# بررسی روش‌های نوین در هدایت و استحصال آب باران در منطقه‌ی فریدونشهر

**جلیل عمادی[*1]، مسعود نصری[2]، یوسف مرادی شاهقریه[3]، کاظم گمار[4]**

۱*- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان و دانشجوی دکتری مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد
(*emadi_54@yahoo.com*)

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان

۲- استادیار، شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری

۳- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-آب، دانشگاه تربیت مدرس و عضو هسته‌ی پژوهشی منابع و بازیافت آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهین‌شهر

## چکیده

سیستم‌های موجود و متداول برای جمع‌آوری و هدایت آب باران که عمدتاً جهت خروج رواناب از منطقه از طریق مجاری روباز طراحی و اجرا می‌شوند، علاوه بر عدم امکان ذخیره و استحصال آب باران، در طی زمان کارآیی خود را به دلیل تخریب و انسداد مجاری آب‌بر از دست می‌دهند. با بکارگیری روش‌ها و تکنولوژی‌های جدید در مدیریت آب باران، علاوه بر رفع مشکلات آبگرفتگی و انسداد معابر، می‌توان آب باران را به عنوان یک منبع آبی در دسترس برای نیازهای مختلف شهری به نحو مطلوب ذخیره و استحصال نمود. در تحقیق حاضر، شبکه‌ی هدایت، جمع‌آوری و ذخیره‌ی آب باران در شهر فریدونشهر طراحی شد. سپس جهت رفع نقاط ضعف و افزایش بهره‌وری شبکه، استفاده از روش‌های مدرن در مدیریت آب باران با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی منطقه پیشنهاد شدند. از جمله این روش‌ها، استفاده از روکش‌های متخلخل در معابر، استفاده از مخازن و کانال‌های اکولوژیک و استفاده از باغچه‌های باران‌زاد می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه این منطقه دارای آب و هوای سرد و مرطوب بوده و در روزهای زیادی از سال دچار یخزدگی در معابر می‌شود، روش‌های مختلفی برای رفع این مشکل ارائه شدند. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان استفاده از انرژی زمین‌گرمایی، بتن رسانای ذوب برف، تشک ذوب یخ و سیستم ذوب برف الکتریکی را نام برد که برخلاف روش‌های مرسوم فعلی، هیچ‌گونه مخاطرات زیست‌محیطی را به همراه نخواهند داشت.

