نقش شبکه زهکش مسطح، کانال و مخازن اکولوژیک در مدیریت رواناب سطحی شهری نمونه موردی : شهرک سجادیه تهران

سعید امانپور[۱]، مرتضی عبیات[۲]، مصطفی عبیات[۳]

[۱] دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۳۰ **تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۲/۵**

چکیده

سطوح روکش شده، پشت‌بام ساختمان‌ها، سطوح خیابان‌ها و امثال آن‌ها در شهرها همانند مانعی در برابر نفوذ آب باران به داخل خاک و تغذیهٔ سفره آب زیرزمینی عمل می‌کنند و سبب می‌شوند که بخش بیشتری از بارندگی به رواناب سطحی و سیلاب تبدیل شوند. روش ترکیبی نفوذ، ذخیره و انتقال آتلانتیس به عنوان بارزترین رویکرد مدیریت رواناب شهری شامل اجرای یک شبکهٔ مجاری زیرسطحی، با استفاده از مصالح آتلانتیس و اجرای لایه‌های زهکش بر روی آن و ذخیره‌سازی آب جمع‌آوری شده در شبکه می‌باشد. با این روش، امکان جذب و نفوذ، انتقال و ذخیرهٔ آب فراهم می شود و سطح مفید معابر شهری افزایش یافته و همچنین از انتقال و انباشت آلودگی نیز جلوگیری می‌شود. قرارگیری شهرک سجادیهٔ تهران در ارتفاعی پایین‌تر از بزرگراه بعثت و خیابان شهرزاد در جنوب و غرب آن باعث آب‌گرفتگی معابر شهرک در مواقع بارندگی می شود. پژوهش حاضر به روش توصیفی، تحلیلی انجام شده و با هدف بررسی نقش شبکهٔ زهکش صفحه‌ای، کانال و مخازن اکولوژیک به عنوان رویکردی نوین در ارتباط با کنترل و مدیریت رواناب سطحی در شهرک سجادیهٔ تهران مورد مطالعه قرار داده است.

کلید واژه‌ها: مدیریت رواناب سطحی، آتلانتیس، شبکهٔ زهکش مسطح، کانال و مخازن اکولوژیک، شهرک سجادیه

۱- مقدمه

از ویژگی‌های بارز مناطق شهری پیچیدگی فرایندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی است (رستمی خلج و همکاران ۱۳۹۱، ص. ۸۳). امروزه همراه با پیشرفت جوامع و توسعه حریم شهرها، سطوح غیرقابل نفوذ آن‌ها افزایش یافته و موجب افزایش ارتفاع و حجم رواناب شده است. به طوری که تولید رواناب اراضی شهری، نسبت به اراضی بکر و طبیعی ۲ تا ٦ برابر بیشتر است (لطفی و جعفری، ۱۳۹۰، ص. ۲۸٦). فقدان شبکه‌های فاضلاب شهری و عدم پیش‌بینی‌های لازم در طراحی

* نویسنده عهده دار مکاتبات:

شهری مبتنی بر ایجاد شبکهٔ جمع‌آوری آب‌های سطحی با عرض و شیب مناسب جهت هدایت آب‌های سطحی (سلوکی، ۱۳۹۲، ص. ۱)، و نیز عدم تخلیهٔ مناسب رواناب ناشی از بارش‌های شهری، امکان سیلاب را در سطح شهر افزایش داده است (آذرپور، ۱۳۹۳، ص. ۱). بنابراین کنترل وقایعی مانند آب‌گرفتگی معابر، اختلال در سیستم عبور و مرور، آلودگی منطقه به واسطهٔ جاری شدن رواناب آلوده، سیل‌زدگی مناطق مسکونی و تأمین امنیت جانی، مالی و روانی شهروندان همواره دغدغهٔ خاطر طراحان و برنامه‌ریزان شهری و مهندسین آب بوده است. آب‌گرفتگی معابر شهری به علت لبریز شدن شبکهٔ مرکب جمع‌آوری آب و فاضلاب و عدم ظرفیت مناسب هیدرولیکی آن و دفع آب‌های سطحی که خود ناشی از وقوع رگبارهای شدید در سطح شهر می‌باشد، اتفاق می‌افتد. در این وضعیت، خیابان‌ها و پیاده‌روها و خانه‌های واقع در اراضی کم‌ارتفاع و نقاط گود بزرگراه‌ها غرقاب می‌شوند (فلاح تفتی و شریفی، ۱۳۸٦، ص. ۱). البته این امر می‌تواند نیاز بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و صنعت را در فصول کم آبی تا حد زیادی تأمین نماید (وینار و همکاران، ۲۰۰۷، ص. ۱۰۵۸). ایده‌های نوین در زمینه کنترل رواناب در مناطق شهری در قرن‌های ۱۹ و ۲۰ متداول شد که مبتنی بر تخلیه و دفع سریع سیلاب و به فواصل هر چه دورتر می‌باشد. سامانه‌های زهکشی و شبکه‌های آب سطحی با پوشش سخت با این هدف احداث می‌شوند تا سرعت جریان را زیادتر نموده و توان تخلیهٔ سیلاب را افزایش دهند (بوتلر و دیویس، ۲۰۰۲، ص. ۹۷). اما عدم طراحی صحیح، اشباع شدن سریع شبکه، به علت توسعهٔ شهری، عدم بهره‌برداری و نگهداری مناسب باعث می‌شود که شبکه در اکثر موارد قادر به ایفای صحیح وظایف خود نبوده و با کوچک‌ترین بارندگی معابر و کوچه‌ها دچار آب‌گرفتگی شوند (تاج بخش و خداشناس، ۱۳۹۱، ص. ۱۱۰). ایران از جمله کشورهای است که با دو مسئله کمبود آب و طغیان آب مواجه است. اغلب در یک مدت کوتاهی از سال، طغیان و فراوانی آب ایجاد مسئله می‌کند (کردوانی، ۱۳۹۰، ص. ۸۲). شهر تهران با جمعیت بالغ بر ۵,۷ میلیون نفر، یکی از پرجمعیت‌ترین شهر دنیا است. (تجریشی و همکاران، ۱۳۹۱، ص. ۳۰). این شهر در دامنهٔ جنوبی رشته کوه البرز با ارتفاع متوسط ۱۰۵۰ متر از سطح دریا و با شیب مناسب به جنوب امتداد دارد. میزان بارندگی در شهر تهران، سالیانه به طور متوسط ۲۳۵ میلی‌متر بوده و با توجه به وسعت حدود ۷۰۰ کیلومترمربع تقریباً ۱٦۵ میلیون متر مکعب آب روان در این شهر جریان و از نظر زمین لرزه جزء مناطق پر زیان محسوب می گردد (مختارپور و همکاران، ۱۳۸۹، ص. ۲). با توجه به این مهم، راهکارهای متناسب با محوریت توسعهٔ پایدار در زمینهٔ مدیریت منابع آب مطرح شده است. متدولوژی شرکت آتلانتیس با تکیه بر جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تغذیه‌های زیرزمینی و استفاده مجدد از آب بارندگی، به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین و بهینه‌ترین روش‌ها، طی ۲۵ سال گذشته در بسیاری از کشورها، راه‌گشای مشکلات این عرصه بوده است. اصول طراحی چنین سیستمی، بر این واقعیت استوار است که به توان از رواناب‌های حاصل از بارندگی در محل بارش برای تغذیهٔ مجدد سفره‌های زیرزمینی استفاده کرده و علاوه بر این مقداری از آب را نیز برای مصارف عمومی ذخیره نمود. این سیستم مبتنی بر استفاده از محصولاتی در عنوان CVF می‌باشد. سلول‌های CVF ورقه‌ای برای زهکشی سطحی و زیرسطحی و سلول‌های CVF مکعبی برای کانال‌ها و مخازن اکولوژیک ذخیره و نفوذ مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش بررسی می گردد که آیا روش آتلانتیس به عنوان نوین ترین رویکرد مدیریت رواناب سطحی توانسته در شهرک سجادیه تهران مثمر به ثمر واقع شود؟

