



زهکشی راه‌های شهری، روش‌ها و مصالح نوین

مهر داد نصری^۱، کیوان آقاییک^۲، طهمز احمدپور^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۲- دکترای عمران، هیات علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

۳- دانشجوی دکترای عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

Kayvan.Aghabayk@ut.ac.ir

خلاصه

رشد روزافزون شهرنشینی و گسترش مناطق شهری، موجب کاهش جذب آب توسط زمین و افزایش حجم و نرخ اوج رواناب در این مناطق شده است. مدیریت رواناب‌های شهری و تعبیه سیستم زهکشی اطمینان‌پذیر و کارا، برای جلوگیری از خسارات هنگفت ناشی از وقوع سیلاب مهم و ضروری است. یکی از مهم‌ترین سطوح شهری برای زهکشی رواناب‌ها، خیابان‌ها می‌باشند که به صورت طولی و عرضی زهکشی می‌شوند. انتخاب و طراحی سیستم زهکشی پایدار خیابان‌های شهری، از جمله چالش‌های اساسی پیش روی مهندسین عمران در جهت ارتقای کیفیت زندگی شهری و پیشگیری از خسارات هنگفت ناشی از سیلاب بوده است. با توجه به تفاوت‌های ویژه خیابان‌های شهری با جاده‌های بین شهری، تکنیک‌هایی در سراسر جهان برای پاسخگویی به این تفاوت‌ها ارائه و اجرا شده‌اند. بهره‌گیری از این تکنیک‌ها ضمن ارتقای عملکرد هیدرولیکی تسهیلات زهکشی و افزایش سطح اطمینان‌پذیری سیستم مدیریت رواناب‌های شهری، موجب توسعه پایدار و سازگار با محیط زیست شهرها خواهد شد.

کلمات کلیدی: زهکشی، راه‌های شهری، روش‌های نوین زهکشی، مصالح زهکشی، رواناب

۱. مقدمه

مناطق شهری کمتر از ۳ درصد سطح خشکی های کره زمین را تشکیل می‌دهند، اما در تغییرات اقلیمی این کره خاکی نقش مهم و موثری دارند [۱]. پیش بینی میشود ۶۶ درصد جمعیت کره زمین تا سال ۲۰۵۰ در شهرها زندگی کنند [۴]. گسترش شهرنشینی در کره زمین منجر به نابودی اکوسیستم‌ها، چند تکه شدن زیستگاه‌های طبیعی و انقراض برخی گونه‌های جانداران شده است [۲]. به همین دلیل بازیابی، نگهداری و ارتقای تنوع زیستی در مناطق شهری امری است که روز به روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند [۳].

آب‌های شهری در زندگی شهروندان اهمیت چشمگیری دارد و می‌بایست در طراحی مناطق شهری به آن‌ها توجه ویژه ای کرد [۵]. کاهش فضای سبز و پوشش گیاهی و به صورت همزمان افزایش نفوذناپذیری زمین در اثر گسترش شهرها، موجب افزایش حجم جریان سیلاب و حجم جریان اوج سیلاب در این مناطق شده است [۶]. همچنین رواناب‌های شهری مواد آلوده کننده شامل جامدات معلق، ذرات ریز، فلزات سنگین، مواد غذایی، مواد شیمیایی و باکتری‌های هوازی را از سطح معابر شهری جمع‌آوری می‌کنند که کیفیت آب حاصل را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهند و خسارات شدیدی به اکوسیستم منطقه وارد می‌کنند [۸]. برای کاهش این آلودگی می‌توان از راهکارهایی مثل کنترل منابع آلودگی، شناخت مشخصه‌های رواناب و اندازه گیری سطح مواد آلوده کننده در آب خروجی بهره گرفت [۹].

رواناب‌های شهری اثرات شدیدی بر کارایی زیرساخت‌های شهری و زندگی شهروندان دارند و خسارات شدیدی به زیرساخت‌های شهری، سیستم‌های خدمات شهری و حمل‌ونقل شهری وارد می‌کنند [۷]. رواناب ناشی از بارش باران، تگرگ و برف تاثیرات مخربی بر زیرساخت‌های خاکی، روسازی‌ها و

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

^۲ دکترای عمران، هیات علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

^۳ دانشجوی دکترای عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف و مدیر عامل سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران



ترافیک شهری می‌گذارد. برخی از راه‌های شهری مسیرهای طبیعی زهکشی را در منطقه سد می‌کنند که در صورت ایجاد شرایط مناسب، این خطر را به وجود می‌آورد که سیلاب راه را تخریب کند یا مسیر عبور جریان ترافیک را مسدود کند [۱۰].

آب روی سطح جاده خطرات بالقوه‌ای را برای وسایل نقلیه در حال تردد در مسیر ایجاد می‌کند. وسایل نقلیه برای توقف روی سطح خیس جاده، به فاصله طولانی تری برای توقف نیاز دارند. همچنین خطر لغزش وسایل نقلیه در اثر کاهش نیروی بازدارنده چرخ‌ها و اصطکاک میان لاستیک و سطح جاده وجود دارد. این خطر در پیچ‌های تند، تقاطع‌های محافظت شده، میدان‌ها و لاین‌های خروجی در مسیرهای با سرعت مجاز زیاد دوچندان می‌گردد [۱۱]. چنانچه عمق آب روی سطح راه از ۲.۴ میلی‌متر فراتر برود، بسته به سرعت وسیله نقلیه، مشخصه‌های تایلر آن و ساختار سطح راه، اصطکاک میان تایلر وسیله و سطح راه کاهش می‌یابد. در صورتی که عمق آب روی سطح جاده از ۴ میلی‌متر نیز تجاوز کند، خطر جدا شدن کامل تایلر خودرو از سطح راه وجود دارد [۱۲].

وجود آب روی سطح راه، موجب کاهش دید رانندگان در اثر پاشیده شدن آب از چرخ سایر وسایل نقلیه مخصوصاً خودروهای سنگین می‌شود. برخی زمان‌ها خطوط و علائم ترافیکی راه نیز زیر آب مدفون می‌شوند و راننده به‌خوبی قادر به دیدن آن‌ها نیست. همچنین به دلیل پدیده انعکاس نور از سطح آب، اثرات مثبت روشنایی روی سطح راه به شدت کاهش می‌یابد و حتی انعکاس نور روی دید راننده اثرات خطر آفرینی می‌گذارد. همچنین عمق قابل توجه آب روی سطح راه، خطر پاشیده شدن آب از تایلر وسایل نقلیه عبوری روی عابرین پیاده و دوچرخه سواران را به وجود می‌آورد [۱۳].