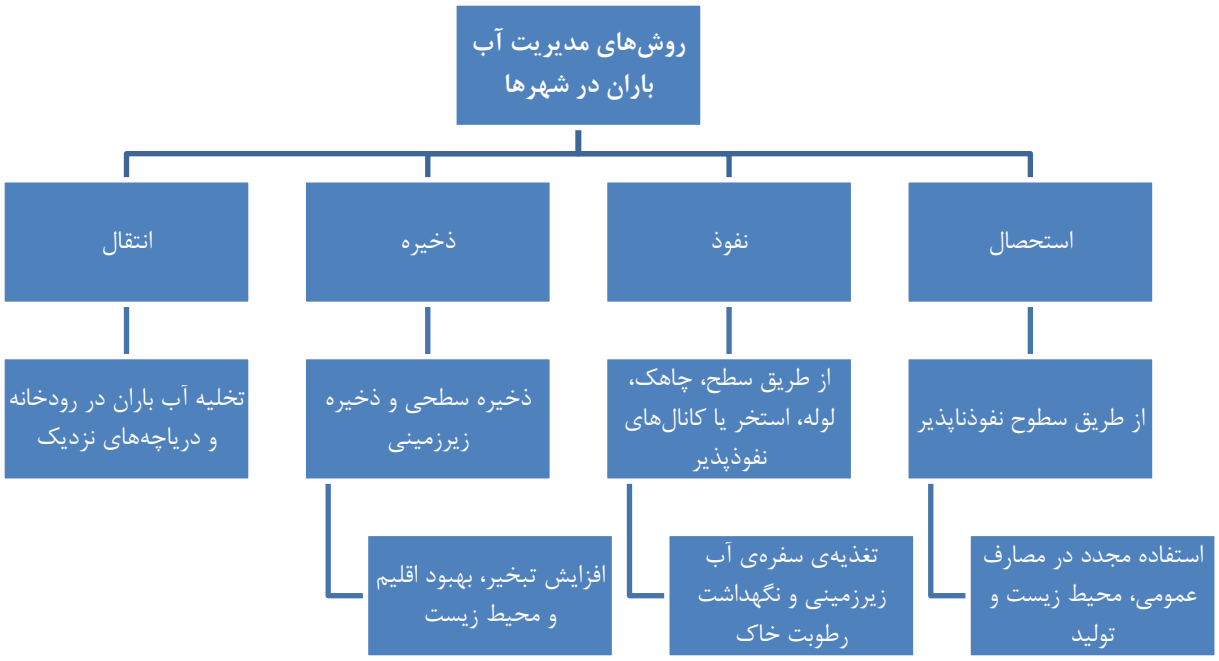
**واژه‌های کلیدی:**

آب باران، استحصال، رواناب سطحی، روش‌های نوین، فریدونشهر

**مقدمه**

در سال های اخیر نیاز روزافزون برای ذخیره‌ی آب سطحی جهت بهره‌وری هرچه بیشتر آب در اکثر شهرها و کشورهای دنیا به وجود آمده است. شهرنشینی باعث جایگزینی سطوح پوشش گیاهی با سطوح غیرقابل نفوذ می‌شود که این امر باعث افزایش شدت و حجم رواناب سطحی می‌شود. رشد مداوم پوشش نفوذناپذیر برای ساخت و ساز ساختمان‌ها، صنعت و حمل و نقل منجر به افزایش سطوح غیرقابل نفوذ و کاهش سطح زمین‌های طبیعی با قابلیت نفوذ آب باران شده است که به تدریج باعث آسیب جدی به چرخه‌ی طبیعی آب می‌شود. در شرایطی که آب باران روی زمین طبیعی می‌بارد، بیشتر آب در خاک نفوذ می‌کند و جزئی از آب زیرزمینی می‌شود و تنها حدود ۲۰ درصد آن بصورت رواناب به رودخانه‌ها یا به مجاری زهکشی منتهی می شود. اما در نتیجه‌ی رشد مداوم ساخت و ساز ساختمان و توسعه شهری، زمین طبیعی با سطوح فشرده مانند سقف ساختمان های صنعتی، مسکونی، تجاری و یا سایر ساختمان‌ها، شبکه های جاده‌ای، پارکینگ‌ها و غیره جایگزین شده است. وقتی آب باران به این سطوح می رسد، تقریبا ۸۰ درصد از این آب به سیستم دفع فاضلاب و یا رودخانه ها می رسد و تنها ۲۰ درصد آب به خاک نفوذ می‌کند. این امر خود منجر به وقوع آسیب‌های زیست محیطی مانند سیل، باران های سیل‌آسا، افت سطح آب زیرزمینی، کاهش رطوبت خاک و تهدید اکوسیستم‌های حساس در منطقه می‌شود. **از جمله روش‌های افزایش نفوذ آب باران در زمین، استفاده از فضای سبز شهری است که نقش مثبتی در کاهش رواناب شهری دارد (Zhang و همکاران، ۲۰۱۲)**. بنابراین لازم است که توسعه نه تنها در ساخت و سازهای شهری بلکه در تنظیم مصنوعی گردش آب در طبیعت نیز اعمال شود تا به حفظ ثبات اکولوژیکی منطقه کمک کند (Markovič و همکاران، ۲۰۱۴).

چرخه‌ی هیدرولوژیکی طبیعی در مناطق شهری می‌تواند از طریق مدیریت آب باران بازسازی شود که از اهمیت زیادی برای توسعه پایدار شهرها برخوردار است. رویکرد مدیریت آب باران باید به نحوی باشد که موجب حفظ چرخه‌ی هیدرولوژیکی طبیعی در مناطق شهری در طول شهر سازی شود. بر این اساس، آب باران شهری نباید صرفاً به عنوان فاضلاب تخلیه شود و نه اینکه به عنوان یک منبع آبی به طور کامل استحصال شود. با توجه به شرایط منطقه‌ای، سه اصل اساسی باید در مدیریت آب باران رعایت شود که شامل جدا شدن آب باران از فاضلاب، استفاده‌ی محدود از آب باران و استفاده از امکانات کوچک و غیرمتمرکز جهت استحصال آب باران است. همچنین چهار روش برای مدیریت آب باران شهری می‌تواند استفاده شود: استحصال، نفوذ، ذخیره و انتقال (Bing و همکاران، ۲۰۰۷). توضیح بیشتر این روش‌ها در شکل ۱ آمده است.




**شکل ۱- روش‌های مدیریت آب باران در مناطق شهری**

در سال‌های اخیر مطالعات و تحقیقات اندکی جهت استفاده‌ی بهینه از آب باران با رویکرد بهبود شرایط زیست محیطی انجام گرفته است. نقش فضای سبز شهری در کاهش رواناب شهر پکن توسط Zhang و همکاران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که حجم رواناب بالقوه به مقدار ۲۴۹۴ متر مکعب در هر هکتار از پوشش گیاهی کاهش یافته و کل فضاهای سبز شهری سطح شهر پکن قادر است که حجم کل ۱۵۴ میلیون متر مکعب آب باران را در خود ذخیره کند که تقریبا برابر با نیاز اکولوژیکی سالانه آب شهر پکن است (Zhang و همکاران، ۲۰۱۲). Bing و همکاران در سال ۲۰۰۷ روش جدیدی را ببرای ممدیریت آب بباران ببا رویککرد حففظ چرخه هیدرولوژیکی آب در طبیعت و کمک به بهبود محیط زیست منطقه‌ای ارائه کردند. Markovič و همکاران در سال ۲۰۱۴، امکان استفاده از چاه‌های نفوذ در مناطق مسکونی را جهت افزایش نفوذ آب باران در زمین بررسی کردند. امانپور و همکاران در سال ۱۳۹۵ به بررسی نقش شبکه‌ی زهکش مسطح، کانال و مخازن اکولوژیک به عنوان رویکردی نوین در مدیریت رواناب سطحی در شهرک سجادیه تهران پرداختند. حیدری در سال ۱۳۹۵ مدیریت رواناب شهری با استفاده از باغ باران را مورد بررسی قرار داد. نصری و همکاران در سال ۱۳۹۶، شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در داخل واحدهای کاری شهر بهارستان را انجام دادند و سناریوی اصلاح مقاطع و همچنین پیشنهاد احداث مخازن جمع‌آوری در پایین‌دست این شهر را بیان کردند. شیشه‌فروش و همکاران در سال ۱۳۹۶ به بررسی تاثیر اجرای بتن و سنگ‌فرش های متخلخل و همچنین فضای سبز در میزان کنترل رواناب سطحی پرداختند.

آنچه اغلب در ایران و برخی کشورهای دیگر جهت مدیریت رواناب سطحی متداول است مبتنی بر انتقال سریع و تخلیه‌ی رواناب به فاصله‌های هر چه دورتر می‌باشد. شبکه های هدایت و انتقال آب سطحی با این هدف احداث می‌شوند تا سرعت جریان آب را زیادتر نموده و توان تخلیه سیلاب را افزایش دهند. این سیستم سنتی برای دفع رواناب سطحی منجر به خروج حجم وسیعی از آب از محدوده‌ی شهر می‌شود که با توجه به وضعیت بحران آب در کشور از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است (شیشه فروش و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین ضروری است که امروزه از روش‌ها و تکنیک‌های جدید در زمینه‌ی مدیریت آب باران در شهرها استفاده شود. در این راستا در تحقیق حاضر به بررسی امکان استفاده از روش‌های نوین و کارآمد در خصوص استحصال و ذخیره‌ی آب بباران و رفع نقاط ضعف سیستم هدایت و جمع‌آوری رواناب در منطقه‌ی شهر فریدونشهر پرداخته می‌شود.