۲- اهمیت پژوهش

از خصوصیات شهرهای بزرگ در کشورهای توسعه‌نیافته این است که با دارا بودن سطوح وسیعی از انواع روسازی بتنی، آسفالتی و زیربنای ساخته شده، نفوذپذیری محیط در برابر بارش‌های جوی به شدت کاهش و باعث می شود که حجم عظیمی از رواناب را در سطح شهر ایجاد کنند. روش سنتی به رواناب‌های شهری مبتنی بر جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی به پایین دست شهر است. جمع‌آوری معمولاً از طریق کانال‌های روباز انجام شده و معمولاً در پایین دست به نهرها و رودخانه‌ها هدایت می‌شوند. از دیگر سوء شهرهای بزرگی که در مناطق خشک واقع هستند، همواره با کمبود منابع آب برای مصارف خانگی و مصارف تجاری مواجه هستند. این مسئله خود سبب می‌شود که با برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی، منابع آب‌های زیرزمینی با تهدید جدی مواجه شوند. بدین‌ترتیب ملاحظه می‌شود که به عنوان مثال شهری مانند تهران با جمعیت بالغ بر ۵,۷ میلیون نفر از پرجمعیت‌ترین شهرهای دنیا است که از یک طرف با افت سفره‌های آب زیر زمینی روبرو است و از طرف دیگر با حجم بالایی از رواناب که باید دفع و از محیط شهری خارج شود. علاوه بر این باید توجه داشت که مسئله آب‌های زیرزمینی خود یک پدیده چند وجهی است. روش پیشنهادی آتلانتیس در واقع یک راهکار خلاقانه و جامع است که سعی در حل هر دو مشکل فوق دارد. به لحاظ مفهومی سیستم پیشنهادی آتلانتیس (استفاده از کانال‌ها و مخازن اکولوژیک)، مبتنی بر تغییر ریشه‌ای رویکرد جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی به رویکرد مدیریت جامع بو بهره‌برداری از آب‌های سطحی است.

۳- فرضیهٔ پژوهش

به نظر می‌رسد، بتوان با بهره‌مندی از فنون جدید، بر کل یا بخشی از این مشکلات غلبه نمود. در صورتی که روش‌های جدید، در کاهش هزینه‌ها و سرعت اجرا مؤثر باشند و یا براساس اهداف و نیازهای شهری، عملکرد مناسب‌تری نسبت به روش‌های سنتی داشته باشند، توجه مدیران و برنامه‌ریزان شهری را به خود معطوف می‌نمایند. از این منظر، تجربیات جهانی، بررسی شده و ایدهٔ جدید آتلانتیس، به عنوان یک راهکار مناسب برای شهرک سجادیه مورد توجه قرار گرفته است.

٤- پیشینه پژوهش

در میان پژوهشگران و متخصصان علوم مختلف به اشکال گوناگون کوشیده شد به نوعی برای حل مشکل رواناب سطحی شهری چاره‌جویی شود. شاعری و همکاران (۱۳۹۲)، به مطالعهٔ ضرورت بهره‌گیری از رویکرد نوین سیستم زهکش شهری پایدار در طرح‌های ساماندهی رواناب سطحی شهرها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که به سبب عواملی مانند فقدان آگاهی لازم نسبت به مبانی طراحی سیستم‌های زهکش شهری پایدار، میزان موفقیت و هزینهٔ اجرای آن‌ها، کاربست چنین روش‌هایی در کشورمان هنوز مورد توجه واقع نشده است. طباطبایی قمشه (۱۳۹۱)، در تحقیقی به مدل‌سازی طرح جدید آتلانتیس در حوزه آبریز سرافرازان مشهد پرداخت. دو حالت اصلی برای احداث شبکهٔ زهکش آتلانتیس مطرح شد (شبکه براساس مقاطع با ابعاد طرح مصوب شهرداری و شبکه بر اساس اندازه مقاطع کانالهای خاکی موجود). نتایج بدست آمده از هر دو گزینه نشان می‌دهد، شدت موج سیلاب بیش از ٤٠ درصد کاهش و زمان تمرکز بیش از ۷۰ درصد افزایش دارد. بیش از ٤٠ هزار متر مکعب آب تصفیه شده نیز در انتهای شبکه، قابل ذخیره‌سازی می‌باشد. تحلیل هزینه‌های دو گزینهٔ مذکور

نشان می‌دهد، برای یک دورهٔ ۱۰ ساله، گزینهٔ دو نسبت به گزینهٔ یک نسبت برتری اقتصادی دارد. بزی و همکاران (۱۳۸۹)، به نقش مدیریت کاربری اراضی در کاهش سیل‌گیری شهر قوچان پرداختند و به این نتیجه رسیده‌اند که با مدیریت صحیح در اختصاص کاربری اراضی مناسب هر منطقه به وسیلهٔ شناخت نماگرهایی نظیر توپوگرافی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و غیره، از نظر سیل‌گرفتگی می‌توان خسارت ناشی از سیلاب‌های شهری را در شهر قوچان به حداقل رساند. قهرودی تالی (۱۳۸۸)، در تحقیقی به کاربرد مدل یکپارچهٔ سیلاب شهری در شمال شرق تهران پرداخت و نتیجه گرفت که مدیریت سیلاب شهری در تهران بدون توجه به عناصر هیدروژئومورفولوژیکی و کالبد شهری امکان‌پذیر نمی‌باشد و با به کارگیری مدل یکپارچه سیلاب شهری امکان حضور تمام شاخص‌ها در واحدبندی مدیریتی عملی می‌باشد. هاپکینز و آرگو (۱۹۹۳)، در حومه شهر آدلاید استرالیا، برای جمع‌آوری رواناب سطحی از یک محدوده به وسعت ۱۲۰۰ متر مربع، مسیرهای درشت دانه را پیشنهاد نمودند. اساس این ایده، بر نفوذ آب از مسیر درشت دانه به داخل سفره آب زیرزمینی بود که در عمق ۳۰ متری از سطح قرار داشت و در زمان نیاز، به کار می‌رفت.

۵- روش تحقیق

روش تحقیق، مجموعه‌ای از قواعد، ابزار و راه‌های معتبر و نظام یافته برای بررسی واقعیات، کشف مجهولات و دستیابی به راه حل مشکلات است (خاکی، ۱۳۷۸، ص. ۲۰۱). روش تحقیق در مقالهٔ حاضر از نظر هدف، از نوع تحقیقات کاربردی و به لحاظ ماهیت، از نوع تحلیلی و توصیفی می باشد. گردآوری اطلاعات به روش اسنادی و میدانی است. اطلاعات پایه‌ای پژوهش از طرح مدیریت آب‌های سطحی شهرک سجادیه تهران که توسط شرکت ماناصنعت به همّت شهرداری تهران و مهندسین مشاور طرح و سازه کاسپین در تابستان سال ۱۳۸۸ انجام شده است، گرفته شده‌اند. تمامی نقشه‌ها در محیط ArcGIS10.1 با سیستم تصویر UTM برای کلیهٔ نقشه‌ها انتخاب و نقشه‌های رستری با پیکسل ۲۵×۲۵ متر تهیه شده‌اند.

٦- مبانی نظری

٦-۱- رواناب سطحی شهری:

رواناب سطحی حاصل از رگبار، مهم‌ترین پارامتر برای روندیابی جریان آب در طول یک کانال، سیستم زهکشی و یا در آبراهه‌های طبیعی است (کلرک، ۱۹۹۷، ص. ٤١٣) سیلاب شهری همان آب‌گرفتگی اراضی و مساکن در مناطق پرجمعیت است (چنسون و همکاران، ۲۰۱٤، ص. ۱). سیل‌گیری شهرها حاصل دو دسته اقدامات است که توسط شهرنشینان صورت پذیرفته است؛ اولاً: استقرار بافت‌های قدیمی برخی از شهرها در حاشیه رودخانه‌ها، دوماً: زمانی شهرها بر روی اراضی توسعه می‌یابند که به علت نفوذناپذیری بسیار مناسب، فاقد شبکهٔ جریانات سطحی مشهودی می‌باشند. بنابراین آب‌های حاصل از بارندگی قادر به نفوذ در زمین نشده و ابتدا در نواحی پست و گودی‌های سطح شهر جمع شده و سپس به صورت جریاناتی در سطح معابر درآمده و به طرف محلات پست‌تر جریان می‌یابند. این‌گونه جریانات می‌توانند خسارات زیادی به ساخت و سازها و تأسیسات شهری وارد آورند (تقوایی و سلیمانی،۱۳۹۰، ص. ٦٧).

