۱۳۹۶). این پژوهش در محدوده جنوب غربی شهر مشهد حدفاصل بلوار هاشمیه، بلوار وکیل آباد، بلوار دلاوران و کوه‌های چهارچشمه واقع شده و از لحاظ موقعیت شهرداری قسمتی از منطقه ۹ شهرداری مشهد است (شکل‌های ۲ و ۳).

علت اصلی انتخاب این محدوده مطالعاتی موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی حوضه، وجود شبکه آبراهه‌ای مناسب از لحاظ رده‌بندی آبراهه‌ها، وجود سرشاخه‌هایی که از کوه‌های جنوبی حوضه سرچشمه گرفته است و وجود پارک‌ها و فضاهای سبز متعدد است.



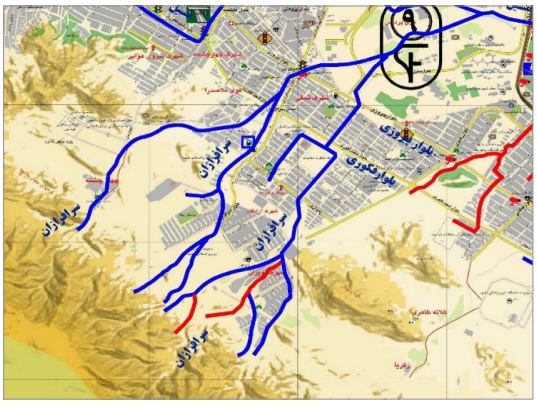
شکل ۲- مناطق شهرداری شهر مشهد مقدس

شکل ۳- نقشه منطقه مورد مطالعه (منطقه ۹ مشهد)

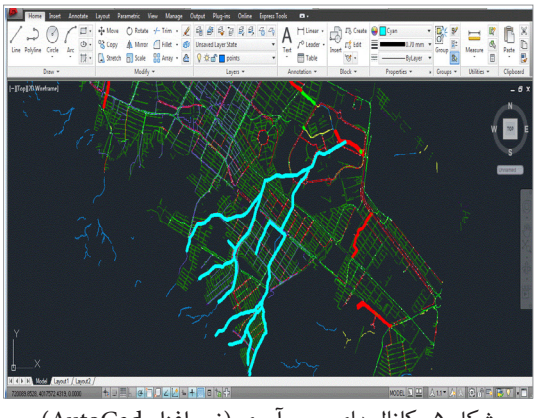
• **شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار Civil Storm**

پس از انتخاب منطقه مورد نظر جمع‌آوری اطلاعات مربوط به کانال‌های اصلی، فرعی و شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی حوضه انجام شد. در شکل (۴) طرح کلی کانال‌های این منطقه نشان داده شده است. موقعیت مکانی، مختصات و ارتفاع سطح و کف کانال‌ها از نقشه‌ها و جداول شهرداری‌ها جمع‌آوری شد که به‌علت کسری اطلاعات و ایرادات موجود در برداشت‌های نقشه‌برداری، با انجام مشاهدات میدانی و برداشت‌های مجدد ابعاد و تراز ارتفاعی کانال‌های منطقه اصلاح و امکان استفاده از داده‌ها فراهم شد. نقشه دقیق کانال‌های شهری باتوجه‌به داده‌های جمع‌آوری شده ترسیم شد و نقاط گره‌ها و نقاط بحرانی در نرم‌افزار AutoCad مشخص شد (شکل ۵).

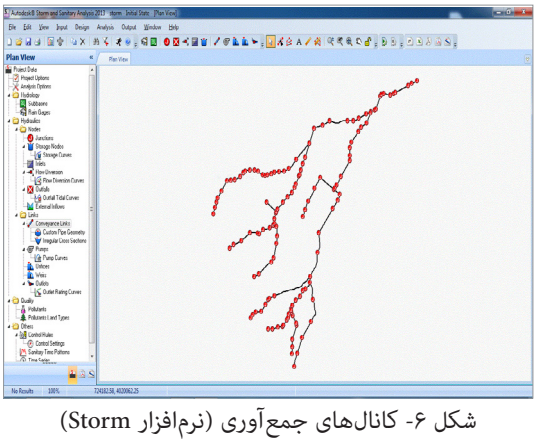
نقشه کانال‌های شهری را وارد نرم‌افزار Civil Storm کرده و محل تقاطع کانال‌ها یا گره‌ها[1] روی مسیر ترسیم شد (شکل ۶). سپس مشخصات کانال در محل گره‌ها شامل موقعیت مکانی، ابعاد، ارتفاع کف و سطح و حداقل تراز جریان عبوری از کانال وارد نرم‌افزار شده و کلیه مسیرهای ارتباطی[2] ترسیم شده است. باتوجه‌به اطلاعات کانال‌ها از جمله نوع آن‌ها (مستطیلی باز، ذوزنقه‌ای، کالورت، لوله‌ای و ...)، ارتفاع و عرض، مشخصات مسیرهای ارتباطی وارد نرم‌افزار شد (شکل ۷).