## منطقه‌ی مورد مطالعه

فریدونشهر مرکز شهرستان فریدونشهر است و در فاصله‌ی حدود ۲۰۰ کیلومتری غرب شهر اصفهان قرار دارد. این شهر ببا ارتفاع ۲۵۳۰ متر از سطح دریا در منطقه‌ای واقع در کوه‌های زاگرس و در مختصات جغرافیایی'' ۵۶'۲۴ ۳۲ ششمالی و ''۱۲' ۰۷ ۵۰ شرقی واقع شده است. در شکل ۲ موقعیت جغرافیایی این شهر نشان داده شده است. شیب عمومی ششهر از سمت ششمال ببه جنوب است. آبراهه‌ها و حوضه‌های مشرف بر شهر فریدونشهر از شمال و شمال غربی به سمت جنوب و جنوب شرقی امتداد دارند. مسیل اصلی برای هدایت رواناب منطقه، رودخانه‌ی سراب است که از چشمه سراب در قسمت شمال غرب شهر سرچشمه گرفته و از قسمت جنوبی ششهر در جهت غرب به شرق جریان دارد. این رودخانه پس از تلاقی با خروجی چشمه لنگان، رودخانه پلاسجان را تششکیل داده و در نهاییت به زاینده‌رود متصل می‌شود.

متوسط بارندگی سالانه‌ی منطقه برابر با ۵۴۱ میلیمتر و حدود دو برابر متوسط بارندگی کشور است. بیششترین میییزان بارنندگی در ماه‌های آذر تا اردیبهشت رخ می‌دهد. میانگین درجه حرارت سالانه در این منطقه ۱۱/۴۸ درجه‌ی سانتیگراد است. سردترین ماه‌های سال در زول ماه‌های آبان تا اسفند (نوامبر تا مارس) هستند. حداقل درجه حرارت در ایین دوره طبق جدول ۱ تتا حدود ۲۵ درجه سانتیگراد زیر صفر نیز می‌رسد. تعداد روزهای یخبندان درمحدوده‌ی مطالعاتی فریدونششهر در جدول ۲ نشان ششده است. مششاهده می‌شود که حدود ۱۱۸ روز در سال جزء روزهای یخبندان است که عمدتاً در ماه‌های آبان تا اسفند (نوامبر تا مارس) قرار دارنند. طبق تعریف، روز یخبندان فاصله ۲۴ ساعتی است که طی آن مینیمم دمای هوا به صفر می‌رسد و یا از آن پایین‌تر رود. با توجه ببه میانگین بارندگی سالانه ۵۱۷ میلیمتر و میانگین دمای سالانه ۱۱/۵ درجه سانتیگراد، اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتون، اقللیم نیمه مرطوب می‌باشد.

**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی فریدونشهر**

**جدول ۱- مقادیر رژیم حرارتی در ایستگاه**

| عوامل‌حرارتی | ژانویه | فوریه | مارس | آپریل | می | جون | جولای | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر | سالانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میانگین درجه حرارت | -1.4 | 0.2 | 5.2 | 9.8 | 15.4 | 21.5 | 24.4 | 23.4 | 19.6 | 13.6 | 5.3 | 0.7 | 11.48 |
| متوسط حداقل درجه حرارت | -6.5 | -5.1 | -0/5 | 3.5 | 8 | 12.1 | 15.5 | 14.5 | 10.9 | 6.2 | -0.2 | -4.7 | 4.52 |
| متوسط حداکثر درجه حرارت | 2.5 | 3.9 | 9.3 | 13.9 | 19.5 | 26.3 | 29.4 | 28.5 | 24.8 | 18.3 | 9.3 | 4.9 | 15.88 |
| حداقل مطلق درجه حرارت | -25 | -19 | -12 | -5 | 0.4 | 5 | 10 | 7 | 4 | -2.6 | -11 | -17 | -5.43 |
| حداکثرمطلق درجه حرارت | 12.2 | 14.5 | 19 | 22.8 | 26.4 | 36.6 | 34.6 | 33 | 30.2 | 24.8 | 18.2 | 16.8 | 24.09 |

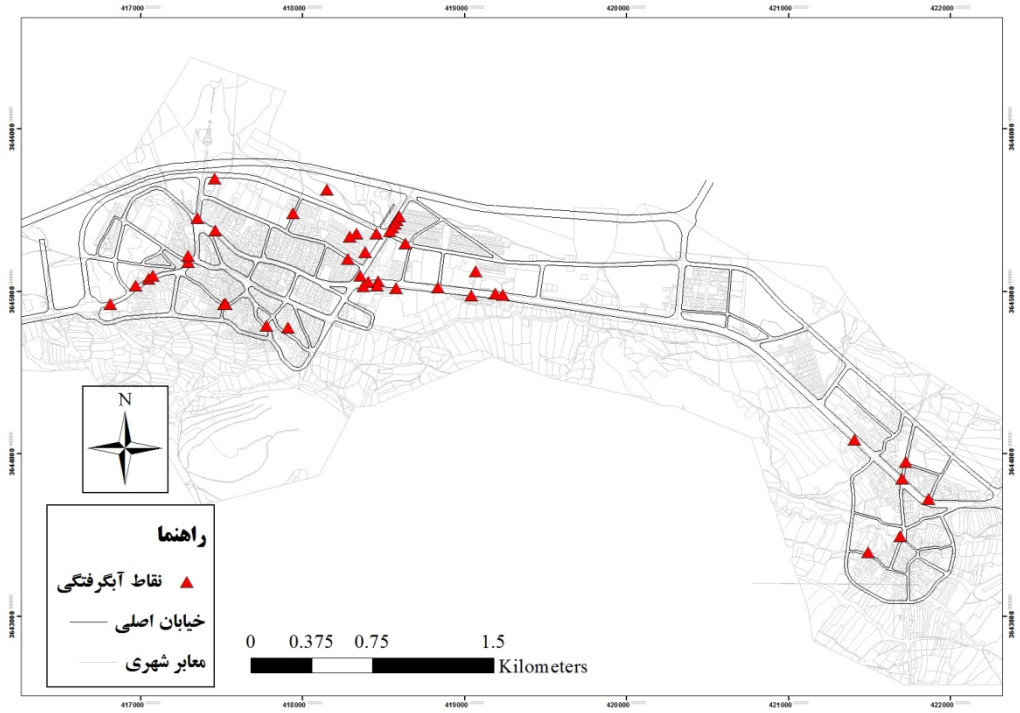
**جدول ۲- مقادیر ماهانه و سالانه روزهای یخبندان در فریدونشهر**

| ژانویه | فوریه | مارچ | آپریل | می | جون | جولای | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر | سالانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28.2 | 25.2 | 17.2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 15.3 | 26.4 | 117.7 |

## نتایج و بحث

در این مطالعه ابتدا به بررسی مشکلات موجود در منطقه در ارتباط با وضعیت هدایت و جمع‌آوری آب بباران پرداختته ششد. عدم کارآیی سیستم موجود و همچنین نبود سیستم هدایت رواناب سطحی در برخی محله‌ها، منجر به آبگرفتگی در نقاط زیادی از ششهر در طول بارندگی می‌شود. نمونه‌هایی از انسداد و تخریب مجاری آب‌بر در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل ۴، موقعیت نقاط آبگرفتگی در سطح شهر فریدونشهر را نشان می‌دهد.