٦-٢- نحوهٔ دفع آب‌های سطحی و آب باران در شهر و معابر آن:

با توجه به شرایط جغرافیایی و اقلیمی ایران در فصول پاییز و زمستان و گاهی هم در بهار نزولات جوی در مناطق مختلف کشور اتفاق می‌افتد، این نزولات به صورت برف یا باران بوده که دارای اهمیت زیادی می‌باشند؛ در مناطقی باعث حاصل‌خیزی خاک و در پهنه‌های منجر به آب‌گرفتگی می‌شود. عمده مشکل آب‌گرفتگی در مناطق شهری مخصوصاً در کلان شهرها دیده می‌شود که برخی دلایل آن جمعیت زیاد ناشی از مهاجرت به سمت کلان شهرها و پایتخت می‌باشد؛ جمعیت زیاد، وسایل نقلیه، ترافیک، زباله‌های رها شده در سطح شهر و شیب نادرست معابر هنگام بارندگی می‌باشد. در تهران؛ زباله بیشترین عامل در آب‌گرفتگی معابر به شمار می‌رود. با وجود رسوب‌گیری‌هایی که در طول سال انجام می‌شود باز هم درصد بالایی از آب‌گرفتگی‌ها در شهر تهران بر اثر ریختن زباله در نهرها ایجاد می‌شود (معتقدالحق، ۱۳۹۲). می‌باید مسیل‌ها و جوی‌ها و کانال‌های آب باران در یک شهر به صورت هماهنگ شده‌ای با هم کار کنند تا در مواقع حاد سیلابی بتوانند حجم بزرگ آب‌های سطحی را بدون آن که صدمه‌ای به شهر بزند از خود عبور دهند. دفع آب‌های سطحی آب باران در شهر نیاز به بررسی‌های معینی دارد به این معنی که در وهلهٔ اول می‌باید اطلاعات مربوطه به حجم دقیق آب باران و تغییرات آن در یک شهر جمع‌آوری شود و سپس حجم مسیل‌ها و جوی‌ها نیز برداشته شوند و این دو به صورت مشخص با هم مطابقت داده شوند (مجتهدزاده، ۱۳۹۱، ص. ۱۹۵).

٦-٣- نقش شیب در برنامه‌ریزی شهری:

مجموعهٔ ناهمواری‌های سطح زمین به طور عمده از سه عنصر تشکیل شده که عبارتند از: خط الرأس، خط القعر و سطح شیب‌دار بین آن‌ها یعنی دامنه. عنصر شیب یا دامنه که در همه اشکال ماکرو و میکرو، ولو به صورت اندک، وجود دارد، یکی از مهم‌ترین عوامل تغییر و تحول ناهمواری‌های سطح زمین به شمار آمده و به این ترتیب در زندگی انسان و فعالیت‌های وی بطور مستقیم یا غیرمستقیم اثر می‌گذارد. به طور کلی در طراحی و برنامه‌ریزی شهری به ویژه هنگام ارائه طریق برای ساخت خیابان‌های جدید باید به نکاتی توجه نمود. جهت خیابان نباید عمود بر جهت شیب باشد. بلکه با جهت شیب امتداد خطوط تراز زاویه ای منفرجه یا جاده درست کند. چرا که در صورت عمود بودن اولاً شیب خیابان زیاد خواهد شد و لذا حمل‌ونقل شهری به کندی و با اتلاف انرژی و وقت زیاد انجام می‌گیرد، دوماً اضلاع جنوبی خیابان‌ها اغلب از آب، برف و یا یخ انباشته می‌شود. ظرفیت تخلیه کانال‌های کنار خیابان و شبکهٔ فاضلاب شهری (اگو) باید از رأس شیب به سمت قاعده افزایش داده شود. با رعایت این نکات و سایر موارد می‌توان بر روی دامنه های شیب‌دار، بالاخص در شهرهای پایکوهی ایران، آمد و شد نسبتاً کارآمد و کم خطر را تأمین نمود (زمردیان، ۱۳۹۱، صص. ۲۵– ۲۹). شیب بیشتر از آن جهت مورد توجه است که آب باران در سطح خیابان باقی نماند. شیب خیابان‌ها معمولاً ۵٪ است و این در مورد طول خیابان است ولی به ملاحظات توپوگرافی شاید لازم آید شیب خیابان‌های اصلی بین ٦ تا ۷ درصدو خیابان‌های فرعی ۱۰ تا ۱۲ درصد باشد. عرض خیابان آسفالت نیز معمولاً ۱/۵ تا ۲ درصد است (شیعه، ۱۳۹۱، ص. ۱۷۵).

٦-٤- شبکهٔ زهکش، هدایت و جمع‌آوری رواناب‌های شهری:

شبکه‌های زهکش مسطح و سلول‌های CVF، می‌توانند عملکردهای متنوعی را در سطح و حاشیه معابر، پیاده‌روها و پارکینگ‌ها داشته باشند. عملکرد آن شامل زهکشی سطح سواره‌رو یا شانه راه به سمت کانال‌ها و مخازن و ایجاد کانال‌های

سرپوشیده CVF در طرفین معابر می‌باشد. با سرپوشیده شدن کانال‌های طرفین معابر علاوه بر افزایش ایمنی و کاهش آلودگی، عرض مفید معبر به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد که به فضای سبز اختصاص می‌یابد.

شکل ۱: موقعیت شبکهٔ زهکش مسطح و مخازن CVF؛ مأخذ: بازسازی نگارندگان از شرکت ماناصنعت، ۱۳۹٤

٦-٥- مخازن نفوذ، ذخیره‌سازی و استفاده مجدد از آب باران:

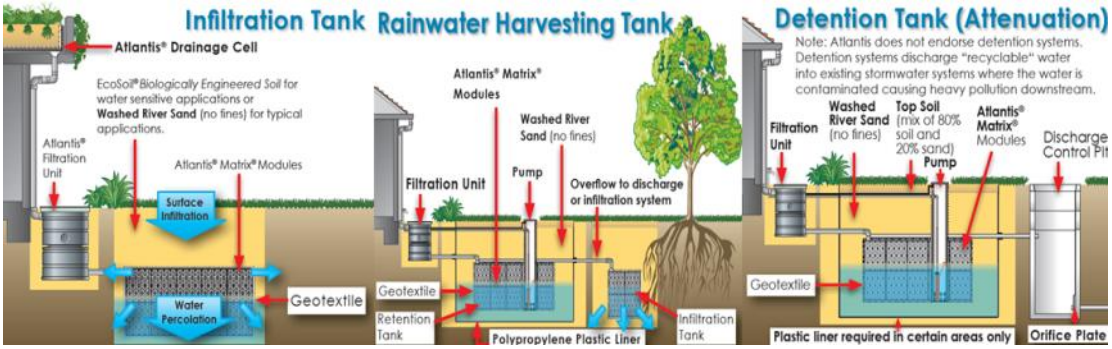
مخازن نفوذ، ذخیره‌سازی و استفاده مجدد یا همان مخازن CVF با هدف جمع‌آوری، تغذیهٔ سفره‌های زیرزمینی، ذخیره رواناب‌ها در سطوح شهری و ذخیرهٔ آب مازاد بر مصرف گیاهان و فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

وجود سطوح نفوذ پذیر در مدل‌های CVF، جذب رواناب‌ها از سطوح بالایی و کنار صورت می‌گیرد. بخشی از این آب در محل دریافت به زمین نفوذ و مابقی در امتداد کانال‌های CVF هدایت می‌شود. از مزایا این سیستم ذخیره‌شدن آب هدایت شده در مخازن ذخیره یا تعدیل کننده است. مخازن CVF متناسب با حجم رواناب به دو حالت طراحی می‌شوند:

الف) مخازن تأخیر و نفوذ آب باران: در مخازن نفوذی از ژئوتکستایل برای پوشش خارجی مخزن استفاده می‌شود که اجازهٔ نفوذ تدریجی آب جمع شده را به درون خاک می‌دهد. انواع مختلف ژئوتکستایل‌ها برای وظایف مختلفی از قبیل جداسازی، فیلتراسیون، محافظت و زهکشی در دامنهٔ متنوعی از پروژه‌های عمرانی مانند راه و راه‌آهن، روسازی راه و فرودگاه، سازه‌های نگهبان، کانال‌ها و حوضچه ها، کنترل فرسایش و تثبیت بستر، مهندسی رودخانه و کارهای دریایی به کار می‌روند.