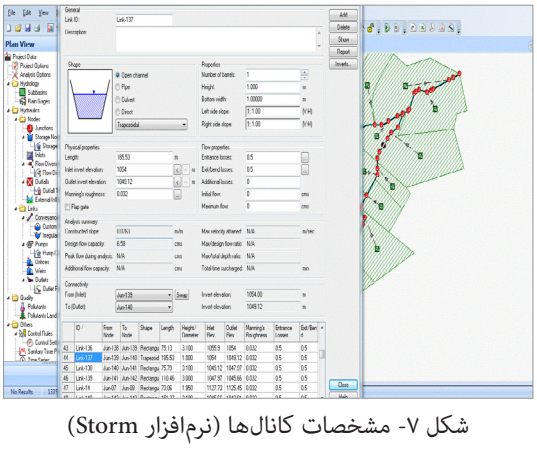
شکل ۴- طرح کانال‌های جمع‌آوری رواناب سطحی



شکل ۵- کانال‌های جمع‌آوری (نرم افزار AutoCad)

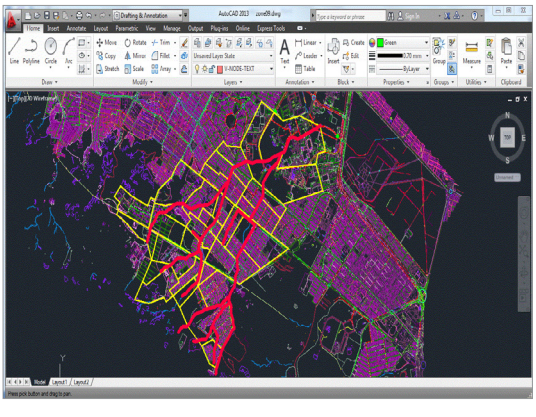


شکل ۶- کانال‌های جمع‌آوری (نرم‌افزار Storm)

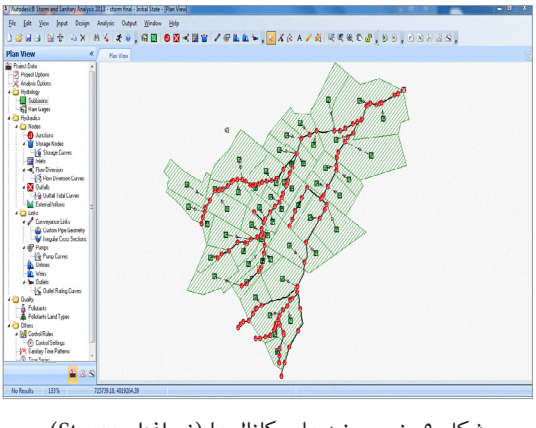


شکل ۷- مشخصات کانال‌ها (نرم‌افزار Storm)

با وارد کردن داده‌های مذکور، نرم‌افزار Civil Storm قادر خواهد بود طول کانال‌ها، شیب آن‌ها و کلیه مشخصات شبکه آبراهه را پردازش کند. در این حوضه حدود ۱۴۰ عدد گره و مسیر ارتباطی مربوطه ترسیم شده است. در مرحله بعد حوضه و زیرحوضه‌های شهری ترسیم شد. باتوجه‌به نقشه شهر مشهد و شیب خیابان‌های اصلی و فرعی، جوی‌های فرعی و اصلی معابر، محل اتصال جوی‌ها و کانال‌های فرعی به کانال اصلی شبکه آبراهه‌ها، موقعیت ساختمان‌ها و عوارض شهری زیرحوضه‌ها در نرم‌افزار AutoCad ترسیم شد. در شکل (۸) نقشه تکمیل شده زیرحوضه‌های شهری ارائه شده است. نقشه ترسیم شده توسط Global Mapper به Shape فایل تبدیل و در نرم‌افزار Civil Storm فراخوانی شد. حوضه شهری این تحقیق از ۵۲ زیرحوضه[۳] تشکیل شده است. جهت محاسبه حجم رواناب بر روی هر زیرحوضه باید نقطه خروجی رواناب آن زیرحوضه مشخص شود. باتوجه‌به توپوگرافی منطقه نیاز است هر زیرحوضه به یک گره در مسیر کانال‌های اصلی متصل شود. اتصال زیرحوضه‌ها به شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی در شکل (۹) نشان داده شده است.

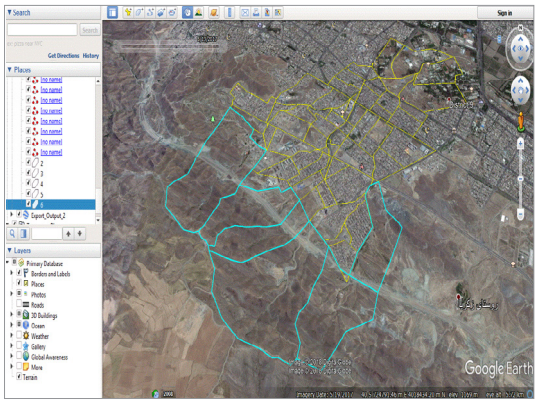


شکل ۸- ترسیم زیر حوضه‌ها (نرم افزار AutoCad)

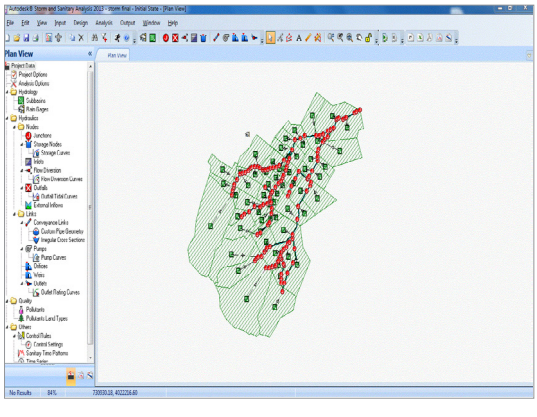


شکل ۹- زیرحوضه‌ها و کانال‌ها (نرم‌افزار Storm)