شکل ۲- نمونه‌هایی از انسداد مجاری انتقال رواناب سطحی در شهر فریدونشهر

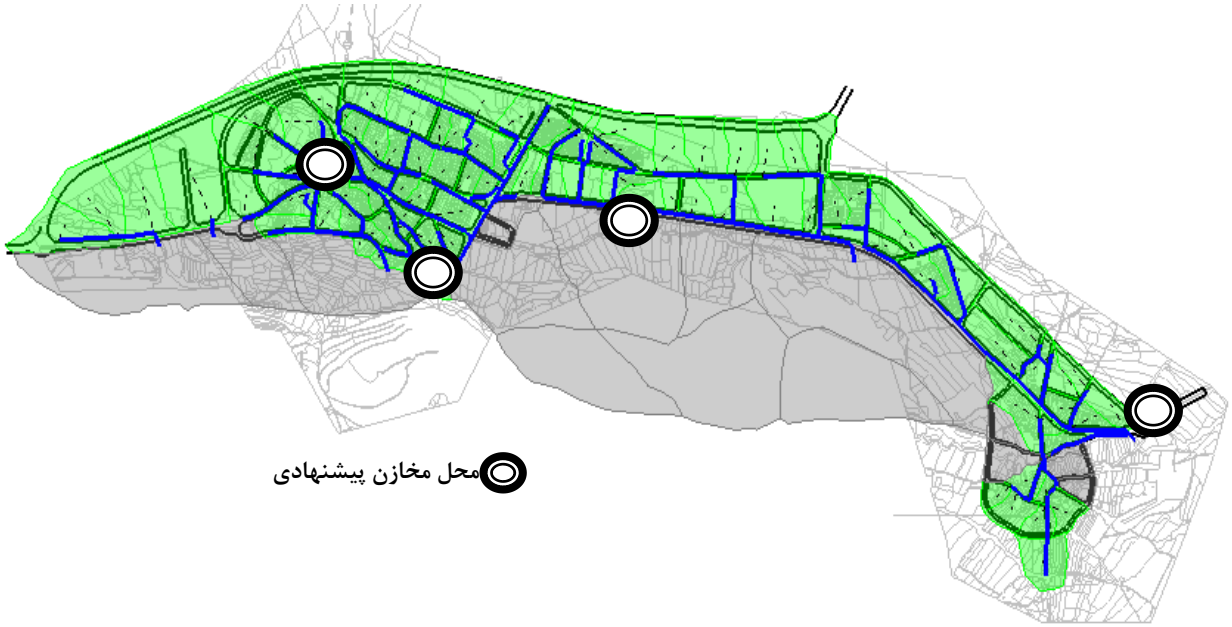



شکل ۳- نقاط آبگرفتگی در سطح شهر فریدونشهر در طول بارندگی

در مرحله‌ی بعد، با استفاده از نقشه‌های هوایی، داده‌های هواشناسی، اطلاعات زمین شناسی، نقشه‌های پوشش گیاهی منطقه و بازدیدهای انجام شده، اطلاعات لازم برای پیش‌بینی دبی سیلابی در هر زیرحوضه استخراج شد. این اطلاعات شامل زمان تمرکز، ضریب رواناب، رگبار طراحی، شیب و مساحت هر زیرحوضه است. با تعیین مقادیر دبی سیلابی، مشخصات و اجزای شبکه‌ی هدایت و ذخیره‌ی رواناب از طریق مدل CivilStorm v8i طراحی شدند. این شبکه در شکل ۵ نشان داده شده است که شامل مجاری روباز، تبدیل‌ها، مخازن، سازه‌های کنترل و ورودی و خروجی مخازن می‌شود.

کل حجم رواناب در سطح شهر در یک بارندگی با دوره بازگشت ۱۰ ساله برابر با ۵۴۷۸۵ متر مکعب برآورد شد که ذخیره‌ی این حجم از رواناب می‌تواند به خوبی پاسخگوی بسیاری از نیازهای آبی این شهر جمله آبیاری فضای سبز شهری یا توسعه‌ی منطقه‌ی

گردشگری شهر باشد. اما باید در نظر داشت که امکان ذخیره‌ی کل رواناب منطقه در مخازن ذخیره، با توجه به هزینه‌های بالای اجرایی آن‌ها، توجیه اقتصادی نخواهد داشت. لذا در این طرح از ۴ مخزن در نقاط مختلف شهر برای ذخیره‌ی حدود ۱۰ هزار متر مکعب از رواناب سطحی شهر استفاده می‌شود. جهت افزایش ذخیره و استفاده از آب باران نیاز به استفاده از راهکارهای نوین می‌باشد که در ادامه به شرح آن‌ها پرداخته می‌شود.