در صورت طراحی یا کارایی نامناسب تسهیلات زهکشی و تجاوز حجم رواناب از ظرفیت این تسهیلات، آب روی مسیر راه جاری می‌شود که علاوه بر خطرات گفته شده در پاراگراف‌های پیشین، ظرفیت ترافیکی مسیر را نیز به شدت کاهش می‌دهد. به علاوه در صورت نفوذپذیر بودن رویه راه، آب جمع شده در روسازی نفوذ می‌کند و آن را نرم و متعطف می‌کند. نبود کانال‌های طولی در مسیر راه خطر نفوذ آب در عرض راه را به دنبال دارد که اثرات مشابه روی روسازی می‌گذارد [۱۴]. در مناطق سردسیر نیز رواناب ناشی از ذوب و تجمع برف روی سطح جاده خطرات منحصر به خود را دارد که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

وجود مشکلاتی نظیر موارد یاد شده موجب شده است در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به سیستم‌های زهکشی در معابر شهری و کارایی این سیستم‌ها در کاهش ریسک سیلاب در شهرها بشود. همچنین مدیریت ریسک سیلاب، به عنوان رویکردی مهم توسط ارگان‌های مرتبط در شهرهای مختلف جهان در دستور کار قرار گرفته است و سیاست‌های مختلفی در این زمینه به کار گرفته شده‌اند.

کنترل آب‌ها در مناطق شهری از وظایف مهم علم مهندسی عمران بوده است و رابرت تریگل در سال ۱۸۲۸ علم مهندسی عمران را به هنر هدایت منابع بزرگ انرژی در طبیعت برای استفاده انسان‌ها و آسایش زندگی آن‌ها تعریف کرده است [۱۵]. به همین جهت مهندسی عمران باید توجه ویژه‌ای به زیرساخت‌های آبی داشته باشند و کنترل‌های طراحی و مهندسی مناسبی برای رویارویی با رواناب‌ها انجام دهند. خروج جریان‌های سطحی از معابر شهری توسط زهکش‌های شهری صورت می‌گیرد. آبی که پیش‌تر جذب زمین می‌شد یا آزادانه در نهرها و کانال‌های طبیعی جریان می‌یافت، از طریق نهرهایی در سطح شهر و یا لوله‌هایی در زیر آن جمع‌آوری می‌شود و به محل‌های ذخیره و انتقال طبیعی آب مثل دریاچه‌ها و رودخانه‌ها منتقل می‌شود [۱۱].

اقدامات مدیریت زهکشی شهری از طریق کانال‌ها، لوله‌ها و بهترین اقدامات مدیریتی در جهت کنترل نرخ جریان حداکثر بارندگی و بار آلودگی به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد. مدیریت ریسک سیلاب‌های شهری نیز از طریق ارزیابی ریسک، طراحی و بکارگیری معیارهای مناسب و بازارزیایی ریسک صورت می‌گیرد و رفتار سیستم تحت شرایط مختلف با معیار میزان خسارت مورد انتظار برآورد می‌شود [۱۶]. اولین اقدام در زهکشی مناسب آب‌های شهری، مکان‌یابی مناسب و اصولی معابر شهری است به گونه‌ای که این معابر از محل‌های با زهکشی نامناسب، خاک پی ناپایدار، محل‌های با سیل مکرر و تقاطع‌های با مسیل‌های طبیعی عبور رواناب عبور نکنند. توجه به این اصل موجب کاهش هزینه‌ها و خطرهای مرتبط با مقوله زهکشی رواناب‌ها می‌گردد؛ در واقع با جابجا کردن کانال‌های انتقال رواناب از ساخت پل و کالورت‌های بزرگ یا تسهیلات گران زهکشی برای سازگار شدن با آن اجتناب می‌شود [۱۲].

در کشور ایران نیز وقوع سیل به طور متوسط ۱.۵ تریلیون ریال خسارات مالی به همراه دارد و در کنار این خسارات هنگفت مالی سالیانه به صورت میانگین جان بیش از ۵۰ نفر را می‌گیرد که از دلایل اصلی آن تجاوز به بستر و حریم رودخانه‌ها در گسترش مناطق شهری و محدود کردن مجراهای عبور سیل و همچنین افزایش حجم رواناب و کاهش زمان تمرکز در اثر گسترش مناطق شهری می‌باشد [۱۷]. این آمار نگران‌کننده نشان‌دهنده ضعف عمیق موجود در رابطه با کنترل رواناب‌ها و زهکشی اصولی در مناطق شهری و راه‌ها است. به این جهت انجام مطالعات علمی در زمینه زهکشی آب‌های سطحی با توجه به شرایط کشور و برآورد میزان کارایی سیستم‌های موجود و اصلاح نقاط ضعف‌شان و همچنین اتخاذ تدابیر و اقدامات مدیریتی موثر در

این زمینه امری حیاتی است. در این مقاله ضمن معرفی اصول زهکشی راهها و انواع سیستمهای زهکشی برخی از آخرین دستاوردها و تکنیکهای مهندسی در زمینه زهکشی راههای شهری معرفی و بررسی می گردند.

۲. مبانی نظری

۲.۱. سیستمهای رایج زهکشی راهها

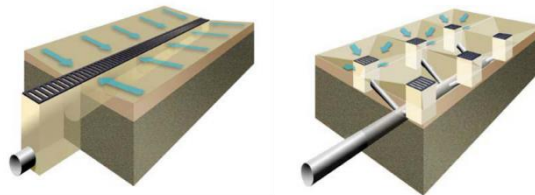
راه به صورت طولی و عرضی شیب بندی می گردد تا آب جاری شده با نیروی گرانش زمین به سمت کانالهای زهکشی هدایت شود و سپس توسط این کانالها زهکشی شده و به خروجی مناسب منتقل شود. انواع مختلف زهکشی راه به صورت موارد زیر است.