باتوجه‌به اینکه اطلاعات کانال‌های طبیعی و عوارض خارج شهر موجود نیست جهت حوضه‌بندی این مناطق از نرم‌افزار Google Earth استفاده شد و با استفاده از توپوگرافی منطقه زیرحوضه‌ها تعیین شد (شکل ۱۰). باتوجه‌به عوارض طبیعی منطقه خارج از شهر (امتداد کوه‌های چهارچشمه تا انتهای بلوار سرافرازان) به ۶ بخش تقسیم شد. با استفاده از نرم‌افزار Google Earth، Shape فایل حوضه استخراج شد و در نرم‌افزار Civil Storm فراخوانی و زیرحوضه‌های خارج شهر به شبکه انتقال رواناب متصل شد. سپس شبکه آبراهه‌ها و زیرحوضه‌های شهری و خارج از شهر در محدوده مطالعه شبیه‌سازی شد. لازم به ذکر است با اضافه کردن بارش و ضریب نفوذپذیری منطقه امکان اجرا نرم‌افزار فراهم می‌شود. شکل (۱۱) نقشه تکمیل شده شبیه‌سازی حوضه مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- زیرحوضه‌ها خارج شهری (نرم‌افزار Google Earth)



شکل ۱۱- زیرحوضه‌ها شهری و خارج شهری (Storm)

- **نفوذپذیری حوضه**[۴]

یکی از عوامل اصلی کاهش رواناب سطحی نفوذپذیری حوضه می‌باشد و در مناطق غیر شهری باتوجه‌به پوشش گیاهی حوضه و جداول موجود پیش‌بینی می‌شود. در این تحقیق باتوجه‌به پوشش منطقه (مراتع طبیعی با پوشش ضعیف و با نفوذپذیری کم) و جداول مربوطه میزان نفوذپذیری حوضه خارج از شهر ۶۸ در نظر گرفته شد (علیزاده، ۱۳۷۷).

باتوجه‌به وجود متغییرهای مختلف از جمله وجود پارک‌ها و فضاهای سبز که نفوذ پذیری بالایی دارند و در مقابل آن آسفالت خیابان‌ها و سنگ‌فرش پیاده‌روها که نفوذناپذیر هستند عامل نفوذپذیری در مناطق شهری تعیین می‌شود. همچنین تراکم ساختمان‌ها در منطقه و فرایند انتقال رواناب ایجاد شده بر روی پشت‌بام ساختمان‌ها در اثر بارندگی به شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی (در بعضی مناطق بارش بر روی پشت‌بام ساختمان‌ها به چاه یا شبکه اگو متصل شده است) تعیین‌کننده عدد نفوذپذیری منطقه می‌باشد. باتوجه‌به درصد سطح اشغال متغییرهای ذکر شده و ضریب نفوذپذیری آن‌ها و از طرفی بررسی‌های صورت گرفته از شهرداری‌ها و مشاوران فعال در زمینه طراحی شبکه‌های جمع‌آوری رواناب شهر مشهد مقدار ضریب نفوذپذیری منطقه ۴۵،۹ (براساس شماره منحنی سازمان SCS) در نظر گرفته شد (اطلاعات الکترونیکی دریافتی از شهرداری مشهد، ۱۳۹۷).

• منحنی شدت-مدت-فراوانی بارش[5]

منحنی شدت-مدت-فراوانی بارش یکی از ابزارهای مهم برای طراحی، برنامه‌ریزی و عملیات در پروژه‌های منابع آب است. این منحنی میزان شدت بارش در یک دوره زمانی مطلوب را با دوره بازگشت مشخص نشان داده و با استفاده از آن می‌توان جریان را از روی شدت بارش تخمین زد.

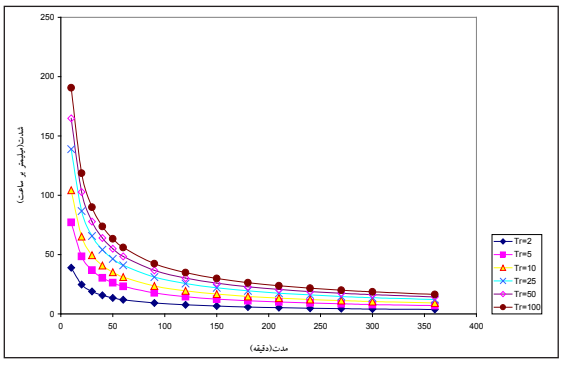
باتوجه‌به اطلاعات ایستگاه سینوپتیک مشهد و محاسبات و تحقیقات وزیری (۱۳۷۱) بر روی منحنی شدت-مدت-فراوانی بارش در ایران و همچنین استفاده شهرداری‌ها، سازمان آب و مشاوران فعال در خصوص مسائل رواناب از این داده‌ها از نتایج به‌دست آمده ایشان در این تحقیق استفاده شده است. وزیری (۱۳۷۱) با انجام تحقیقات وسیعی بر روی آمار ایستگاه‌های موجود و تقسیم نقاط مختلف ایران به هفت منطقه جداگانه روابط مفیدی ارائه نمود. نتایج تحقیقات ایشان برای مناطق شمال شرق کشور که شامل منطقه مطالعاتی رضاشهر نیز است، مطابق جدول (۱) و شکل (۱۲) می‌باشد.