شکل ۴- شبکه‌ی طراحی شده‌ی جمع‌آوری و هدایت رواناب سطحی شهر فریدونشهر

جدول ۳- مشخصات برخی مجاری انتقال رواناب سطحی فریدونشهر

| نام | ارتفاع کف ابتدا(m) | ارتفاع کف انتها(m) | طول (m) | شکل مقطع | جنس | عرض (m) | ارتفاع (m) | شیب (m/m) | سرعت (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO-238 | 2588.29 | 2578.66 | 55.1 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.175 | 6.9 |
| CO-1 | 2614.39 | 2607.7 | 42.1 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.159 | 3.64 |
| CO-239 | 2578.66 | 2574.55 | 26.2 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.157 | 6.64 |
| CO-244 | 2586.23 | 2567.89 | 118.5 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.155 | 7.12 |
| CO-228 | 2572.05 | 2569.64 | 16.8 | Box | Concrete | 0.5 | 0.7 | 0.144 | 4.75 |
| CO-325 | 2563.74 | 2544.06 | 140.5 | Box | Concrete | 0.7 | 1 | 0.14 | 9.13 |
| CO-2 | 2607.7 | 2596.29 | 82.7 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.138 | 3.63 |
| CO-250 | 2582.5 | 2576.46 | 44.9 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.135 | 6.64 |
| CO-242 | 2574.55 | 2567.45 | 54 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.131 | 6.22 |
| CO-227 | 2575.22 | 2572.05 | 24.7 | Box | Concrete | 0.5 | 0.7 | 0.128 | 4.76 |
| CO-3 | 2596.29 | 2585.92 | 82 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.126 | 3.61 |
| CO-324 | 2568.38 | 2563.74 | 38.6 | Box | Concrete | 0.7 | 1 | 0.12 | 7.9 |
| CO-4 | 2585.92 | 2575.29 | 89.5 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.119 | 3.59 |
| CO-231 | 2544.06 | 2541.1 | 25 | Box | Concrete | 0.7 | 1 | 0.118 | 8.55 |
| CO-388 | 2538.42 | 2534.76 | 31.9 | Box | Concrete | 1 | 1.5 | 0.115 | 10.56 |
| CO-221 | 2541.1 | 2539.96 | 9.9 | Box | Concrete | 0.7 | 1 | 0.115 | 8.45 |
| CO-109 | 2533.2 | 2525.38 | 72.2 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.108 | 6.19 |
| CO-247 | 2567.89 | 2566.53 | 13.2 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.103 | 6.11 |
| CO-234 | 2546.22 | 2544.86 | 13.2 | Box | Concrete | 0.5 | 0.7 | 0.103 | 5.76 |
| CO-326 | 2565.91 | 2563.02 | 28.4 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.102 | 5.23 |
| CO-249 | 2585.53 | 2582.5 | 29.8 | Box | Concrete | 0.5 | 0.5 | 0.102 | 5.99 |
| CO-390 | 2534.76 | 2522.49 | 124.9 | Box | Concrete | 1 | 1.5 | 0.098 | 9.95 |

از سوی دیگر، سیستم‌های هدایت و جمع‌آوری رواناب با استفاده از مجاری روباز، نقاط ضعف متعددی دارند. از آن جمله، تخریب و انسداد مجاری در طی زمان و در نتیجه‌ی عدم کارآیی آن‌ها در هدایت و انتقال رواناب است. عملاوه ببر عوامل انسانی و یا رشد پوشش‌های گیاهی در مجاری، سرعت بالای جریان در اثر شیب زیاد معابر از دیگر عوامل تخریب مجاری در شهر فریدونشهر است. سرعت جریان و شیب مجرا در برخی مجاری در شبکه‌ی طراحی شده در جدول ۳ نشان داده شده است. مشاهده می‌ششود ککه ششیب مجاری در این طرح که از شیب زمین تبعیت می‌کند ممکن است بیشتر از ۱۵ درصد باشد و سرعت بیش از ۱۰ متر بر ثانیه باشد ککه این امر منجر به تخریب تدریجی بستر کانال می‌شود.

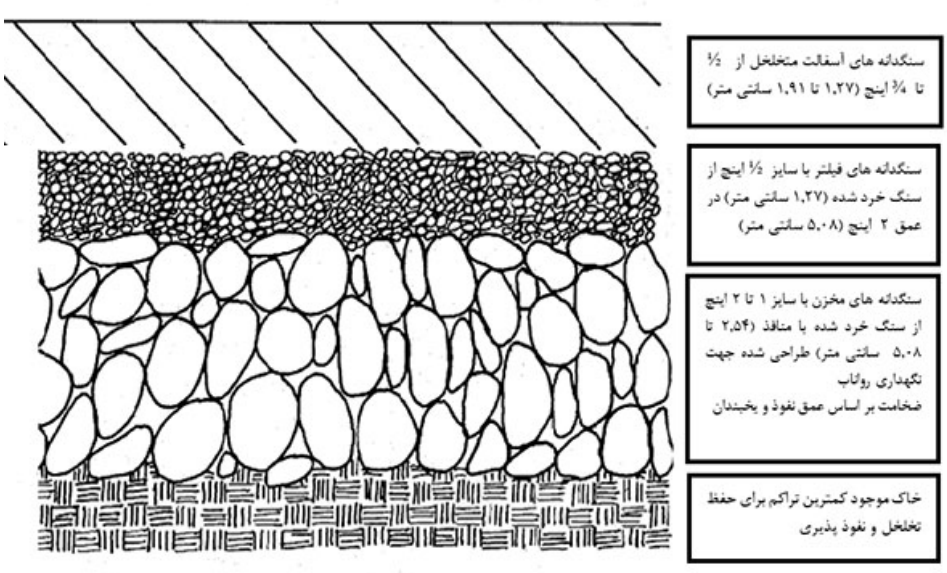
با توجه به مطالب فوق، جهت استحصال و استفاده‌ی هرچه بیشتر از آب باران در جهت رفع نیازهای آبی منطققه و همچننین ببه منظور کاهش نقاط ضعف سیستم طراحی شده، استفاده از روش‌های نوین جهت نفوذ و ذخیره‌ی آب باران در برخی معابر ایین ششهر پیشنهاد می‌شود. این روش‌ها شامل روسازی متخلخل، مخازن و کانال های اکولوژیک (زیست محیطی)، باغچه‌های باران‌زاد و چاهک و ترانشه‌ی نفوذ می‌باشد که در ادامه شرح داده می‌شوند.

**الف) روش‌های نوین دراستحصال، نفوذ و ذخیره‌ی آب باران**

در این قسمت به بررسی روش‌های نوین در مدیریت آب باران به صورت استحصال، نفوذ و یا ذخیره آب بباران در برخی محل‌ها و معابر در شهر فریدونشهر پرداخته می‌شود. با توجه به شرایط محلی از جمله میزان نفوذ خاک، سطح آب زیرمینی، شیب منطقه، جنس خاک و امکان اجرا، می‌بایست بهترین روش برای هر محل انتخاب شود.