۱. زهکشی روی لبه راه: زهکشی در لبه راه می تواند از طریق شیب خاکریزها یا نهرهای روباز و یا کانالهای بلوکی پیش ساخته صورت گیرد. این روش زهکشی تنها در راههایی استفاده می شود که در مجاورتشان پیاده رو وجود ندارد. از معایب استفاده از شیب خاکریزها برای زهکشی فرسایش خاک، سستی شیروانیهای جانبی و ناپایداری خاکریزها می باشد که البته برای خاکریزهای کم ارتفاع و با شیب ملایم و مصالح پایدار این مشکل وجود ندارد. در صورت استفاده از نهرهای روباز یا کانالهای بلوکی وجود فیلتر زیر سطح راه ضروری است و فاصله این نهرها و کانالها تا لبه راه باید از یک متر بیشتر باشد [۱۸].

۲. جدول و نهر: این سیستم زهکشی شامل جدولهای عمودی و نهرهای شیب بندی شده است و برای خیابانهای شهری و در مجاورت پیاده روها مناسب است. کانالهای مستطیلی برای انتقال روانابها به ورودی چاههای جمع آوری آب که به لولههای زیرزمینی متصل اند استفاده می شوند و در نهایت آب را به خروجیهای مناسب منتقل می کنند. اتصالات لولهها می بایست آب بندی شده باشد و لولهها در ترانشههایی که با مصالح مناسب پر و متراکم شده اند قرار گرفته اند. نهرها از پایین جدولها شروع شده و در طول مسیر گسترش می یابند و درحالی که معمولاً شیب آنها با شیب راه برابر است، به دلیل جنس مصالح و ابعاد نهر، حرکت آب در آنها سریع تر صورت می گیرد. چاههای جمع آوری آب نیز معمولاً به صورت اتاقکهای پیش ساخته بتنی یا آجر رسی هستند و با منحرف کننده ای در فاصله حداکثر ۹۰۰ میلی متری پایین ورودی شان به سیستم لولههای زیرزمینی متصل هستند. شن و خاک معلق در آب پیش از ورود به لولهها در این اتاقک امکان ته نشینی دارند که ممکن است موجب انسداد خروجی آن که درپچه ای فلزی است شوند و نیازمند بازبینی هستند. ورود آب به این چاهها به صورت جانبی از طریق ورودیهای موجود در کنار معبر و در ضلع قائم جدول یا به صورت عمودی از طریق درپچههای موجود در مسیر راه یا ترکیبی از این دو روش صورت می گیرد. ورودیهای جانبی بازده کمتری دارند که دلیل آن هد هیدرولیکی کمتر آب در زوایای جانبی مسیر جریان مخصوصاً در شیبهای تند است. درپچههای موجود در مسیر راه در نقاط با ارتفاع پایین تر نصب می شوند که آب تمایل به تجمع در آنها دارد. محل های مناسب در راههای شهری برای نصب این درپچهها، قبل ایستگاههای اتوبوس، ایستگاههای تاکسی و شعاع بالادست جویهای کناره مسیر هستند که آب را قبل از رسیدن به محل تجمع عابرین یا گردش وسایل نقلیه مهار کنند [۱۹].

۳. سیستمهای ترکیبی

این سیستمها ترکیبی از دو سیستم نام برده هستند که در طرح راههای شریانی اصلی استفاده می شوند. مصالح فیلتر در این سیستم می بایست بافت باز داشته باشند تا زهکش بتواند به سرعت آب را از جاده و کناره آن خارج کند. مشکل این سیستم ترکیبی، انتقال حجم زیادی آب به سطح زیرسازی رویه است که در صورت عملکرد نامناسب سیستم زهکشی ریسک بالایی برای زیرسازی به همراه دارد. همچنین هزینه فیلترهای زهکشی با افزایش قطر لولهها به شدت بالا می رود و این مصالح هر ده سال می بایست جایگزین شوند و نیاز به بازبینی منظم برای جلوگیری از مسدود شدن ورودیها دارند [۱۸].



شکل ۱- زهکشی به وسیله نهر (سمت چپ) و درپچه (سمت راست) [۱۸]

۲.۲. الزامات طراحی سیستم‌های زهکشی راه‌ها

طراحی تسهیلات زهکشی به تخمین دقیق روابط دبی - فرکانس نیاز دارد. طراحی بعضی تسهیلات زهکشی نظیر پل، کالورت و نهرهای کنار راه نیازمند تعیین نرخ اوج لحظه‌ای جریان است. سیستم‌های کوچک مقیاس زهکشی مثل زهکش‌های سطحی نیازمند هیدروگراف جریان هستند که حجم رواناب را تخمین می‌زند [۲۰].

کالورت‌های عرضی که در زیر سطح جاده گسترش می‌یابند و رواناب را در عرض جاده منتقل می‌کنند می‌بایست در طرح زهکشی مورد توجه قرار گیرند. در تعیین الزامات طراحی و تعیین ابعاد نهایی کالورت مهندس می‌تواند از قضاوت مهندسی و تجربیات شخصی‌اش بهره بگیرد. در طراحی کالورت و نهرهای زهکشی باید به استاندارد طراحی که جریان حداکثر به صورت ایمن باید زهکشی شود توجه گردد. لذا فرایند طراحی باید الزامات دو معیار ایمن بودن و اقتصادی بودن را به صورت همزمان برآورده کند [۲۱].

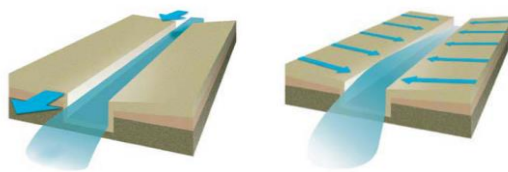
پیش‌تر روش نسبی با در نظر گرفتن تنها نرخ اوج رواناب استفاده می‌شد که کارایی نامناسب آن منجر به گسترش روش دقیق محاسباتی بر مبنای هیدروگراف بارش شد. مفهوم مدت زمان بحرانی سیلاب نیز در پاسخگویی به محدودیت‌های روش نسبی تعریف شد که دبی اوج سیلاب را در برابر مدت زمان بحرانی سیلاب بررسی می‌کند و دبی پیک طراحی و مدت زمان بحرانی آن را مشخص می‌کند. مدت زمان بحرانی سیلاب متأثر از نوع خاک، کاربری زمین، توزیع بارش و مشخصه‌های مدل هیدرولیکی نیز است [۲۲]. با توجه به مطالب گفته شده تنها یک رویکرد نمی‌تواند پردازش ایمن طراحی و یا فرمول کلی قابل اعمال به شرایط همه حوضه‌ها را پدید آورد و در طرح مناسب سیستم زهکشی پایدار می‌بایست مدت زمان بحرانی سیلاب، توزیع بارندگی و محاسبات و مدل هیدرولیکی مناسب مورد توجه قرار گیرند.