نتایج و بحث

با محاسبه و ترسیم شبکه آبراهه و مشخص‌شدن حوضه اصلی و زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه و معرفی IDF و CN شبیه‌سازی حوضه انجام شده، حوضه مورد مطالعه بررسی شد. مطابق آنچه ذکر شد ضریب نفوذپذیری حوضه شهری ۴۵ (براساس شماره منحنی سازمان SCS) و برای حوضه خارج از شهر باتوجه‌به جنس خاک و جداول نفوذپذیری ۶۸ در نظر گرفته شد؛ این ضرایب باید به هر یک از زیرحوضه‌ها در نرم‌افزار Civil Storm اضافه شود (علیزاده، ۱۳۷۷). جدول (۲) حجم رواناب و شدت سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در محل خروجی حوضه را نشان می‌دهد. در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نیز حجم رواناب در نقطه خروجی با دوره

جدول ۱- حداکثر شدت بارش با استفاده از معادلات منطقه‌ای وزیری ۱۳۷۱ (ایستگاه سینوپتیک مشهد) (mm/hr)

	دوره بازگشت(سال)	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
زمان تداوم جریان	۱۰ دقیقه	۳۹/۱	۷۶/۵	۱۰۳	۱۳۶	۱۶۱	۱۸۶
	۲۰	۲۵/۶	۵۰/۱	۶۷/۲	۸۹/۳	۱۰۶	۱۲۲
	۳۰	۱۹/۴	۳۸	۵۱	۶۷/۷	۸۰/۲	۹۲/۶
	۴۰	۱۵/۸	۳۱	۴۱/۶	۵۵/۲	۶۵/۳	۷۵/۴
	۵۰	۱۳/۴	۲۶/۳	۳۵/۳	۴۶/۹	۵۵/۵	۶۴/۱
	۶۰	۱۱/۷	۲۳	۳۰/۸	۴۰/۹	۴۸/۴	۵۵/۹
	۹۰	۸/۶۲	۱۶/۸	۲۲/۶	۳۰	۳۵/۶	۴۱
	۲ ساعت	۶/۸۸	۱۳/۵	۱۸/۱	۲۴	۲۸/۴	۳۲/۸
	۲/۵	۶/۶۵	۱۲/۵	۱۶/۶	۲۱/۷	۲۵/۶	۲۹/۴
	۳	۵/۹	۱۱/۱	۱۴/۷	۱۹/۳	۲۲/۷	۲۶/۱
	۳/۵	۵/۳۳	۱۰	۱۳/۳	۱۷/۴	۲۰/۵	۲۳/۵
	۴	۴/۸۸	۹/۱۸	۱۲/۲	۱۵/۹	۱۸/۸	۲۱/۶
	۴/۵	۴/۵۲	۸/۵	۱۱/۲	۱۴/۸	۱۷/۴	۲۰
	۵	۴/۲۲	۷/۹۳	۱۰/۵	۱۳/۸	۱۶/۲	۱۸/۶
	۶	۳/۷۴	۷/۰۳	۹/۳۱	۱۲/۲	۱۴/۴	۱۶/۵

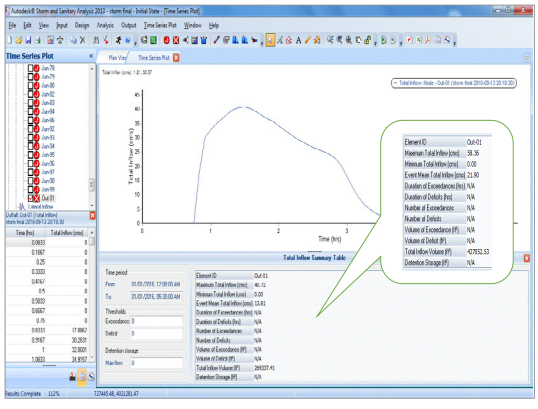


شکل ۱۲- حداکثر شدت بارش با دوره بازگشت‌های مختلف (ایستگاه سینوپتیک مشهد) (mm/hr)

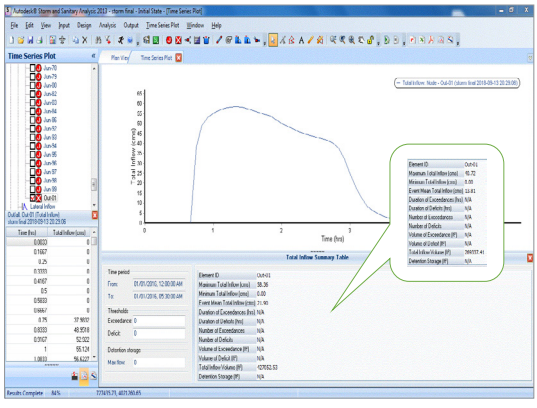
بازگشت ۲۵ و ۱۰۰ سال نمایش داده شده است.

جدول ۲- حجم رواناب و شدت سیلاب حوضه در دوره بازگشت‌های متفاوت

دوره بازگشت (سال)	حجم رواناب (m^3)	شدت سیلاب (m^3/s)
۲	۵۰۱۸	۰/۹۸
۵	۶۳۴۴۱	۱۱/۲
۱۰	۱۴۸۶۱۱	۲۳/۸۴
۲۵	۲۶۹۳۳۷	۴۰/۷۲
۵۰	۳۵۵۳۵۹	۵۲/۹۸
۱۰۰	۴۲۷۰۵۳	۵۸/۳۶



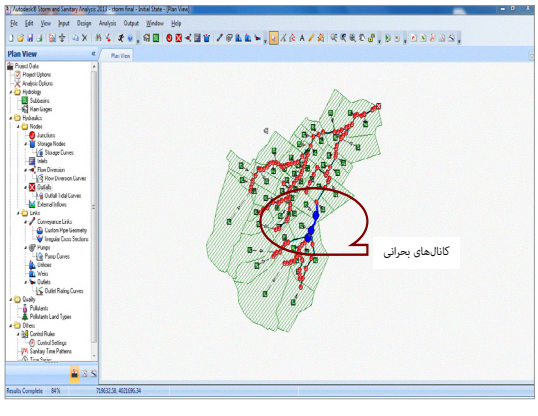
شکل ۱۳- حجم رواناب حوضه با دوره بازگشت ۲۵ سال در محل خروجی