**۱) روسازی متخلخل**

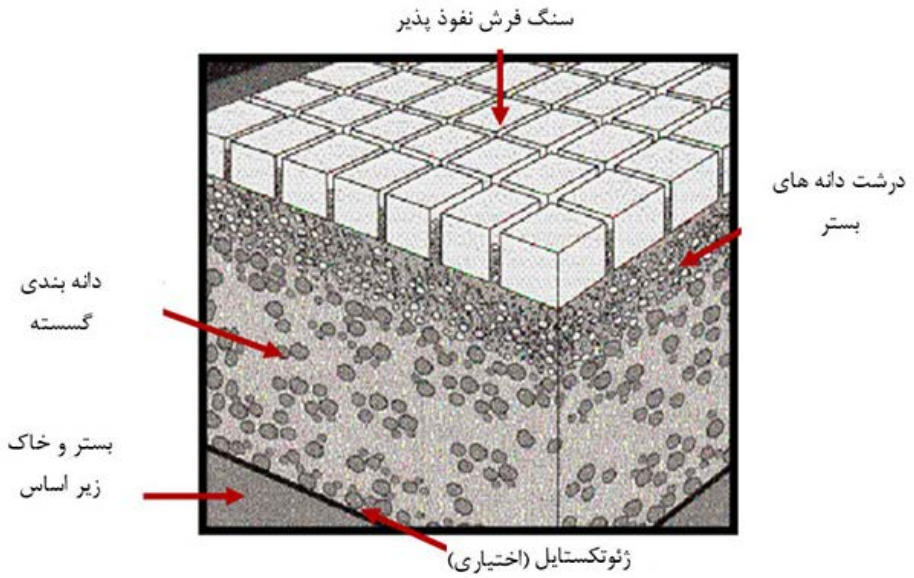
روسازی متخلخل نوع متمایزی از روسازی است که اجازه عبور آزادانه مایعات ناشی از بارش را از طریق ساختار خود می دهد که باعث کاهش یا کنترل مقدار رواناب مناطق اطراف می شود. با اجازه نفوذ به بارش و رواناب از طریق ساختار، این نوع روسازی را می‌توان به عنوان یک عمل مدیریت رواناب‌های سطحی به کار بست. این نوع خاص از روسازی نیز ممکن است همراه با کاهش مقدار ورودی آلاینده ها به آب های زیرزمینی از طریق فیلتر کردن رواناب باشد (رمضانیانپور و جوشقانی، ۱۳۹۲). شکل ۶ تصویری از یک بخش روسازی متخلخل می باشد.




**شکل ۵- نمونه مقطعی از روسازی آسفالت متخلخل (رمضانیانپور و جوشقانی، ۱۳۹۲)**

نوع دیگری از روسازی که در جوامع اروپایی بکار رفته است آسفالت متخلخل می‌باشد که در شرایط اقلیمی پر بارش دارای کاربرد فراوانی است. بارزترین خصوصیت آسفالت متخلخل قابلیت زهکشی آن است که به دلیل وجود درصد بالایی از فضای خالی و تخلخل و ارتباطات موجود بین این فضاهای خالی صورت می‌گیرد. وجود مصالح نفوذپذیر منجر به انتقال آب سطحی به لایه‌های زیرین و نهایتا زهکشی آن می‌شود (شیشه‌فروش و همکاران، ۱۳۹۶). سنگ فرش نفوذپذیر پیش‌ساخته بتنی به هم پیوسته نوع دیگری از روسازی

می باشد که به عنوان بهترین روش مدیریت رواناب‌های سطحی اجرا می‌شود. سنگ فرش‌های تراوا از ترانشه‌های نفوذ با مواد هموار بر روی آن، برای تحمل بارهای وسیله نقلیه و عابر پیاده تشکیل شده است. هندسه‌ی به هم پیوسته در طراحی عمومی سنگ فرش‌ها، حفراتی به طور منظم در سراسر سیستم فراهم می‌کند. حفره‌ها به طور معمول با شن پر می‌شوند و امکان زهکشی مناسب را برای حفظ سطح فراهم می‌کنند. بارش نفوذ یافته در داخل یک لایه زهکشی جمع آوری شده و به یک سیستم جمع آوری آب باران و یا مخزن طراحی شده برای نفوذ بارش در بستر انتقال داده می شود. سنگ فرش، زیبایی روسازی را با رشد چمن با توجه به طراحی ساختار، فراهم می کند (رمضانیانپور و جوشقانی، ۱۳۹۲). شکل ۷ یک ساختار معمول سنگ فرش نفوذ پذیر را نشان می دهد.




**شکل ۶- ساختار سنگ فرش نفوذ پذیر (رمضانیانپور و جوشقانی، ۱۳۹۲)**

**۲) مخازن و کانال های اکولوژیک (زیست محیطی)**

مخازن نفوذ ، ذخیره سازی و استفاده مجدد که بطور کلی مخازن CVF نامیده می شوند، به منظور جمع آوری، تغذیه‌ی سفره‌های زیرزمینی، ذخیره سازی رواناب‌ها در سطوح شهری و نیز ذخیره سازی آب مازاد بر مصرف گیاهان و فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۸). با توجه به وجود سطوح نفوذپذیر در مدلهای CVF، جذب رواناب‌ها از سطوح فوقانی و جانبی صورت می‌گیرد. بخشی از این آب در محل دریافت به زمین نفوذ کرده و مابقی در امتداد کانال های CVF هدایت می‌شود که ذخیره نمودن آب هدایت شده در مخازن ذخیره سازی یا تعدیل کننده یکی دیگر از مزایای این سیستم است. مخازن CVF متناسب با حجم رواناب بطور کللی در دوحالت طراحی می‌شوند. مخازن تتاخیر و نفوذ آب باران[1] و مخازن ذخییره و استفاده مجدد آب باران[2]. در مخازن نفوذی از ژئوتکستایل برای پوشش خارجی مخزن استفاده می شود که اجازه نفوذ تدریجی آب جمع شده را به درون خاک می دهد. در مخازن ذخیره و استفاده مجدد از لایه عایق ژئوممبرین برای نگهداشتن آب درون مخزن استفاده می‌شود (امانپور و همکاران، ۱۳۹۵).