۲.۳. عملکرد هیدرولیکی تسهیلات زهکشی راه‌ها

همان‌گونه که پیش‌تر نیز گفته شد زهکشی سطحی از مقوله‌های مهم مدیریت رواناب محسوب می‌شود. هدف از زهکشی سطحی کاهش تجمع آب و آب گرفتگی معابر، جلوگیری از لغزنده شدن خیابان‌ها و مخاطرات ناشی از آن، محافظت از روسازی و طولانی‌تر کردن عمر آن، محافظت از املاک و دارایی‌ها در برابر سیل و کاهش مشکلات در عبور و مرور افراد و وسایل نقلیه است. از آنجایی که در کشور ما متداول‌ترین روش زهکشی استفاده از نهرهای زهکشی و دریچه‌های آبگیر می‌باشد در این بخش عملکرد هیدرولیکی این دو روش بررسی می‌شود.

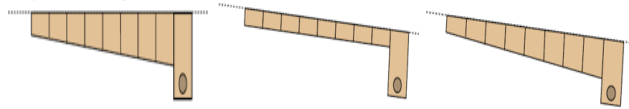
عملکرد هیدرولیکی تسهیلات زهکشی، به صورت حجم آبی که می‌تواند در یک بازه زمانی مشخص جمع‌آوری کند و انتقال دهد، تعریف می‌شود. عوامل دخیل در عملکرد هیدرولیکی این تسهیلات، عرض، طول و جنس پوشش سطح زهکشی، شدت بارش، شیب و اندازه موقعیت خروجی هستند [۲۳].

نهرهای زهکشی به صورت طولی، در امتداد مسیر و عرضی، عمود بر محور مسیر هستند. بر حسب نوع جریان عملکرد هیدرولیکی این نهرها بررسی می‌شود. در حالت جریان غیر یکنواخت، تحلیل هیدرولیکی بر مبنای حجم آبی که در نهر حمل می‌شود و آبی که از دریچه‌ها وارد نهر میشود صورت می‌گیرد. مشخصه جریان غیر یکنواخت، تغییر سرعت و ارتفاع سیال در مقاطع عرضی متوالی در امتداد تسهیلات انتقال آب است که برای مدل‌سازی، به دلیل پیچیدگی محاسبات از مدل‌سازی کامپیوتری استفاده می‌شود. در حالت جریان یکنواخت، سرعت و ارتفاع در امتداد تسهیلات انتقال آب ثابت می‌ماند و برای تحلیل از معادلات جریان پایا بر اساس تئوری مانینگ استفاده می‌شود، اما تنها برای لوله‌های انتقال آب که آبگیری جانبی در آن‌ها مجاز نیست یا نهرهایی که برای انتقال حجم مشخص آب از محدوده‌ای به محدوده دیگر بدون آبگیری جانبی طرح می‌شوند، کاربرد دارد [۲۴].



شکل ۲- جریان یکنواخت (سمت چپ) و غیریکنواخت (سمت راست) [۲۴]

شیب زمین جزو مهمترین عوامل موثر در هیدرولیک نهر است. وجود شیب، سرعت آب را افزایش می‌دهد و کارایی هیدرولیکی آن را بهبود می‌بخشد. بسته به شرایط محل شیب قاعده نهر می‌تواند با شیب راه برابر باشد یا نسبت به آن شیب‌دار باشد که در شکل ۳ حالات مختلف شیب راه و شیب قاعده نهر نشان داده شده است.

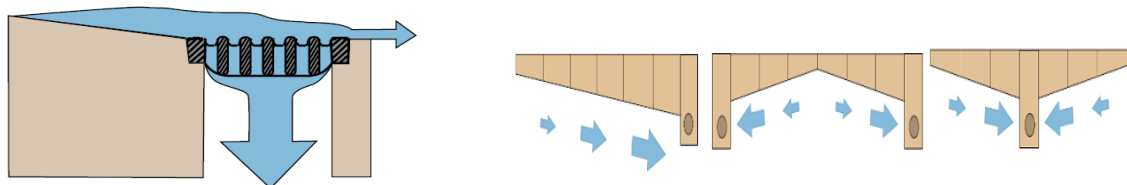


شکل ۳- حالات مختلف شیب راه و قاعده نهر از چپ به راست: ۱. شیب جاده صفر، قاعده نهر شیب‌دار، ۲. جاده و قاعده نهر شیب‌دار با شیب برابر، ۳. جاده شیب‌دار، قاعده نهر شیب‌دار با شیب بیشتر [۲۳]

در حالت جریان غیریکنواخت، با مدلسازی هیدرولیکی مناسب، تاثیر شیب و طول با دقت به حساب می‌آید. در حالت جریان یکنواخت، ظرفیت جریان از حاصل ضرب سطح در سرعت محاسبه می‌شود. چنانچه شیب جزئی داشته باشیم، سرعت به سمت صفر متمایل می‌شود و عملکرد نهر دست پایین برآورد می‌شود و اندازه نهر دست بالا محاسبه می‌شود و در نتیجه، مجرای بزرگتر و پرهزینه‌تر طراحی می‌شود. همچنین در صورتی که شیب قابل ملاحظه‌ای داشته باشیم، عملکرد هیدرولیکی نهر، دست بالا برآورد می‌شود و در نتیجه، اندازه مجرا کوچکتر به دست می‌آید و در نتیجه آب سرریز می‌شود [۲۵].