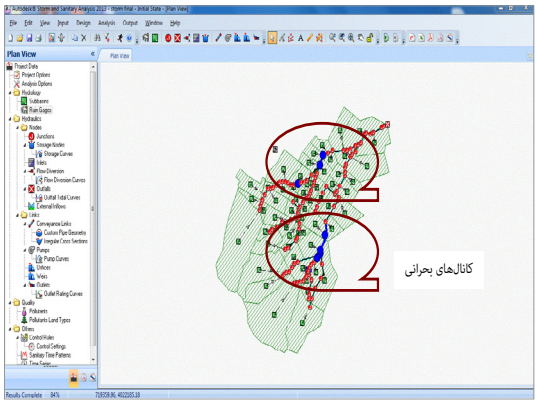
شکل ۱۴- حجم رواناب حوضه با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در محل خروجی

• **طراحی نامناسب ابعاد کانال‌ها موجود برای عبور جریان**

چنانچه ابعاد کانال جهت عبور جریان مناسب طراحی نشده باشد نرم‌افزار Civil Storm مسیرهای مورد نظر را مشخص می‌کند. در این پژوهش مشخص شد برای بارش‌های با دوره بازگشت ۲۵ سال و بیشتر بعضی مقاطع از شبکه کانال‌ها امکان عبور تمام جریان را ندارد. عدم عبور تمام جریان از قسمتی از مسیر باعث می‌شود در فرایند شبیه‌سازی، حجم رواناب حوضه کمتر محاسبه شود که در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) کانال‌های بحرانی که با رنگ آبی توسط نرم‌افزار مشخص شده است، مشاهده می‌شود.



شکل ۱۵- عدم عبور جریان از کانال مشخص شده با دوره بازگشت ۲۵ سال



شکل ۱۶- عدم عبور جریان از کانال‌های بحرانی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

جهت برآورد دقیق میزان رواناب در نرم‌افزار، ابعاد کانال‌هایی که قابلیت انتقال کل حجم رواناب را ندارند، اصلاح شد. جهت کم شدن برآورد هزینه‌های اصلاح کانال‌ها سعی شد کمترین ابعاد کانال که پتانسیل عبور کل جریان را دارند، انتخاب شوند. در این فرایند از قسمت بالادست مسیرهای بحرانی به‌صورت سعی و خطا و مرحله‌ای ابعاد کانال افزایش پیدا کرد تا با حداقل افزایش ابعاد کانال امکان عبور کل جریان فراهم شود. اصلاح ابعاد کانال‌های بحرانی باعث می‌شود حجم کل رواناب از شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی عبور کند و حجم واقعی رواناب و شدت سیلاب در نقطه خروجی حوضه با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در شبیه‌سازی مشخص شود (جداول ۳ و ۴).

جدول ۳- مقایسه حجم رواناب حوضه قبل و بعد از اصلاح کانال در محل خروجی حوضه

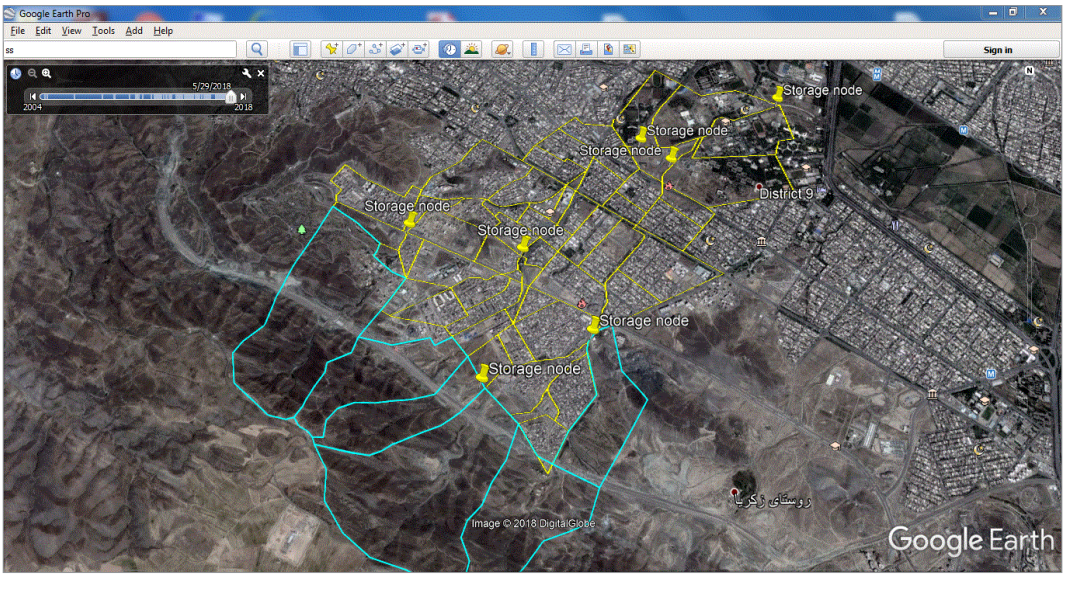
دوره بازگشت (سال)	حجم رواناب (m^3)		درصد افزایش حجم رواناب
	کانال موجود	بعد از اصلاح کانال	
۲	۵۰۱۸	۵۰۱۸	۰
۵	۶۳۴۴۱	۶۳۴۴۱	۰
۱۰	۱۴۸۶۱۱	۱۴۸۶۱۱	۰
۲۵	۲۶۹۳۳۷	۳۰۲۴۶۷	۱۲/۳
۵۰	۳۵۵۳۵۹	۴۳۹۷۳۷	۲۳/۷
۱۰۰	۴۲۷۰۵۳	۶۰۳۱۸۹	۴۱/۲