**۳) باغچه های باران زاد**

با استفاده از این نوع باغچه‌ها به جای باغچه‌های معمولی در سطح شهر می‌توان از طریق نفوذ بهتر آب به درون خاک و تصفیه‌ی همزمان آن منجر به کاهش اوج و حجم رواناب شد. باغچه‌های باران‌زاد را می‌توان مشابه باغچه‌های موجود، در حیاط منازل یا حاشیه خیابان‌ها به کار برد. این روش به عنوان یکی از ساده ترین روش‌های کنترل آللودگی رواناب در منشأ توصیه می‌شود (تتاج‌بخش و همکاران، ۱۳۸۷). در این روش آب باران وارد زمین شده و بوسیله گیاهان مصرف می شود و از تبخیر و تعرق ممانعت می شود. باغچه باران‌زاد عموماً کلیه آبی که به آن وارد می شود را تا جایی که امکان دارد جذب می کند اما ممکن است در بارندگی های سنگین رواناب به باغچه دیگر یا به زهکشی دیگر هدایت شود (حیدری، ۱۳۹۵).

[1] Detention-Infiltration Tanks
[2] Rainwater Harvesting-Reuse Tanks

شکل ۷- اجرای کانال ها و مخازن اکولوژیک در شهرک سجادیه تهران (امانپور و همکاران، ۱۳۹۵)

**۴) ترانشه‌ها و چاهک‌های نفوذ**

روش دیگر برای افزایش میزان نفوذ آب باران در زمین، استفاده از ترانشه‌های نفوذ می‌باشد. در این ترانشه‌ها آب از ممدخل ورودی در پیاده‌رو یا خیابان وارد سیستم زهکشی شده و ضمن عبور از آن به داخل خاک نفوذ می‌کند. همچنین می‌توان از چاهک‌های نفوذ در مناطق با نفوذپذیری بالا جهت ذخیره‌ی آب باران و تغذیه‌ی سفره‌ی آب زیرزمینی استفاده نمود (شکل ۹).

شکل ۸- احداث چاهک نفوذ در منطقه‌ی مسکونی (**Markovic** و همکاران، ۲۰۱۴)

**ب) تکنولوژی‌های جدید ذوب یخ و برف در معابر سطح شهر**

با توجه به سردسیر بودن منطقه و وجود روزهای یخبندان زیاد در طول سال در شهر فریدونشهر، روش‌های جدید جهت جلوگیری از یخزدگی آب باران و ذوب یخ و برف در معابر این منطقه ارائه می‌شود.

**۱) استفاده از لوله‌های آب گرم با استفاده از انرژی زمین گرمایی**

زمین منبع بسیار عظیم انرژی است. به کمک انرژی زمین گرمایی که به صورت حرارت از اعماق زمین به سطح آن هدایت می‌شود، می‌توان برف یا یخ جاده‌ها و پیاده‌روها را ذوب کرد. امروزه در سراسر جهان به کمک انرژی زمین گرمایی حدود ۵۰۰ هزار متر مربع از مسیر پیاده‌روها و جاده‌ها گرم می‌شوند (شکل ۱۰). در حال حاضر کشورهایی چون ایسلند، آرژانتین، آمریکا و ژاپن برای ذوب برف

جاده‌های خود از انرژی زمین گرمایی بهره می‌گیرند. سیستم ذوب برف زمین گرمایی متشکل از لوله هایی است که به صورت شبکه‌ای در معابر و نقاط حادثه‌خیر جاده‌ها و پل‌ها جاسازی شده‌اند. در این شبکه، توسط یک پمپ گرمازا سیالی که با انرژی زمین گرمایی گرم شده به داخل لوله ها فرستاده می‌شود (پرخیال و همکاران، ۱۳۸۶).

شکل ۹- شبکه لوله های آب گرم در زیر بستر جاده جهت ذوب برف و یخ

**۲) بتن رسانای ذوب برف**

بتن رسانا از افزودن کربن و تراشه فولاد به بتن ساخته می‌شود که با اعمال جریان برق به آن به اندازه‌ی لازم گرم می‌شود تا برف و یخ جمع شده بر روی سطح آن آب شود (شکل ۱۱). سطح حرارت به اندازه لازم پایین است که جاده همچنان برای عبور از آن ایمن باشد و نگرانی از بابت ذوب شدن تایرهای خودرو وجود نداشته باشد (Tumidajski و همکاران، ۲۰۰۳).

**۳) تشک ذوب یخ**

این سیستم از کابل‌های گرمایشی که به صورت مش برای استحکام بیشتر هستند تشکیل شده است و ببرای ذوب ببرف و ییخ در پارکینگ‌ها، جاده‌ها، مسیرهای پیاده‌رو، رمپ و پله‌ها استفاده می‌شود (شکل ۱۲). این سیستم متشکل از دو کابل گرمایشی که بر روی تشک پلی‌پروپیلن بسته شده‌اند، می‌باشد و می‌توانند در آسفالت یا سیمان جاگذاری شود. کابل گرمایشی به صورت پیچششی ببر روی بستر قرار گرفته بطوری که از یکدیگر حدود ۷٫۵ سانتیمتر فاصله دارند. این نوع طراحی سبب قدرت خروجی بیششتر و ببازدهی ببالاتر می‌شود. استفاده از این روش باعث طول عمر بیشتر آسفالت شده زیرا با وجود این سیستم، نییازی ببه استفاده از نمک و سایر مواد شیمیایی نمی‌باشد (پرخیال و همکاران، ۱۳۸۶).