نهرهای جمع‌آوری آب‌های سطحی به شبکه لوله زیرزمینی متصل می‌شوند. موقعیت این لوله می‌تواند در یک یا دو خروجی انتهایی یا در یک خروجی مرکزی واقع باشد که در شکل ۴ نمایش داده شده است. چنانچه تنها یک خروجی انتهایی داشته باشیم، به نهری با ابعاد بزرگتر و پرهزینه‌تر یا خروجی‌های بیشتر برای جلوگیری از سرریز شدن نیاز خواهد بود. اگر شیب جاده ناچیز باشد و موقعیت لوله گذاری عاملی تعیین کننده نباشد، بهتر است از خروجی مرکزی استفاده شود که هم طول نهر تا این خروجی کوتاه‌تر است و هم احتمال سرریز شدن کاهش می‌یابد و در نتیجه نهری با ابعاد کمتر و خروجی‌های کمتر و به صرفه‌تر برای تخلیه آب نیاز خواهد بود [۲۳].

معمولاً نهر زهکش پیش از آنکه هیدرولیک دریچه آبگیر بر عملکرد تأثیر بگذارد، به ظرفیت هیدرولیکی خود میرسد. در صورت وجود گشودگی محدود، مثل دریچه‌های مشبک، هیدرولیک دریچه آبگیر بر عملکرد تأثیر بگذارد، به ظرفیت هیدرولیکی خود میرسد. در صورت وجود به مقدار جریان در نهر منتهی به حوضچه، شیب عرضی و طولی خیابان، شکل هندسی دریچه ورودی و میزان پائین بودن سطح آن از کف آبرو یا محوطه به دست می‌آید. معمولاً در طراحی حوضچه‌های آبگیر، عدم انسداد دریچه ورودی و همچنین عدم تداخل و ایجاد مزاحمت‌های ترافیکی بر مبانی هیدرولیکی طرح حوضچه اولویت دارد. آزمایشها نشان داده است که دریچه ورودی آب باران با میله‌های موازی جدول آبرو مناسبترین وضعیت را از نظر جلوگیری از انسداد به وجود در شرایطی مثل نبود فضای باز کافی دریچه، حجم زیاد آب یا شیب زیاد عمود بر دریچه ممکن است کنارگذری آب یا جذب ناقص رواناب رخ دهد که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود [۲۵].



شکل ۴- حالات مختلف موقعیت لوله زیرزمینی [۲۳] شکل ۵- کنارگذری آب (جذب کمتر از ۱۰۰٪ رواناب) در دریچه‌های آبگیر [۲۵]

برای بهبود عملکرد هیدرولیکی حوضچه آبگیر، بهتر است شیب عرضی معابر که به طرف نهر ختم می‌شود تا حد ممکن تند باشد. همچنین برای حوضچه‌های آبگیری که در خط‌القدر نهر قرار می‌گیرند، با توجه به احتمال گرفتگی زیاد آنها، بهتر است ظرفیت ورودی آب باران به داخل این حوضچه‌ها در مقایسه با حوضچه‌هایی که در شیب قرار می‌گیرند، کمتر لحاظ شود.

۲.۴. معیارهای تعیین کارایی سیستم زهکشی راهها

انتخاب سیستم زهکشی پایدار بسیار مهم است و نقش مهمی در کنترل و اصلاح رواناب‌های راه‌های شهری و کیفیت آب خروجی سیستم دارد. توجه به مفهوم کنترل منابع برای اصلاح رواناب‌ها ضروری است که تاکید ویژه بر تدارک سرویس‌های کنترلی در بالادست و پایین دست تاسیسات و عملیات زهکشی دارد. مهم‌ترین فاکتورها برای تعیین کارایی سیستم‌های زهکشی در جهت یافتن سیستم زهکشی پایدار، فاکتورهای فنی، محیطی، اجتماعی و اقتصادی می‌باشند.

معیارهای فنی و علمی: کارایی و عملکرد سیستم، اطمینان پذیری، دوام و انعطاف سیستم زهکشی
معیارهای محیطی: حجم آب، کیفیت آب، تاثیر بر اکولوژی، استفاده از منابع
معیارهای اجتماعی: فواید اجتماعی، دسترسی، بازیابی، اطلاعات عمومی، تحویلی و آگاهی، پذیرش توسط ذینفعان سیستم، ریسک سلامت و ایمنی

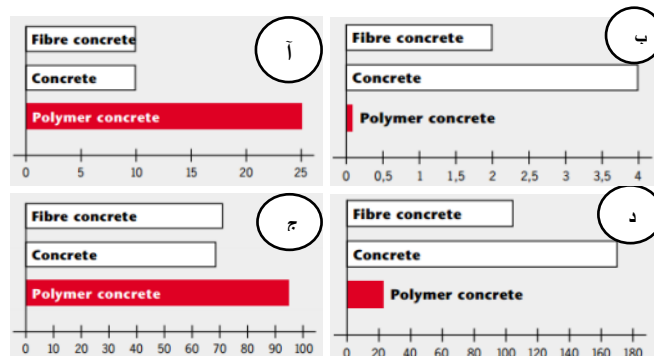
معیارهای اقتصادی: ریسک مالی، قابلیت پیشنهاد و اجرا، هزینه های دوره طرح
در انتخاب سیستم زهکشی مناسب و پایدار، بین گزینه‌های موجود با توجه به فاکتورهای نام‌برده می‌توان انتخاب صحیح و اصولی انجام داد [۲۶].

۳. مصالح و روش‌های نوین زهکشی راه

تا کنون اهمیت تعیبه سیستم زهکشی بهینه در راه‌ها روشن شد و انواع رایج این سیستم‌ها، عملکرد هیدرولیکی و معیارهای تعیین کارایی‌شان بررسی شد. در این بخش دستاوردهای این پژوهش در قالب سه تکنیک جدید برای ارتقای عملکرد هیدرولیکی سیستم زهکشی در مناطق شهری ارائه می‌گردد.