جدول ۴- مقایسه شدت سیلاب حوضه قبل و بعد از اصلاح کانال در محل خروجی حوضه

دوره بازگشت (سال)	شدت سیلاب (m^3/s)		درصد افزایش حجم رواناب
	کانال موجود	بعد از اصلاح کانال	
۲	۰/۹۸	۰/۹۸	۰
۵	۱۱/۲	۱۱/۲	۰
۱۰	۲۳/۸۴	۲۳/۸۴	۰
۲۵	۴۰/۷۲	۵۱/۳۲	۲۶/۱
۵۰	۵۲/۹۸	۷۷/۵۳	۴۶/۳
۱۰۰	۵۸/۳۶	۱۰۷/۷۲	۸۴/۶

• جانمایی مخازن

جهت تأمین آب برای فضاهای سبز شهری و جلوگیری از خسارت‌های ناشی از سیلاب‌های شهری باید در مکان‌های مناسب مخازن جمع‌آوری رواناب ساخته شود. این مخازن باتوجه‌به معابر، خیابان‌ها، ساختمان‌ها و مسیر کانال‌های شهری طراحی می‌شوند. هدف از ساخت مخازن جهت جلوگیری از بروز سیلاب‌های شهری، ذخیره رواناب، کاهش دبی پیک سیلاب، ته‌نشین کردن رسوبات و یا به تأخیر انداختن عبور جریان می‌باشد و محل ساخت آن‌ها با اهمیت می‌باشد. در این پژوهش ۷ مخزن با ابعاد ۴×۶×۱۵ مطابق شکل (۱۷) جانمایی شد. در تمام مخازن طراحی شده حجمی از رواناب ذخیره می‌شوند اما مخزن‌های ۴ و ۵ در ابتدا حوضه شهری و جهت ته‌نشین کردن رسوبات و به تاخیر انداختن زمان عبور جریان، مخزن ۶ در مسیر کانال فرعی با حجم سیلاب کمتر و مخزن ۷ در مسیر کانال دارای حجم سیلاب زیاد، جانمایی شده است. مخزن‌های ۲ و ۳ در انتهای کانال‌های اصلی جهت کاهش دبی پیک سیلاب و مخزن ۱ در محل خروجی حوضه برای سنجش عمل کرد شبکه مخازن طراحی شده است. در صورت وجود فضا کافی جهت ساخت مخازن در مسیرهایی که حجم سیلاب بیشتری را از خود عبور می‌دهند از مخازن با ابعاد بزرگتر می‌تواند استفاده شود.



شکل ۱۷- جانمایی مخازن (نرم‌افزار Google Earth)

• تحلیل نتایج باتوجه‌به جانمایی مخازن

با اضافه شدن مخازن به مدل نرم‌افزار Civil Storm قسمتی از حجم رواناب در مخازن ذخیره شده و حجم رواناب در محل خروجی کاهش خواهد یافت. پس از بررسی نمودارهای مشخصات جریان با دوره بازگشت ۲۵ سال قبل و بعد از جانمایی مخازن نحوه عملکرد مخازن به وضوح در جداول (۵) و (۶) مشاهده می‌شود.

جدول ۵- مقایسه حجم رواناب حوضه قبل و بعد از جانمایی مخازن با دوره بازگشت ۲۵ سال

شماره مخزن		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
شماره گره		۴۳	۱۴۰	۲۸	۴	۸۰	۵۶	۱۲۳
حجم رواناب (m^3)	قبل از جانمایی مخازن	۲۶۹۵۱۴	۱۵۷۲۸۴	۱۰۱۶۰۹	۶۶۴۲۱	۴۸۰۳۳	۱۰۷۱۲	۱۴۱۱۵۴
	بعد از جانمایی مخازن	۲۲۷۰۷۸	۱۲۸۸۶۹	۹۲۳۰۰	۶۲۸۴۱	۴۵۲۰۳	۷۲۶۳	۱۱۴۶۷۷
کسر حجم رواناب نسبت به قبل در گره مورد نظر (٪)		۱۵/۷	۱۸/۱	۹/۲	۵/۴	۵/۹	۳۲/۲	۱۸/۸

جدول ۶- مقایسه حداکثر شدت سیلاب حوضه قبل و بعد از جانمایی مخازن با دوره بازگشت ۲۵ سال

شماره مخزن		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
شماره گره		۴۳	۱۴۰	۲۸	۴	۸۰	۵۶	۱۲۳
حداکثر شدت سیلاب (m^3/s)	قبل از جانمایی مخازن	۴۱	۲۲	۱۷	۱۲	۹	۲	۱۹
	بعد از جانمایی مخازن	۳۵	۱۷	۱۶	۱۲	۹	۲	۱۵
کسر حداکثر شدت سیلاب نسبت به قبل در گره مورد نظر (٪)		۱۴/۹	۲۰/۳	۹/۲	۰/۱	۰/۰	۶/۷	۲۳/۴

• نیاز آبی منطقه ۹ شهرداری مشهد

نیاز آبی سالانه فضای سبز منطقه ۹ شهر مشهد مطابق جدول دریافتی از معاونت خدمات شهری مشهد مقدس ۲,۱۸۹,۸۴۹متر مکعب می‌باشد. فضای سبز این منطقه به‌صورت تحت فشار، شلنگی و به‌وسیله تانکرهای آب‌پاش آبیاری می‌شود. نیاز آبی این منطقه در جدول (۷) به تفکیک ماه ارائه شده است (اطلاعات الکترونیکی دریافتی از شهرداری مشهد، ۱۳۹۷).