شکل ۱۰- بتن رسانای ذوب برف

شکل ۱۱- نصب تشک ذوب یخ و برف زیر بستر جاده

**۴) سیستم ذوب برف الکتریکی**

شبکه‌ی ذوب برف الکتریکی، بر پایه‌ی فناوری نوارهای فلزی آمورف، با روکش پلاستیکی مقاوم و درعین حال منعطف جهت ذوب برف و یخ زدایی از سطوح برف‌گیر استفاده می‌شود. این المنت‌ها را می توان زیر بتن، سنگفرش، ماسه، خاک و آسفالت ببه ککار ببرد (شکل ۱۳). از موارد کاربرد آن می توان به ذوب برف پیاده‌روها، ورودی ساختمان‌ها، رمپ پارکینگ، پشت بام و ذوب ببرف استادیوم و زمین‌های ورزشی و یخ زدایی از شیروانی و ناودان‌ها اشاره نمود. این المنت دارای بازدهی بسیار بالا و مصرف برق بسیار ککم ببوده ببه طوری که مصرف برق آن ها ۳۰ درصد کمتر از سایر کابل های برق می باشد. این کابل ها تخت و نازک بوده و سطح آنها بسیار بیشتر از کابل های برقی قدیمی می باشد لذا گرمای یکنواخت تری ایجاد می‌کنند. این المنت ها در روکش پلاستیکی محکمی محصور ششده اند و بسیار منعطف می باشند. اجرای آن ها در آخرین مرحله قبل از اجرای کفپوش می باشد. امکان اتصال آن‌ها به برق ۲۲۰ ولت و یا ۳۸۰ ولت (سه فاز) وجود دارد. این المنت ها را می توان به سیستم کنترل دما وصل نمود و توسط ترموستات روشن و خاموش ککردن سیستم را کنترل کرد.

شکل ۱۲- سیستم ذوب برف الکتریکی

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق به بررسی امکان استفاده از روش‌های نوین در مدیریت آب باران و رواناب سطحی در منطقه‌ی فریدونششهر پرداختته شد. با توجه به اینکه این شهر فاقد یک سیستم کارآمد برای هدایت و جمع‌آوری رواناب سطحی است، بنابراین در زمان بارندگی دچچار مشکلاتی اعم از آبگرفتگی در معابر، مشکلات عبور و مرور و خسارت به ساختمان‌ها می‌شود. سیستم‌های متداول در زمیننه‌ی هدایت رواناب سطحی عمدتاً با هدف خروج رواناب از منطقه طراحی و اجرا می‌شوند. بنابراین در این سیستم‌ها امکان ذخییره و استحصال آب وجود نخواهد داشت. همچنین به علت شیب زیاد معابر در منطقه‌ی فریدونشهر، تخریب مجاری به عللت سرعت ببالای جرییان وجود دارد. از سویی، این منطقه دارای آب و هوای سرد و مرطوب است به نحوی که در بیشتر روزهای فصل پاییز و زمستان، مسیرها و معابر شهری دچار یخزدگی می‌شوند. به این ترتیب جهت رفع نقاط ضعف سیستم موجود و همچنین امکان استحصال و ذخییره‌ی روانناب و جلوگیری از هدررفت آن، در این تحقیق روش‌های مدرن جهت مدیریت آب باران در برخی محل‌های فریدونشهرمعرفی شدند از جمله: استفاده از روسازی متخلخل مانند بتن، آسفالت و سنگفرش نفوذپذیر، استفاده از مخازن و کانال‌های اکولوژییک (CVF) و استفاده از باغچه‌های باران زاد. در رابطه با یخزدگی معابر در فصول سرد سال، روش‌های جدیدی امروزه در دنیا معرفی ششده و در حال استفاده هستند که می‌توان از این تکنولوژی‌ها در شهر فریدونشهر نیز بهره جست. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان استفاده از لوله‌های آب گگرم در زیر بستر جاده با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی، بتن رسانای ذوب برف، تشک ذوب یخ و سیستم ذوب برف الکتریکی را نام برد.

## منابع

- امانپور، س.، م. عبیات و م. عبیات. ۱۳۹۵. نقش شبکه زهکش مسطح، کانال و مخازن اکولوژیک در مدیریت رواناب سطحی شهری نمونه موردی: شهرک سجادیه تهران. فصلنامه جغرافیایی سرزمین، دوره ۱۳، شماره ۵۱، صفحه ۹۷ تا ۱۱۷.

- پرخیال، س.، ا. عسگری و م.ر. شیرزادی. ۱۳۸۶. آنالیز عددی سیستم ذوب برف زمین گرمایی یک پل نمونه. نشریه مهندسی مکانیک شریف (شریف ویژه مهندسی مکانیک): دوره ۲۳ , شماره ۲/۴۰، صفحه ۱۸۷ تا ۱۹۳.
- تاج‌بخش، م. و س. ر. خداشناس. ۱۳۸۷. بازنگری سیستم جمع آوری رواناب شهری توسط شبیه سازی، حوضه اقبال شرقی مشهد. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده ی مهندسی عمران دانشگاه تبریز.
- حیدری، ا. ۱۳۹۵. مدیریت روان آب شهری از طریق روش باغ باران. نخستین همایش تاب آوری زیست بوم شیراز، شیراز، شهرداری شیراز.
- رمضانیانپور، ع. ا. و ع. جوشقانی. ۱۳۹۲. روسازی های متخلخل و بررسی آثار مختلف آن بر محیط زیست. اولین همایش تخصصی محیط زیست، انرژی و صنعت پاک، تهران، دانشگاه تهران.
- شیشه فروش، م.، م. نصری و ع. نصری. ۱۳۹۶. اجرای همزمان سنگ فرش های متخلخل و فضای سبز به منظور کنترل رواناب سطحی. ششمین همایش ملی سامانه های سطوح آبگیر باران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر.
- نصری، م.، ج. عمادی، م. شیشه فروش و ی. عیدی. ۱۳۹۶. مدلسازی هیدرولیکی شبکه‌های جمع آوری رواناب سطحی شهر بهارستان با استفاده از نرم افزار Civil storm v8i. ششمین همایش ملی سامانه های سطوح آبگیر باران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر.
- Bing, Z., T. H. Qiao and W. L. Juan. 2007. A New Approach to Urban Rainwater Management. J. China Univ. Mining & Technol., 17(1): 0082–0084.
- Markovič, G., M. Zeleňáková, D Káposztásová and G. Hudáková. 2014. Rainwater infiltration in the urban areas. WIT Transactions on Ecology and The Environment, Vol 181, WIT Press.
- Tumidajski, P.J., P. Xie, M.Arnott and J.J.Beaudoin. 2003. Overlay current in a conductive concrete snow melting system. Cement and Concrete Research, Volume 33, Issue 11, November 2003, Pages 1807-1809.
- Zhang,B., G.Xie, C. Zhang and J. Zhang. 2002. The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. Journal of Environmental Management, Volume 100, Pages 65-71.