۳.۱. استفاده از بتن پلیمری برای زهکشی طولی معابر شهری

برای زهکشی طولی معابر شهری، از سیستم زهکشی خطی استفاده می‌شود که به صورت نهر روباز یا نهر عمقی تعیبه می‌شوند و روی آن‌ها نیز توسط درپوش‌ها پوشانیده می‌شود. جنس این نهرها معمولاً بتنی است و به صورت درجا یا اتصال بلوک‌های پیش ساخته است. بتن شکننده و آسیب‌پذیر است و نهرهای بتنی، مخصوصاً در مناطق با اختلاف دمایی روز و شب زیاد، عمر مفید زیادی ندارند. همچنین احداث این نهرها زمان‌بر و پرهزینه است. علاوه بر هزینه احداث، به دلیل نیاز به بازمینی‌های دوره‌ای، هزینه نگهداری نهرهای بتنی در مناطق شهری نیز بالاست. در شرایط باران شدید، وجود مشکلاتی نظیر شکستگی در این نهرها موجب راه‌بندان و خسارات شدید به اموال و دارایی‌های شهری می‌شود. پلیمرها سال‌هاست که پا به عرصه صنعت گذاشته‌اند و امروزه در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. ویژگی‌های ساختاری پلیمرها و قابلیت‌های فراوان‌شان در کنار قیمت ارزان این مواد کاربری آن‌ها را در صنایع گوناگون روزبه‌روز افزایش می‌دهد. در صنایع ساخت‌وساز و مهندسی عمران نیز، ظهور بتن پلیمری درهای جدیدی را به روی مهندسين عمران گشوده است. در شکل ۶، مقاومت فشاری، مقاومت کششی خمشی، عمق نفوذ آب و سختی متوسط سطح برای بتن معمولی، بتن کابلی و بتن پلیمری نشان داده شده است [۲۷].



شکل ۶- آ. مقاومت کششی خمشی (۲N/mm) ب. عمق نفوذ آب (mm) ج. مقاومت فشاری (۲N/mm) د. سختی متوسط سطح (۲۷) (μm)

یکی از موثرترین راهکارهای بهبود عملکرد نهرهای زهکشی در خیابان‌های شهری، استفاده از بتن پلیمری برای ساخت این نهرهاست. مقاومت فشاری بتن پلیمری از بتن معمولی، چنانکه در شکل ۶-ج نیز مشهود است، بیشتر است. همچنین بر خلاف بتن که در برابر سیکل‌های ذوب و یخبندان بسیار آسیب‌پذیر است، بتن پلیمری مقاومت بسیار بالایی دارد و در مناطق سردسیر کارایی فوق‌العاده‌ای نشان می‌دهد. به‌علاوه چنان‌که گفته شد، رواناب‌های شهری حامل مواد شیمیایی فراوانند که برخی از آنها خاصیت خوردگی دارند و بتن معمولی را به سرعت می‌خورند، که دلیل از بین رفتن ساختار صیقلی کف نهرهای شهری است؛ اما رزین پلی‌استر به کاررفته در ساخت بتن پلیمری، آن‌را در برابر عوامل خوردنده شیمیایی مقاوم ساخته است که عمر مفید نهر را بسیار افزایش می‌دهد. استفاده از بتن پلیمری در ساخت نهرها، سطحی تقریباً عاری از اصطکاک و با ضریب جذب آب تقریباً صفر پدید می‌آورد که بستری ایده‌آل برای انتقال سریع جریان‌های رواناب ایجاد می‌کند. سختی سنگدانه‌های سیلیس در کنار ساختار پلیمری، سطحی بسیار مقاوم در برابر سایش ناشی از عبور چرخ‌های وسایل نقلیه فراهم می‌کند که در مناطق شهری، آسیب‌پذیری تاسیسات را به شدت کاهش می‌دهد. همچنین سبک‌تر بودن بتن پلیمری، موجب سهولت حمل، نصب و نگهداری نهرهای پیش‌ساخته بتن پلیمری می‌شود که کاهش هزینه‌ها را به دنبال دارد. بتن پلیمری قابلیت بازیافت دارد و پس از استهلاک، به چرخه طبیعت بازگردانده می‌شود [۲۸]. در مجموع، استفاده از بتن پلیمری در ساخت نهرهای زهکشی طولی معابر شهری، ضمن بهبود چشمگیر عملکرد هیدرولیکی نهر، عمر مفید این تاسیسات را به شدت افزایش می‌دهد و هزینه‌های نصب و نگهداری را نیز کاهش می‌دهد. همچنین با توجه به قابلیت بازیافت، سیاست‌های توسعه پایدار شهری را نیز دنبال می‌کند.



شکل ۷- نمونه ای از نهرهای پیش ساخته بتن پلیمری [۲۸]

۳.۲. زهکشی جدولی معابر شهری

زهکشی جدولی معابر شهری، سیستم زهکشی نوینی است که برای به کارگیری در نواحی شهری طراحی شده است. در این سیستم، جدول کنار معابر و سیستم زهکشی یکپارچه می‌شوند. در شکل ۸، نمونه‌هایی از این سیستم نشان داده شده است.



شکل ۹- مقطع عرضی سیستم زهکشی جدولی [۳۰]



شکل ۸- نمونه هایی از سیستم زهکشی جدولی در کشور انگلستان [۳۰]

در این سیستم، قطعات یک متری از جنس وینیت ساخته می‌شوند و هر ۵۰ سانتی متر، دو ورودی آب‌های سطحی تعبیه می‌شود که طرح آن‌ها به گونه‌ای است که از آب گرفتگی آبرو توسط ورود زباله و گل‌ولای جلوگیری می‌کند. نمونه ای از این قطعات در شکل ۹ نمایش داده شده است.

استفاده از این سیستم برای زهکشی در مناطق شهری، ضمن رفع مشکلات استفاده از دریچه‌های آب‌گیر در کف معابر و مسیر عبور خودروها و زهکشی مطمئن تر آب‌های سطحی، موجب کاهش هزینه‌های نگهداری راه و تاسیسات می‌شود و راهکاری به صرفه و بهینه در مدیریت



پایدار شهری است. نگهداری سیستم در طول عمر آن نیز از طریق نقاط دسترسی به راحتی قابل قفل و باز شدن، صورت می‌گیرد. جنس وینیت به کار رفته در ساخت این جدول‌ها، موجب آب‌بند شدن سیستم و همچنین سبک وزنی قطعات و سهولت حمل، نصب و نگهداری می‌شود. وینیت، ماده‌ای با اساس پلیمری و ساخته شده از مصالح بازیافتی است که خواص مشابه بتن پلیمری دارد. این ماده بسیار مقاوم، دارای طول عمر مفید بالا و سازگار با محیط زیست است. لای‌روبی آب‌روها نیز با استفاده از ابزار جتینگ صورت می‌گیرد [۲۸].