جدول ۷- نیاز آبی فضای سبز منطقه ۹ شهر مشهد

پیمانی/امانی	مجموع (مترمکعب)												سالانه
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	مترمکعب
الف/۱	۱۰,۹۰۴	۲۸,۵۲۵	۴۷,۹۲۹	۵۶,۱۴۹	۵۱,۹۲۲	۳۷,۹۵۸	۱۸,۶۲۹	۶,۷۱۸	۲,۳۹۹	۹۱۸	۱,۰۹۳	۲,۶۴۹	۲۶۵,۷۹۵
ب ناحیه یک	۱۱,۳۴۱	۲۷,۴۳۶	۴۵,۰۲۶	۵۲,۷۴۸	۴۸,۷۷۸	۳۵,۹۴۴	۱۸,۱۷۸	۶,۵۰۳	۲,۳۷۰	۱,۰۳۸	۱,۲۴۱	۲,۸۷۷	۲۵۳,۴۸۰
ج ناحیه یک	۳,۴۸۸	۲۰,۸۶۶	۴۲,۸۲۰	۵۰,۱۶۴	۴۶,۳۸۸	۳۱,۹۳۳	۱۳,۴۶۶	۵,۰۸۴	۱,۶۲۲	۱۷	۱۹	۵۰	۲۱۵,۹۱۶
د ناحیه یک	۷,۲۱۸	۱۹,۴۶۲	۳۳,۲۱۱	۳۸,۹۰۶	۳۵,۹۷۸	۲۶,۱۰۴	۱۲,۷۷۷	۴,۶۱۳	۱,۶۵۶	۶۲۱	۷۴۳	۱,۷۶۷	۱۸۳,۰۵۵
الف ناحیه دو	۵,۳۰۲	۱۴,۴۰۱	۲۵,۱۲۶	۲۹,۴۳۶	۲۷,۲۲۰	۱۹,۵۵۲	۹,۵۷۸	۳,۳۹۶	۱,۱۲۶	۴۰۳	۴۶۷	۱,۳۰۲	۱۳۷,۳۰۸
ب۲	۷,۳۲۶	۱۹,۴۴۴	۳۲,۳۳۶	۳۷,۸۸۲	۳۵,۰۳۰	۲۵,۲۷۹	۱۲,۷۲۷	۴,۵۵۸	۱,۷۴۷	۷۳۹	۸۹۹	۲,۲۹۲	۱۸۰,۲۵۹
ج ناحیه ۲	۳۷۴	۱۰,۰۱۸	۲۹,۹۴۰	۳۵,۰۷۵	۳۲,۴۳۵	۲۰,۰۳۱	۸,۳۲۰	۳,۵۰۱	۲۱۵	۳۰	۳۵	۸۲	۱۴۰,۰۵۸
الف/۳	۱۰,۳۴۴	۲۸,۳۶۶	۴۸,۶۲۹	۵۶,۹۶۸	۵۲,۶۸۰	۳۸,۰۲۷	۱۸,۶۰۶	۶,۶۸۳	۲,۴۱۸	۸۶۰	۱,۰۲۳	۲,۶۲۲	۲۶۷,۲۲۸
ب۳	۷,۲۸۸	۳۷,۴۱۲	۷۴,۴۰۵	۸۷,۱۶۵	۸۰,۶۰۴	۵۶,۲۵۸	۲۴,۱۱۵	۹,۰۵۹	۲,۹۰۲	۹۳	۱۰۳	۴۱۹	۳۷۹,۸۲۳
ج۳	۵,۵۷۲	۱۷,۵۱۴	۳۰,۹۲۳	۳۶,۲۲۶	۳۳,۵۰۰	۲۴,۴۰۱	۱۱,۵۸۰	۴,۱۷۹	۱,۴۴۱	۲۵۶	۲۸۳	۱,۰۵۲	۱۶۶,۹۲۸
جمع کل	۶۹,۱۵۸	۲۲۳,۴۴۵	۴۱۰,۳۴۷	۴۸۰,۷۱۹	۴۴۴,۵۳۵	۳۱۵,۴۸۶	۱۴۷,۹۷۷	۵۴,۲۹۴	۱۷,۸۹۶	۴,۹۷۴	۵,۹۰۸	۱۵,۱۱۳	۲,۱۸۹,۸۴۹

نتیجه‌گیری

پس از محاسبه حجم رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف و مشخص شدن مکان‌های بحرانی در کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی (کانال‌هایی که پتانسیل عبور کل جریان را ندارند) و همچنین جانمایی مخازن فرضی در مسیر جریان خروجی رواناب سطحی و حداکثر شدت سیلاب در نقطه خروجی حوضه مطابق جدول‌های (۸) و (۹) خواهد بود.