ب) مخازن ذخیره و استفاده مجدد آب باران: در مخازن ذخیرهٔ استفاده مجدد از لایه عایق ژئوممبرین برای نگهداری آب درون مخزن استفاده می‌شود. از ژئوممبرین PVC در پروژه‌های مختلف ایزولاسیون از قبیل مخازن آب، آب‌بندی بدنهٔ سدها، تونل‌های تحت فشار انتقال آب، تونل‌های مترو، تونل‌های شهری و بین شهری، آب‌بندی استخرهای شنا و بام ساختمان‌ها استفاده می‌شود (شرکت ماناصنعت ایران، ۱۳۸۹). سیستم مخزن نفوذ راه‌حلی ایده‌آل برای مدیریت رواناب سطحی در شرایط نفوذپذیر و یا نیمه نفوذپذیری خاک است. این سیستم برای گرفتن آب‌های سطحی شهری از طریق نفوذ، پاک‌سازی و فیلترسازی آن برای استفاده دوبارهٔ آب و فراهم آوردن منبع آبی برای پوشش گیاهی است. سیستم استفاده مجدد از آب باران آتلانتیس، در ارائه منبع آبی تمیز به طور منظم برای برنامه‌های کاربردی تجاری و خانگی مؤثر بوده است. جذب آب در این روش از دو صورت انجام می‌پذیرد؛ از منطقه باغ (نفوذ سطحی) و دیگری از پشت‌بام خانه‌ها (آتلانتیس فیلتر شده). آب

پاک در زیرزمینی سرد و در درون یک منطقهٔ ذخیره‌سازی به دور از گرما و پرتوی مضری، برای استفاده مجدد نگهداری می‌شود. از خصوصیات این سیستم انعطاف‌پذیری، صرفه‌جویی در زمان نصب و راه‌اندازی می‌باشد. آب گرفته شده از پشت‌بام‌ها و مناطق هموار از طریق واحد فیلتراسیون آتلانتیس قبل از ورود به منطقه ذخیره‌سازی فیلتر شده و سپس آن را به آرامی از طریق واحد کنترل به داخل مخزن هدایت می‌کند (شرکت آتلانتیس، ۲۰۱٤).



شکل۲: موقعیت مخازن ذخیره‌سازی و استفاده مجدد از آب باران؛ مأخذ: شرکت آتلانتیس، ۲۰۱٤

٦-٦- جایگزینی کانال‌های روباز موجود با کانال‌های سرپوشیده:

کانال‌های آتلانتیس به خوبی هم‌ساز با طبیعت کار کرده و ایرادات بزرگی را که کانال‌های معمول بتنی در شهرها در بردارند مرتفع می‌سازد. بنابر سیستم پیشنهادی آتلانتیس کانال‌های بتنی روباز انتقال آب با کانال‌های سرپوشیده که با استفاده از قطعات مدولار در محل ساخته می‌شوند، جایگزین می‌شوند. یعنی علاوه بر ذخیره و استفاده بهینه از آب‌های سطحی، ضمن بهبود چشم‌انداز، ارتقای ایمنی و کاهش آلودگی محیطی، عرض مفید معابر نیز افزایش می‌یابد.

٦-۷- مدیریت آب سطحی در زمین های ورزشی و فضاهای سبز:

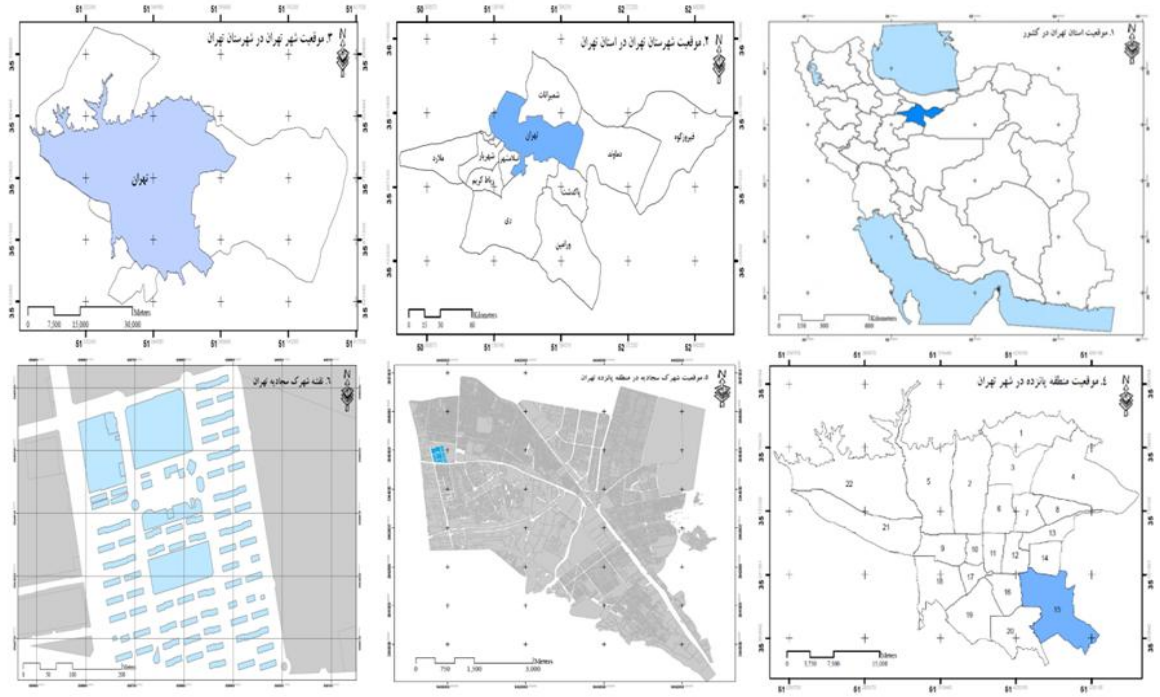
عدم نفوذ و جذب بهینه آب بواسطه عدم استفاده از مصالح زهکش مناسب بویژه هنگام بارشهای شدید و درازمدت و در پی آن جمع شدن حجم زیادی از آب بر روی سطح زمین های ورزشی و فضاهای سبز، همواره به عنوان یکی از معضلات اصلی پیش روی دست اندرکاران حوزه ورزش مطرح بوده است. در حالی که سیستم پیشنهادی آتلانتیس با اجرای زهکش سه بعدی در سرتاسر سطح، نه تنها از انباشته شدن آب حتی هنگام بارش‌های شدید جلوگیری می‌کند؛ بلکه امکان جمع‌آوری، ذخیره و استفادهٔ مجدد از آب باران به منظور آبیاری چمن و فضای سبز را نیز فراهم می‌آورد. با استفاده از محصولات CVF شامل شبکهٔ زهکش سه بعدی جهت زهکشی و مدل‌های مکعبی جهت هدایت و ذخیره‌سازی و استفادهٔ مجدد از آب امکان پذیر می‌باشد (شرکت ماناصنعت ایران، ۱۳۸۹).

۷- مواد و روش‌ها

۷-۱ موقعیت جغرافیایی:

شهرک سجادیه از نظر مختصات جغرافیایی بین″٤۹ ′۳۸ °۳۵ عرض شمالی و″۲۲ ′۲٦ °۵۱ عرض شرقی واقع شده است. این شهرک در محلهٔ شهید مطهری و شمال غرب منطقه ۱۵ و جنوب شرق تهران بزرگ واقع است که از شمال با

محله بیسیم (در شرق)، محله مظاهری (در غرب) و منطقه دوازده شهرداری، از شمال غرب بـا منطقـۀ چهـارده، از جنـوب بـا بزرگراه بعثت و محله کیانشهر شمالی، از شرق و شمال شرق با خیابان شهید انور زاده، کوی مینـابی و منطقـه دوازده و نهایتـاً از غرب با خیابان شهید رجب‌نیا (شهرزاد) و مناطق صنعتی جنب خیابان فداییان اسلام منطقۀ شانزده محـدود مـی‌شـود. نقشـۀ شماره یک، موقعیت جغرافیایی شهرک سجادیه را نشان داده است.