از دیگر مزیت‌های این سیستم، قابلیت ایجاد مقاطع با ظرفیت‌های متفاوت برای بهینه کردن عملکرد هیدرولیکی سیستم زهکشی در نقاط مختلف و قابلیت استفاده در راه‌ها و مناطق مختلف شهری است. مقاومت جدول‌های وینیتی در برابر ضربه از جدول‌های بتن سیمانی، ۵۰٪ بیشتر است و عمر مفید طولانی‌تری دارد. در مجموع، استفاده از این سیستم در مدیریت رواناب‌های شهری در معابر موجب تخلیه سریع آب‌های سطحی، جلوگیری از آب‌گرفتگی و راه‌بندان در معابر، افزایش ایمنی معابر شهری، کاهش هزینه‌های نگهداری و افزایش عمر مفید تاسیسات می‌شود. این سیستم در محل‌هایی مثل ایستگاه‌های اتوبوس، میدان‌ها، تقاطع‌ها، پل‌ها و تونل‌ها که آب‌گرفتگی بسیار مشکل‌آفرین است، موثر و کارا خواهد بود [۳۰].

۳.۳. زهکشی جدولی معابر شهری

روش پمپاژ سرریز، روشی برای مدیریت رواناب‌های شهری، در مواقع بارندگی شدید و سیلاب است که در شهر تردام هلند ابداع و به کار گرفته شده است. در این شهر، رواناب جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های پمپاژ عبور کرده و سپس به ایستگاه‌های تصفیه منتقل می‌شود و از آنجا به رودخانه می‌ریزد. در هنگام بارندگی شدید، ایستگاه‌های تصفیه از مدار خارج شده و رواناب مستقیم از مسیر فرعی رانده شده و مستقیم به رودخانه می‌ریزد. تغییر مسیر آب از طریق سیستم کنترل مرکزی رواناب صورت می‌گیرد. در این سیستم از کنترل‌کننده‌های منطقی بهره گرفته شده است که با حلقه‌های کنترل محلی برنامه‌ریزی شده است. متغیر این کنترل‌کننده‌ها، سطح آب در اتاقک مکش ایستگاه پمپاژ است [۲۸].

استفاده از این سیستم در مدیریت رواناب‌های شهری، خطر سیل را به حداقل می‌رساند. در این حالت، رواناب پیش از کنترل سطح آلودگی و تصفیه وارد رودخانه می‌شود و همچنین با آب کانال‌های فاضلاب مخلوط شده و لوله‌ها را آلوده می‌کند، لیکن خسارت ناشی از سیل بسیار چشمگیرتر از این معضل می‌باشد. به کارگیری این سیستم، نیازمند تجهیز ایستگاه‌ها به ابزار کنترل و مدیریت از راه دور است.

۴. نتیجه گیری

بهره‌گیری از سیستم پایدار و اطمینان‌پذیر زهکشی خیابان‌های شهری، برای جلوگیری از خسارات هنگفت ناشی از وقوع سیلاب و جاری شدن رواناب در سطح معابر شهری ضروری است. پیشرفت‌های اخیر در زمینه مواد و مصالح و تکنیک‌های مدیریت رواناب‌های شهری به بهینه‌تر شدن عملکرد هیدرولیکی و افزایش اطمینان‌پذیری سیستم‌های زهکشی کمک شایانی نموده است.

معمول‌ترین روش زهکشی رواناب‌ها در شهرها، استفاده از سیستم ترکیبی نهرهای زهکشی و دریچه‌های آب‌گیر در سطح معابر است. ساخت نهرهای زهکشی با بتن و به صورت درجا یا بلوک‌های پیش‌ساخته بتنی مشکلات زیادی را به همراه داشته است. ظهور پلیمرها و استفاده از آن‌ها در ساخت بتن پلیمری ماده‌ای با خواص جدید و بسیار مقاوم‌تر پدید آورده است. استفاده از بتن پلیمری در ساخت نهرهای زهکشی، موجب ارتقای چشمگیر عملکرد هیدرولیکی این نهرها می‌گردد. همچنین نهرهای ساخته شده از بتن پلیمری، عمر مفید طولانی‌تر و هزینه‌های نگهداری کمتری دارند، در برابر عوامل خوردنده شیمیایی، سبک‌های یخبندان و نفوذ آب مقاوم‌اند و سازگاری بیشتری با محیط شهری دارند.

سیستم زهکشی جدولی، دو نیاز معابر شهری یعنی جدول کنار خیابان و آبروهای زهکشی آب‌های سطحی را یکپارچه نموده است. استفاده از این سیستم، ضمن کمک به استفاده بهینه از فضای کنار معابر و زیاتر کردن منظر خیابان‌های شهری، به دلیل قابلیت تغییر مقاطع آبروها عملکرد هیدرولیکی سیستم زهکشی را بهینه می‌کند. جنس وینیت استفاده شده در ساخت قطعات این سیستم، موجب افزایش طول عمر، کارایی، ضربه‌پذیری و سازگاری با محیط زیست جدول‌ها می‌شود. استفاده از این سیستم، موجب افزایش اطمینان‌پذیری و کارایی سیستم زهکشی معابر شهری و سازگاری آن با محیط شهری می‌شود.

در مواقع بارندگی شدید و وقوع سیلاب، مدیریت رواناب‌ها تمهیدات ویژه‌ای می‌طلبد. یکی از موثرترین این تمهیدات مدیریتی استفاده از روش پمپاژ سرریز است. در این روش، تغییر مسیر انتقال رواناب‌ها از ایستگاه‌های تصفیه به محل‌های خروج، با وجود برخی معایب و مشکلات، موجب تخلیه سریع



حجم زیاد رواناب و پیشگیری از خسارات هنگفت سیلاب می‌شود. استفاده از تکنولوژی‌های نوین و تکنیک‌های کنترل هوشمند در ایستگاه‌های پمپاژ نیز در مدیریت رواناب‌های شهری، نقش موثری ایفا می‌کند.

با توجه به خسارات هنگفت مالی و جانی ناشی از وقوع سیلاب در کشورمان که هر ساله با آن مواجهیم، امید است بهره‌گیری از نتایج این پژوهش و کارهای مطالعاتی مشابه و تلاش در جهت گسترش پژوهش متناسب با شرایط ویژه کشور ایران، موجب ارتقای عملکرد سیستم‌های زهکشی شهری و کاهش خسارات ناشی از رواناب‌ها در این مناطق شود.