جدول ۸- مقایسه حجم رواناب در محل خروجی حوضه قبل و بعد از جانمایی مخازن

دوره بازگشت (سال)	حجم رواناب (m^3)		درصد کاهش حجم رواناب
	بدون مخزن	با مخزن	
۲	۵۰۱۸	۰	۱۰۰
۵	۶۳۴۴۱	۴۴۷۵۳	۲۹/۵
۱۰	۱۴۸۶۱۱	۱۲۱۱۲۳	۱۸/۵
۲۵	۲۶۹۳۳۷	۲۲۷۰۵۳	۱۵/۷
۵۰	۳۵۵۳۵۹	۳۰۶۳۳۱	۱۳/۸
۱۰۰	۴۲۷۰۵۳	۳۷۲۰۶۱	۱۲/۹

جدول ۹- مقایسه شدت سیلاب در محل خروجی حوضه قبل و بعد از جانمایی مخازن

دوره بازگشت (سال)	شدت سیلاب (m^3/s) بدون مخزن	با مخزن	درصد کاهش پیک سیلاب
۲	۰/۹۸	۰	۱۰۰
۵	۱۱/۲	۶/۶۹	۱۳/۵
۱۰	۲۳/۸۴	۲۲/۲۹	۶/۵
۲۵	۴۰/۷۲	۳۶/۶۴	۱۰
۵۰	۵۲/۹۸	۴۸/۲۸	۸/۹
۱۰۰	۵۸/۳۶	۵۳/۹۰	۷/۶

باتوجه‌به حجم رواناب محاسبه شده در این تحقیق مشخص شد رواناب حوضه مورد مطالعه پتانسیل تأمین قسمتی از نیاز آبی منطقه ۹ مشهد جهت مصارف فضای سبز را دارد. همچنین با ساخت مخازن در محل‌های مناسب امکان ذخیره‌سازی و استفاده از رواناب فراهم می‌شود. با مقایسه حجم رواناب با دوره بازگشت ۲۵ ساله که برابر ۲۶۹۳۳۷ مترمکعب است و حجم کل نیاز آبی منطقه ۹ که برابر ۲۱۸۹۸۴۹ مترمکعب می‌باشد مشخص می‌شود محدوده مورد مطالعه که حدود یک سوم مساحت منطقه ۹ مشهد (مساحت منطقه ۹ حدود ۳۳ کیلومترمربع) می‌باشد می‌تواند حدود ۱۲/۳درصد نیاز آبی منطقه را تأمین کند.

نرم‌افزار Civil Storm قابلیت شبیه‌سازی حوضه را جهت بررسی مشخصات جریان رواناب سطحی دارد. همچنین این نرم‌افزار قادر است شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی و تأسیسات مورد نیاز را طراحی و شبکه‌های اجرا شده را بررسی و مناطق آسیب‌پذیر و بحرانی را اصلاح نماید.

پی‌نوشت

1- Junctions
2- Conveyance Link
3- Sub-basin
4- CN
5- Intensity-Duration-Frequency (IDF)

منابع

اصغری‌مقدم، م. ۱۳۸۴. آب و زیستگاه شهری. چاپ اول. انتشارات سرا. تهران.

اطلاعات الکترونیکی دریافتی از شهرداری مشهد. ۱۳۹۷. معاونت خدمات شهری، شهرداری مرکز، مشهد.

آمارنامه شهر مشهد. ۱۳۹۴. معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شهرداری مشهد. بازبینی شده در ۲۶ مهر ۱۳۹۶.

طاهری بهبهانی، م. و بزرگ‌زاده، م. ۱۳۷۵. سیلاب‌های شهری. چاپ اول. انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران. تهران.

عابدی کوپایی، ج. و هاشمی، ن. ۱۳۹۵. برآورد رواناب شهری به‌منظور استفاده در فضای سبز شهر نجف‌آباد. کنفرانس مدیریت سیلاب شهری. دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

علیزاده ا. ۱۳۷۷. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ دوازدهم. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد.

نصری، م.، جواهری، م. و ابراهیمی، م. ۱۳۹۳. آموزش مدل‌سازی سیستم‌های جمع‌آوری و هدایت رواناب با استفاده از نرم‌افزار Civil Storm. انتشارات نوروزی. گرگان.

نصری، م.، ابراهیمی، م.، ثابت راسخ، ش. و آقاخانی، م. ۱۳۹۵الف. کاربرد سازه‌های جمع‌آوری رواناب در تعادل‌سازی، تأمین و توزیع آب فضای سبز شهر دیزیچه. پنجمین همایش سامانه‌های سطوح آبگیر باران. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، رشت.

نصری، م.، ساعتی، م.، ابراهیمی، م. و موسوی، ه. ۱۳۹۵ب. ضرورت توجه هدایت سیلاب و رواناب سطحی شهری (مطالعه موردی: انتقال سیلاب بلوار آیت الله هاشمی رفسنجانی شهر اردستان). دومین همایش ملی عمران، معماری، شهرسازی و مدیریت انرژی. اردستان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان اصفهان، اردستان.

وزیری، ف. ۱۳۷۱. تعیین روابط منطقه‌ای بارندگی‌های کوتاه مدت در ایران. دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

Aryal R., Kandasamy J., Vigneswaran S., Naidu R. and Lee S.H. 2009. Review of stormwater guality, guantity and treatment methods. part 1: stormwater guantity modelling, Korean Society of Environment Engineers. Environmental Engineering Research, 14(2): 71-78.

Bedient P.B. and Huber W.C. 1994. Hydrology and Floodplain Analysis, Addison Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.

Overeem B.I., Kettner A.J and Syvitski J.P.M. 2013. Impacts of humans on river fluxes and morphology. Volume 9. Fluvial Geomorphology. Academic Press, San Diego, California.

Tuinhof A., van Steenbergen F., Vos P. and Tolk L. 2012. Profit from Storage: The Costs and Benefits of Water Buffering. 3R Water Secretariat. Wagen-ingen, The Netherlands.