شکل ۳: نمایش موقعیت محدوده مورد مطالعه؛ مأخذ: ترسیم نگارندگان، ۱۳۹٤

۲-۷ طبقات ارتفاعی شهر تهران:

با نگاهی اجمالی به نقشۀ توپوگرافی کلان‌شهر تهران، می‌توان چهار منطقۀ مورفولوژیک خاص را مشاهده نمود:

- اولین منطقه: ارتفاعات البرز مرکزی به ویژه کوهستان شمیرانات که دیواره‌های شمالی تهران بزرگ را تشکیل می‌دهد؛
- دومین منطقه: پایکوه‌های جنوبی البرز که به دره‌های کوهستانی و تپۀ ماهوره‌ای پراکنده ختم می‌شود؛
- سومین منطقه: سایت و نشست‌گاه کنونی شهر که گسترۀ شهری منطقه را تشکیل می‌دهد؛
- چهارمین منطقه: کمربند جنوبی تهران که به مثابه دشتی حاصـل‌خیـز زمـین‌هـای همـوار شـهریار و ورامـین را شـامل می‌شود.

مناطق ۲۲ گانه تهران در ارتفاع رقومی بین ۱۰۵۰ تا ۱۸۵۰ متر واقع هستند و در نقشۀ ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیـایی کشـور این محدوده به عنوان چهارگوش تهران معرفی شدند که در راستای شمیرانات به طـرف غـرب دره کـن و بـه طـرف جنـوب محدوده‌ای که بیش از ٦٦٥ کیلومترمربع می‌رسد، معرفی می‌کند، به طوری که اخـتلاف ارتفـاع شـمال تهـران (از منطقـۀ ۵) تـا

جنوب تهران (منطقهٔ ۲۰) حدود ۸۰۰ متر می‌رسد. از این‌رو دشت تهران علی‌رغم طبیعت کوهپایه‌ای و پای‌دامنه‌ای خود تغییر شیب‌های سریع و پلکانی را که نتیجهٔ جابجایی آبرفت‌های تهران در اثر فعالیت‌های گسل‌ها می‌باشد، از خود بروز داده است.

۷-۳ طبقات شیب شهر تهران:

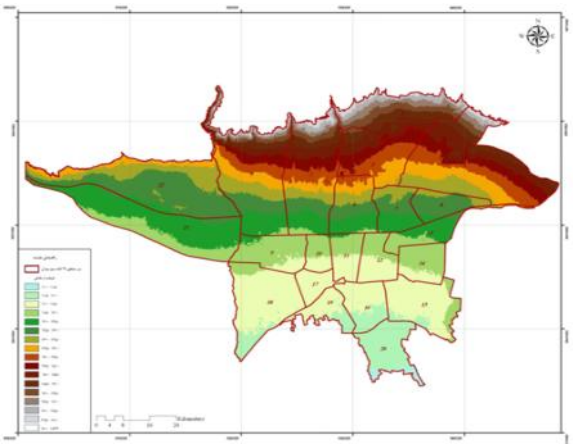
از نظر شیب نیز نیمرخ شمالی، جنوبی تهران به چهار منطقه تقسیم می‌شود:

۱- دامنه‌های کوهستانی شمیرانات با شیب متوسط ۱۰ تا ۱۵ درصد؛

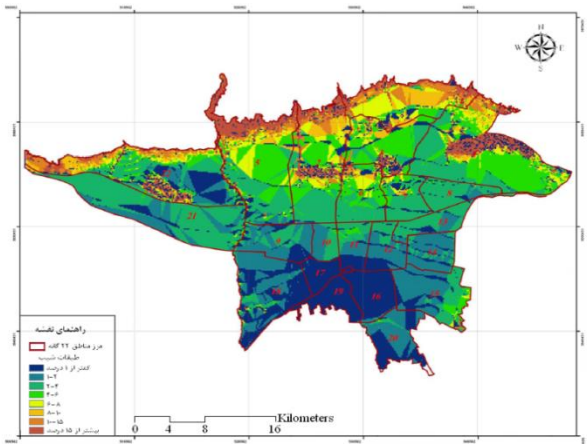
۲- حد فاصل عباس آباد تا خیابان انقلاب با شیب متوسط ۳ درصد؛

۳- از خیابان انقلاب تا نزدیکی شهر ری با شیب متوسط ۲ درصد؛

٤- از شهر ری تا ورامین با شیب ملایم ۱ درصد.



شکل ٤: پراکنش طبقات ارتفاعی در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران



شکل ٥: پراکنش طبقات شیب در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

مأخذ: بازسازی نگارندگان از طرح مطالعات تطبیقی سیستم خدمات شهری شهرداری تهران، ۱۳۹٤

۷-٤ طبقات اقلیمی شهر تهران:

با توجه به اطلاعات موجود و اهداف مطالعاتی، از فرمول‌های اقلیمی جهت تقسیم‌بندی اقلیمی محدودهٔ مطالعاتی استفاده شده است. فرمول‌های اقلیمی توابعی هستند که در آن‌ها دو یا چند عنصر اقلیمی بکار رفته و بر حسب مقادیر عددی که برای یک منطقه بدست می‌آید، نوع آب و هوای آن منطقه مشخص می‌شود. از میان این روش‌ها، روش دومارتن به اختصار شرح داده می‌شود و سپس با محاسبهٔ این ضرایب اقلیم ایستگاه مشخص می‌شود.

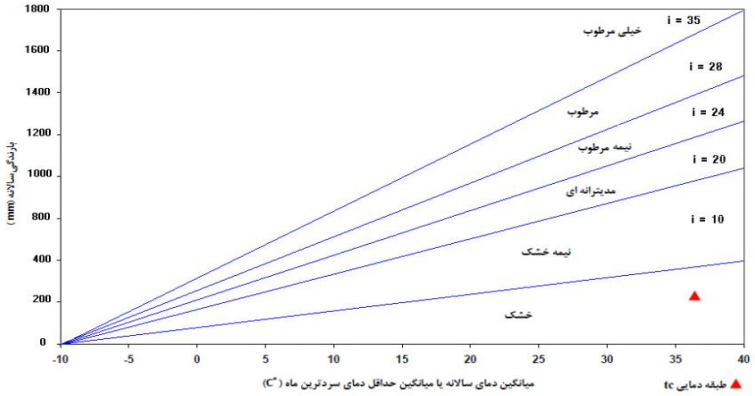
ضریب خشکی دمارتن از رابطه $I=P/T+10$ بدست می‌آید. در این رابطه P مقدار بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر و T متوسط درجهٔ حرارت سالانه برحسب سانتیگراد است. ضریب خشکی دمارتن (I) با بارندگی سالانه نسبت مستقیم و با درجهٔ حرارت سالانه نسبت عکس دارد. بنابراین بزرگ بودن I دلیل بالا بودن رطوبت و کم شدن آن معرف خشک بودن منطقه است. در این روش، شش نوع اقلیم مشخص شده که با توجه به مقدار I از جدول شمارهٔ ۲ نوع اقلیم تعیین می‌شود.

جدول ۱: تقسیم‌بندی اقلیم به روش دومارتن

نوع اقلیم	ضریب خشکی
خشک	I < ۱۰
نیمه خشک	۱۰ < I < ۱۹,۹
مدیترانه ای	۲۰ > I > ۲۳,۹
نیمه مرطوب	۲۷,۹ > I > ۲٤
مرطوب	۲۸ > I > ۳٤,۹
بسیار مرطوب	I > ۳۵

مأخذ: کتاب اصول هیدرولوژی کاربردی، مأخذ: علیزاده، ۱۳۹۲

برای شهر تهران ضریب خشکی دومارتن محاسبه (۸,٦۲) و براساس جدول ۲ منطقه دارای اقلیم خشک می‌باشد.



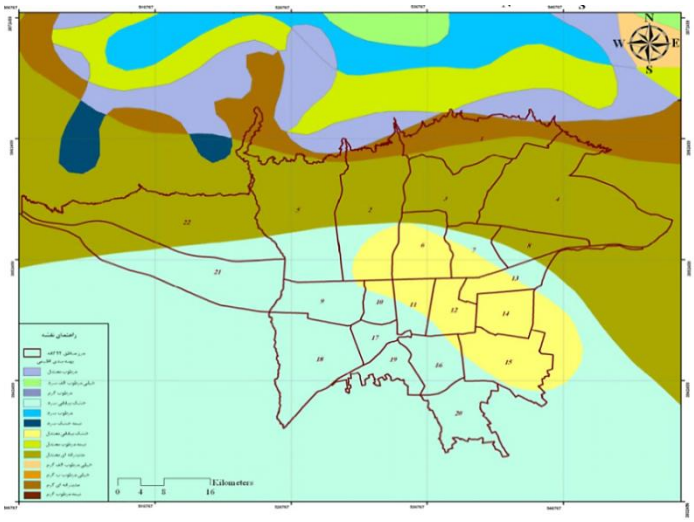
شکل ٦: نمودار اقلیمی دومارتن؛ مأخذ: ترسیم نگارندگان، ۱۳۹٤

همچنین جدول شمارهٔ ۲ پهنه بندی اقلیم در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران را به روش دومارتن اصلاح شده نشان می‌دهد. همان‌گونه که در نقشهٔ شمارهٔ ٤ نیز نشان داده شده است، در این روش پهنهٔ غالب شهر تهران، مدیترانه‌ای معتدل در محدوده شمال، شمال غرب و شمال شرق تهران (قسمت اعظم مناطق ۲، ۳، ٤، ۵ و ۲۲) می باشد که ۳٤.٤۲ درصد مساحت تهران را به خود اختصاص داده است و پس از آن پهنهٔ خشک بیابانی سرد با ٦۹.۳۵ درصد مناطق جنوبی را در برگرفته است.