۵. مراجع

1. Grimm N.B., Faeth S.H., Golubiewski N.E., Redman C.L., Wu J., Bai X., Briggs J.M., "Global change and the ecology of cities", *Science* 319, 756–760, 2008
۲. McKinney, M.L., "Urbanization as a major cause of biotic homogenization", *Biological Conservation* 127, 247–260, 2006
۳. Savard J.L., Clergeau P., Mennechez G., "Biodiversity concepts and urban ecosystems", *Landscape and Urban Planning* 48, 131–142, 2000
۴. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, "World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights", ST/ESA/SER.A/352, 2014
۵. Hong Y.M., "Graphical estimation of detention pond volume for rainfall of short duration", *Journal of Hydro Environment Research* 2, 109-117, 2008
۶. Jia H., Lu Y., Yu S.L., Chen Y., "Planning of LIDeBMPs for urban runoff control: the case of Beijing Olympic Village", *Sep. Purifying Technology* 84, 112-119, 2012
۷. Schiff K.C., Morton J., Weisberg S.B., "Retrospective evaluation of shoreline water quality along Santa Monica bay beaches", *Marine Environmental Research* 56, 245-253, 2003
۸. Masoud Kayhanian, Boaz D. Fruchtman, John S. Gulliver, Comasia Montanaro, Ezio Ranieri, Stefan Wuerz, "Review of highway runoff characteristics: Comparative analysis and universal implications", *Water Research* 46, 6609-6624, 2012
۹. Tingsanchali T., "Urban flood disaster management", *Procedia Eng* 32, 25-37, 2012
۱۰. van Ree C.C.D.F., Van M.A., Heileman K., Morris M.W., Royet P., Zevenbergen C., "Flood ProBE: technologies for improved safety of the built environment in relation to flood events", *Environment Science Policy* 14, 874-883, 2011
۱۱. USDCM, "Urban Storm Drainage Criteria Manual", Urban Drainage and Flood Control District, Denver, Colorado, 2008
۱۲. Blackmore J., Plant R., "Risk and resilience to enhance sustainability with application to urban water systems", *Journal of Water Resources Planning Management* 134, 223-224, 2008
۱۳. Yaser Tahmasebi Birgani, Farhad Yazdandoost, "A framework for evaluating the persistence of urban drainage risk management systems", *Journal of Hydro-environment Research* 8, 330-342, 2014
۱۴. Breur K. J., Dellaert N. P., van Leeuwen P. E. R. M., "Deriving discharge strategies to reduce CSO in urban drainage systems", *Water Science and Technology* 36, 8–19, 1997
۱۵. Sim J W, Jo W C., "Comparison of flood travel time and critical storm duration", *Magazine of Korea Water Resources Association* 31, 60–67, 2011
۱۶. <http://www.mehrnews.com/news/1127190/>, پایگاه خبری مهرنوز
۱۷. AASHTO, "American Association of State Highway and Transportation Officials Drainage Manual", Chapter 9, Washington, DC, 2000
۱۸. Sim J W, Jo W C., "Comparison of flood travel time and critical storm duration", *Magazine of Korea Water Resources Association* 31, 60–67, 2011



۱۹. AASHTO, "American Association of State Highway and Transportation Officials Drainage Manual", Chapter 10, Washington, DC, 2000^{۱۶}. Sim J W, Jo W C., "Comparison of flood travel time and critical storm duration", Magazine of Korea Water Resources Association 31, 60–67, 2011
۲۰. M.S. Kang, J.H. Koo, J.A. Chun, Y.G. Her, S.W. Park, K. Yoo, "Design of drainage culverts considering critical storm duration", biosystems engineering 104, 425–434, 2009^{۱۹}. AASHTO, "American Association of State Highway and Transportation Officials Drainage Manual", Chapter 10, Washington, DC, 2000^{۱۶}. Sim J W, Jo W C., "Comparison of flood travel time and critical storm duration", Magazine of Korea Water Resources Association 31, 60–67, 2011
۲۱. Lee S J, Choi H, Shin H B, Park S K, "An analysis of PMF and critical duration for design of hydraulic structures", Journal of Korea Water Resources Association 37, 708–718, 2004.
۲۲. Korea Expressway Corporation, "Highway design manual", Seoul, Republic of Korea, 2008
۲۳. Johannes M.U. Geerse, Arnold H. Lobbrecht, "Assessing the performance of urban drainage systems: 'general approach' applied to the city of Rotterdam", Urban Water 4, 199–209, 2002
۲۴. C. Pagotto, M. Legret, P. LE Cloirec, "Comparison of the hydraulic behavior and the quality of highway runoff water according to the type of pavement", Water Research 34, 4446–4454, 2000
۲۵. Maharjan M., Pathirana A., Gersonius B., Vairavamoorthy K., "Staged cost optimization of urban storm drainage systems based on hydraulic performance in a changing environment", Hydrolic Earth System Science 13, 481–489, 2009
۲۶. J.B. Ellis, J.C. Deutsch, J.M. Mouchel, L. Scholes, M.D Revitt, "Multicriteria decision approaches to support sustainable drainage options for the treatment of highway and urban runoff", Science of the Total Environment 334, 251–260, 2009
۲۷. The ACO Group, "Site Installation Manual, Polymer Concrete Drain Systems", ACO Systems FZE, United Arab Emirates, 2014^{۲۸}. AASHTO, "American Association of State Highway and Transportation Officials Drainage Manual", Chapter 10, Washington, DC, 2000^{۱۶}. Sim J W, Jo W C., "Comparison of flood travel time and critical storm duration", Magazine of Korea Water Resources Association 31, 60–67, 2011
۲۸. R. Griffiths, A. Ball, "An assessment of the properties and degradation behaviour of glass-fibre-reinforced polyester polymer concrete", Composites Science and Technology, Volume 71, 2141–2153, 2014
۲۹. The ACO Group, "ACO Kerb Drain", ACO Systems FZE, Switzerland, 2015
۳۰. Highways Department Research & Development Division, "Guidance Notes on Road Pavement Drainage Design", HongKong, 2010