جدول۲: تقسیم بندی اقلیم به روش دومارتن اصلاح شده

نوع اقلیم	مساحت (کیلومترمربع)	درصد
مرطوب معتدل	۱,۱۷	۰,۱۹
مدیترانه ای گرم	۲۷,٦۹	٤,۵۳
مدیترانه ای معتدل	۲۵۸,٦٦	٤۲,۳٤
خشک بیابانی سرد	۲۱۸,۰٦	۳۵,٦۹
خشک بیابانی معتدل	۱۰۵,۳٤	۱٤,۲٤

مأخذ: مطالعات تطبیقی سیستم خدمات شهری شهرداری تهران، ۱۳۸۸



شکل ۷: پهنه بندی اقلیم در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

مأخذ: بازسازی نگارندگان از مطالعات تطبیقی سیستم خدمات شهری تهران، ۱۳۹٤

۷-۵ بارندگی شهر تهران:

ریزش‌های جوی به دلیل ماهیت خود در رأس هرم عوامل مؤثر به تغذیهٔ منابع آب سطحی و زیرزمینی و ایجاد و حداکثر سیلاب‌ها در هر منطقه چه خشک و چه مرطوب قرار گرفته و دارای بیشترین اهمّیت و اثر بر منابع طبیعی است. بررسی ریزش‌های سالانه در منطقه با تکیه بر داده‌های موجود از ایستگاه مهرآباد تهران صورت گرفته است.

الف) بارندگی سالانه: بررسی بارندگی سالانه می‌تواند دیدگاهی کلی از میزان نزولات جوی و نوسانات آن ارائه دهد تا با استفاده از آن، امکان برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی را با دیدی واقع‌گرایانه و متکی بر پتانسیل‌های آبی فراهم نماید. مقادیر متوسط بارندگی سالانه به همراه شاخص‌های عمدهٔ آماری بارندگی سالانه در ایستگاه معرف منطقهٔ مطالعاتی نشان می‌دهد که در ایستگاه مهرآباد طی دوره ۲۸ ساله، میانگین بارندگی سالانه ۲۳۸,۹ میلی‌متر است و سال‌های ۷۵-۱۳۷٤ و ۷٦-۱۳۷۵به ترتیب با بارندگی ۳۵۳,٦ و ۹۲,۹ میلی‌متر، مرطوب‌ترین و خشک‌ترین سال‌ها بودند.

ب) بارندگی ماهانه: جدول شمارهٔ ۲ بارندگی ماهانهٔ ایستگاه سینوپتیک مهرآباد طی دورهٔ ۳۰ ساله را نشان می دهد که مقادیر ماهانهٔ بارش به همراه پارامترهای آماری در طی دوره شاخص در ایستگاه بیشترین بارندگی در اسفندماه ٤۹,٦ میلی‌متر معادل ۱۹,۵ درصد بارش و کم‌ترین بارندگی در شهریورماه ۰,۳ میلی‌متر که معادل ۰,۳ درصد بارش می باشد، گزارش شده است.

ج) بارندگی ماهانه: همان گونه که در جدول شمارهٔ ۲ نشان داده شده است، از مجموع بارندگی سالانه، مقدار٦۲,۲ میلی‌متر (۷۸ درصد) در نیمهٔ اول سال زراعی (پائیز و زمستان) و میزان ۱٦,۲ میلی‌متر (۲۰,۲درصد) در سه ماههٔ سوم (بهار) و بقیهٔ ۱,۵ میلی‌متر (۱,۹ درصد) نیز در فصل تابستان توزیع می‌گردد (مطالعات تطبیقی سیستم خدمات شهری شهرداری تهران، ۱۳۸۸).

جدول ۱: بارندگی ماهیانه و سالانه ایستگاه مهرآباد

ایستگاه	پاییز			زمستان			بهار			تابستان			سالیانه
	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	
ماهیانه (mm)	۱۱,۳	۱۷,۰	٤۰,۸	۳٤,۳	۳۷,٦	٤٦,۹	۲۸,۳	۱۵,۸	٤,۵	۲,۳	۱,٦	۰,٦	۲٤۰,۹
ماهیانه (٪)	٤,۷	۷,۰	۱٦,۹	۱٤,۲	۱۵,٦	۱۹,۵	۱۱,۷	٦,٦	۱,۹	۰,۹	۰,۷	۰,۳	۱۰۰,۰
فصلی (mm)	۲۳,۰			۳۹,٦			۱٦,۲			۱,۵			۸۰,۳
فصلی (٪)	۲۸,۷			٤۹,۳			۲۰,۲			۱,۹			۱۰۰,۰

مأخذ: مطالعات تطبیقی سیستم خدمات شهری شهرداری تهران، ۱۳۸۸

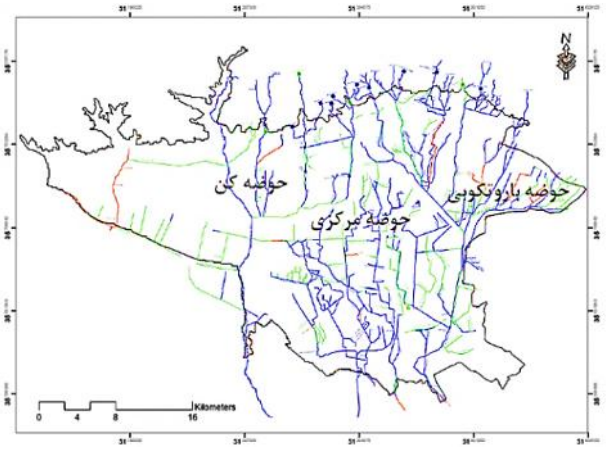
۷-٦ حوضه های آبریز شهر تهران:

کلیهٔ حوضه‌های آبریز سطحی شهر تهران را می‌توان به سه قسمت تقسیم نمود:

۱. **حوضه کن (زهکش‌های شمال غرب و غرب تهران)** : این حوضه در شمال غرب و غرب تهران در حد فاصل حوضه ولنجک و رودخانه کن واقع گردیده و شامل رودخانه‌های درکه، فرحزاد، وِسک، کن و چند مسیل کوچک مانند خشکه، عبدل آباد، بهرود، کانال‌های شاهین و تپه نیزار می‌باشد. رواناب کوهستانی حوضه کن به سیل برگردان غرب تهران منتهی و از آنجا به همراه رواناب منطقهٔ شمال غرب تهران و فاضلاب بعضی مناطق به رودخانه کن پیوسته و از آنجا به سمت جنوب هدایت می‌گردد. این زهکش‌ها، محدوده‌ای به مساحت ٤۱۵ کیلومتر مربع را زهکشی می‌کنند.

۲. **حوضه مسیل باروتکوبی (زهکش‌های شمال، شمال شرق و شرق تهران)**: بزرگ‌ترین حوضه‌های کوهستانی و شهری تهران می‌باشد که از شرق رودخانه درکه شروع و تا مسیل سرخه حصار در شرق تهران ادامه پیدا می‌کند. این حوضه شامل رودخانه‌های ولنجک، سعدآباد، دربند، گلابدره، جمشیدیه، کاشانک، دارآباد، سوهانک، رودخانهٔ سرخه حصار، کانال‌ها و مسیل‌های منطقه تهران‌پارس است. در این محدوده، کانال اصلی امتداد مسیل باختر، منوچهری و کانال ابوذر می‌باشد؛ که پس از یکی شدن از طریق مسیل باروتکوبی از شهر تهران خارج شده و وارد زمین‌های دشت ورامین می‌گردد، این زهکش‌ها محدوده‌ای به مساحت ۵۲۰ کیلومتر مربع را زهکشی می‌کنند.

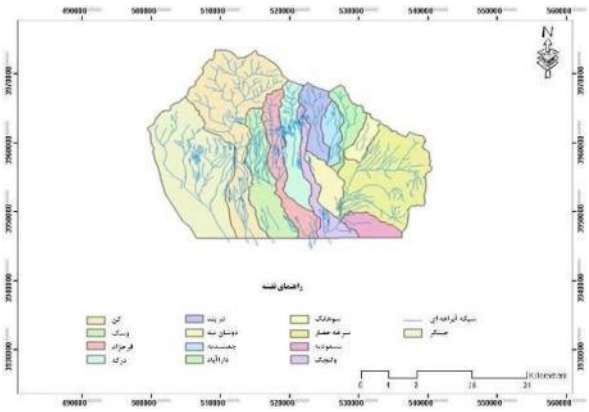
۳. **حوضه مرکزی شهر (زهکش‌های مرکز و جنوب شهر)**: این حوضه شامل تعدادی از کانال‌ها و تونل‌های قسمت مرکز و جنوب شهر تهران مانند تونل‌های خیام و نواب می‌باشد که برای زهکشی رواناب این بخش وجود دارند و در نهایت از طریق نهر فیروزآباد و کانال کبریت‌سازی و خروجی سوم به همراه فاضلابی که در آن‌ها تخلیه می‌شود از جنوب شهر تهران خارج می‌گردد. مساحت حوضه آبریز زهکش های محدودهٔ مرکزی حدود ۱۷۱ کیلومترمربع می‌باشد. کلیهٔ سیلاب‌های وارده از حوضه‌های کوهستانی شمال تهران از طریق دو مسیل سیل برگردان غرب و باروتکوبی در شرق تهران خارج و وارد قسمت مرکزی شهر نمی‌گردد. این شکل هیدروگرافی طبیعی، نقش بزرگی در کاستن از مشکلات سیلاب در مرکز شهر ایفا می‌کند. پس خطر سیلاب ناشی از طغیان رودخانه‌ها بیشتر برای قسمت‌های شمالی شهر به خصوص نقاطی که رودخانه‌ها و مسیل‌ها از کوه وارد کوهپایه و شهر می‌شوند، وجود دارد. در مورد قسمت‌های مرکزی شهر تهران نیز خطر سیلاب و آب‌گرفتگی معابر از نوع اشباع شدن شبکه زهکشی داخل شهر به علت شیب کم و عدم کفایت زهکش‌ها وجود دارد (معاونت هماهنگی و امور مناطق تهران، ۱۳۹۱).



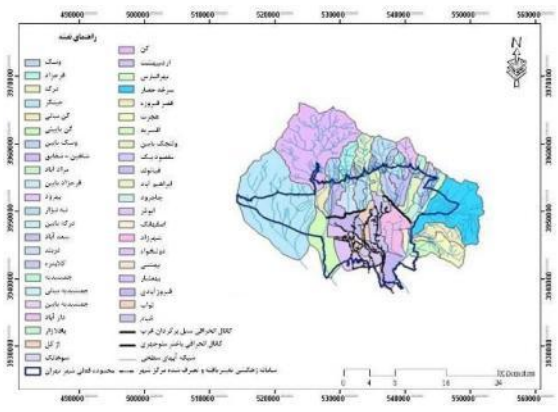
شکل ۸: حوضه های آبریز شهر تهران، مأخذ: ترسیم نگارندگان، ۱۳۹٤

۷-۷ شبکهٔ آبراهه شهر تهران

تهران دارای ۱۰ رود دره فصلی و دائمی می باشد که از کوهپایه به سمت دشت در جریان هستند. سیلاب‌های کوهستانی این رودخانه‌های فصلی به‌همراه آب‌های سطحی محدودهٔ شهری توسط شبکه‌ای از کانال‌ها و تونل‌های احداث شده و طبیعی که در داخل شهر وجود دارند، زهکشی می گردد. مسیل‌ها و کانال‌های زهکشی آب‌های سطحی تهران عبارتند از: رود دره کن؛ رود دره وسک؛ رود دره فرحزاد؛ رود دره درکه؛ رود دره ولنجک؛ رود دره های سعدآباد، دربند، گلابدره رود دره جمشیدیه؛ رود دره دارآباد؛ رود دره سوهانک، اردیبهشت، تهرانپارس؛ مسیل سرخه حصار یا باروتکوبی (محدوده مطالعاتی در این مسیل واقع شده دارد) (معاونت هماهنگی و امور مناطق تهران، ۱۳۹۱).



شکل ۹: حوضه‌های زهکشی قبل از توسعهٔ فعلی شهر تهران



شکل ۱۰: حوضه های زهکشی بعد از توسعهٔ فعلی شهر تهران

مأخذ: ترسیم نگارندگان، ۱۳۹٤

۱-۷-۷ شبکهٔ آبراهه منطقهٔ پانزده تهران

منطقهٔ پانزده در جنوب شرقی شهر تهران واقع است و از بلوار ابوذر حدفاصل ٤٥ متری آهنگ آغاز و تا بزرگراه دولت آباد منتهی می‌گردد. مسیل سرخه حصار دو ناحیه ۲ و ٤ منطقه پانزده تهران را تحت پوشش خود قرا می دهد. طول، عرض و ارتفاع کلیهٔ مسیل‌های اصلی در منطقه به ترتیب، ۳۰۰۰، ۱۰ و ٤ می باشند. مسیل‌های اصلی این منطقه شامل ابوذر، اصفهانک، شهرزاد، سرخه حصار جنوبی، مسعودیه و شهرداری می باشند و مسیل‌های فرعی منطقه را کانال ۳۵ متری

ولیعصر، سلیمانی، شیرازی پوشش می دهند. حوضه مسیل این منطقه را دولت آباد و دشت ورامین در بردارند. سرچشمه حوضه آبریز منطقهٔ پانزده تهران از مسیل ابوذر شروع می شود. نوع مسیل دائمی، نوع پوشش مسیل سرپوشیده و روباز بوده و جنس کف مسیل بتنی می‌باشد (معاونت هماهنگی و امور مناطق تهران، ۱۳۹۱).

۸-۷ پروژه جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی شهرک سجادیه:

روش‌های ترکیبی نفوذ، ذخیره و انتقال نیز فصل جدیدی در روش‌های مقابله با سیلاب و تأمین منابع آبی ایجاد نموده است. بارزترین این روش‌ها، روش آتلانتیس است که در بسیاری از کشورهای دنیا اجرا شده است. طرح مذکور، شامل اجرای یک شبکهٔ مجاری زیر سطحی، با استفاده از مصالح آتلانتیس و اجرای لایه‌های زهکش بر روی آن و ذخیره‌سازی آب جمع‌آوری شده در شبکه می‌باشد. با این روش، امکان جذب و نفوذ، انتقال و ذخیره آب فراهم می‌شود و سطح مفید معابر شهری افزایش یافته، از انتقال و انباشت آلودگی نیز جلوگیری می‌شود (طباطبایی قمشه، ۱۳۹۱، ص. ۵). این روش در سال ۱۳۸۹ به همت شهرداری تهران، شرکت ماناصنعت ایران و مهندسین مشاور طرح و سازه کاسپین در شهرک سجادیه تهران اجرا شد.

احداث یک مخزن با حجم ۵۰ متر مکعب و کانال آتلانتیس به طول ۷۰۰ متر، تأثیر بسزایی در کاهش رواناب سطحی، طی بارش‌های دوسال گذشته در محدوده مورد نظر داشته است. ژئوممبران با متراژ بیش از ۱۴۰۰ متر کانال نفوذ پذیر از نوع Single و بیش از ۲۰۰ متر کانال نفوذپذیر از نوع Double می باشد. این پروژه یک نمونه عینی از مدیریت رواناب‌ها به‌جای جمع آوری و انتقال آن است. در این پروژه با استفاده از قطعات پلیمری مکعب شکل، کانال‌هایی احداث شده که می‌تواند به دلیل برخورداری از پوشش‌های ژئو تکستایل، بخشی از آب را به لایه های زیرین زمین انتقال دهد. علاوه بر زهکش‌های مسطح، مخزن تعدیل و ذخیره سیلاب A به حجم ۲۰۰ متر مکعب در مرکز شهرک مخازن تعدیل و نفوذ B و C در مجموع با حجم ۲۴۰ متر مکعب درجنوب شهرک قرار دارند (شرکت ماناصنعت ایران، ۱۳۸۹).

شکل ۱۱: محورهای اجرای پروژه شهرک سجادیه تهران، مأخذ ترسیم نگارندگان، ۱۳۹۴

۷-۹ عملکرد مثبت شبکهٔ زهکش مسطح و مخازن جمع‌آوری و هدایت:

۱. جایگزینی جوی یا کانال بتنی روباز با کانال‌های سرپوشیده نفوذ پذیر؛
۲. تعریض معبر به واسطه سرپوشیده شدن جوی‌ها و افزایش عمر مفید معابر؛
۳. جلوگیری از تجمع زباله در جوی‌های سرباز؛
٤. تخلیهٔ جریان رواناب به زیرزمین و تغذیهٔ سفره آب زیرزمینی بواسطه نفوذپذیری کانال‌ها؛
۵. مقاوم در برابر زلزله و کاهش نیروی مخرب آن؛
٦. امکان ذخیره و استفاده مجدد از آب باران برای آبیاری فضای سبز؛
۷. سادگی و سرعت اجرا و نصب آن؛
۸. کاهش ۳۰ تا ۵۰ درصدی هزینه‌های اجرایی نسبت به گزینه های سنتی یا بتنی؛
۹. استفاده از مواد بازیافت شده (شرکت ماناصنعت ایران، ۱۳۸۹).

۷-۱۰ مراحل اجرای پروژه جمع آوری و هدایت آبهای سطحی شهرک سجادیه:

۱. ابتدا محل مورد نظر با Cutter برش داده می‌شود؛
۲. با استفاده از دستگاه پیکور جوی تخریب می‌شود؛
۳. با استفاده از بیل مکانیکی جوی عمیق‌تر می‌شود؛
٤. کف جوی تسطیح می‌شود و حدود ۱۰ سانی متر ماسه‌ریزی می‌شود تا جهت گذاشتن تانک‌ها آماده شود ؛
۵. قطعات تانک‌ها به هم گیردار می‌شوند. تعداد لایه های میانی قابل تغییر بوده و ماکزیمم تعداد آنها تا هفت می‌رسد؛
٦. وزن سبک این تانک‌ها و سرعت انجام کار حائز اهمیت است؛
۷. ژئوتکستایل کف کانال پهن می‌شود تا تانک‌ها توسط آن‌ها پیچیده شود تا ماسه خلل و فرج تانک‌ها را پر نکند و ضمناً به علت خاصیت موییننگی ژئوتکستایل از مانداب جلوگیری شود؛
۸. اطراف تانک ها و روی آن۱۰ سانتی‌متر ماسه ریخته می‌شود؛
۹. سطح ماسه‌ریزی شده را تسطیح می‌کنند؛
۱۰. لایه ژئوتکستایل روی آن پهن می‌شود تا سبب تفکیک ماسه و ۲۰ سانتی‌متر شن که قرار است روی آن قرار گیرد بشود؛
۱۱. یک لایه ژئوگرید جهت افزایش باربری روی آن پهن می‌شود تا مشکلی جهت تردد وسایل نقلیه به وجود نیاید ۳۰ سانتی‌متر روی ژئوگرید شن‌ریزی می‌شود به طوری که آسفالت ۵ سانتی‌متر فاصله داشته باشد؛
۱۲. زهکش‌های ۵۲ میلی‌متری را روی سطح شن‌ریزی شده قرار می‌دهند؛
۱۳. خلل و فرج زهکش با شن پر می‌شود که می‌توان آن را سبز نمود؛
۱٤. اطراف آن بتن‌ریزی می‌شود به گونه‌ای که زهکش را مانند قالبی در بر گیرد تا از جابه جایی جلوگیری به عمل آورد؛ اکنون آماده بهره‌برداری است (شرکت ماناصنعت ایران، ۱۳۸۹).

شکل ۱۲. مراحل اجرای پروژه شهرک سجادیه، مأخذ: شرکت ماناصنعت ایران، ۱۳۸۹

۸- راهکارها و پیشنهادات

۱. در نواحی شهری بخش زیادی از زمین به وسیله مواد غیرقابل نفوذ پوشیده شده است که ویژگی این مواد کاهش نفوذپذیری و تشکیل سریع رواناب سطحی است که باعث وقوع سیل می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که وقتی سطوح نفوذناپذیر نسبت به سطوح نفوذپذیر افزایش می‌یابد، کیفیت رواناب حاصله کاهش می‌یابد و حتی زمانی که نفوذناپذیری نسبت به نفوذ پذیری، ۵ تا۱۰٪ افزایش می‌یابد، تأثیرات منفی بر جانوران آبزی، حتی کلیهٔ جانوران افزایش می‌یابد. در پوشش سطح خیابان‌های فرعی، اماکن دولتی، پارک‌ها، پیاده‌روها و... می‌توان به جای آسفالت از سنگ‌فرش نفوذپذیر استفاده کرد. در صورت استفاده از این پوشش به جای آسفالت، آب به راحتی می تواند به داخل زمین نفوذ کند و باعث کاهش حجم رواناب شود. این پوشش در کشورهای اروپایی از میانه دههٔ ۱۹۷۰ متداول بوده و با وجود مصالح ارزان قیمت سنگ و ماسه در اغلب نقاط کشور، استفاده از آن مقرون به صرفه می‌باشد. علاوه بر مزیت نفوذپذیری، این نوع پوشش با ماهیت کارهای عمرانی و توسعه شهری سازگار بوده و هزینهٔ آسفالت شکافی و مرمت لکه‌های آسفالت را کاهش می‌دهد. عیب این سنگفرش‌ها پر شدن فضای خالی بین آن‌ها توسط ذرات‌ریز و کاهش کارایی آن‌ها می‌باشد (اسکولر، ۱۹۸۷، ص. ۲۷۲).

۲. حفر و توسعه چاه‌های خشک؛ چاه خشک زمینی است پر از چاه‌های عمودی که موقتاً سیلاب را ذخیره کرده و به آن اجازه می‌دهد که در طول به داخل زمین نفوذ کند. این برنامه شبیه اجرای برنامه ترانشه نفوذ است. بعضی اوقات، چاه-های خشک به عنوان حفر سوراخی در لایهٔ غیر قابل نفوذ در نزدیکی سطح زمین تلقی می‌شوند که نفوذ آب را به لایه قابل نفوذ زیرین فراهم می‌سازد. این چاه‌ها ضمن کمک به جذب رواناب، باعث تغذیه سفره آب زیرزمینی می‌گردد. البته باید توجه داشت که در این مورد مطالعات دقیق صورت می‌گیرد. تهدید واقعی کیفیت آب زیرزمینی هنگام تغذیه مصنوعی توسط رواناب شهری به عوامل مختلفی همچون نوع خاک، مقدار مواد معلق موجود در آلودگی ها، کاربری قدیم و جدید اراضی و عمق آب زیرزمینی بستگی دارد (طرح آبرسانی کالیفرنیا، ۲۰۰۹).

۳. افزایش تراوش و نفوذ آب در سرشاخه‌های منتهی به شهر با اجرای طرح‌های آبخیزداری در حوضه‌های منتهی به منطقه شهری که در این قسمت با اجرای فعالیت‌های رایج آبخیزداری در سرشاخه‌های منتهی به شهر از میزان آب خالص ورودی به مسیل‌های موجود در شهر کاسته می‌شود و در واقع باری از دوش این مسیل‌ها برداشته می شود که می‌تواند به مدیریت بهتر آن‌ها کمک کند. لازم است که گونه‌های مناسب منطقه با مطالعات دقیق مشخص شوند. بارشی که به زمین این مناطق می‌رسد به آرامی در زمین نفوذ می‌کند یا برای استفاده گیاهان جذب می‌شود و در هر حال موجب کاهش حجم و تندی رواناب حاصله می‌شود. نهال‌کاری با گونه‌های مثمر موجبات حفاظت خاک و احیای اراضی را فراهم می‌آورد و نیز اشتغال تعداد قابل توجهی از روستائیان به کشت را فراهم می‌سازد، حیات وحش را حفظ می‌کند و موجب بهبود بافت خاک، کاهش جریان سطحی، افزایش نفوذ و کاهش فرسایش می‌شود. به علاوه احتیاج کمتری به نگهداری نسبت به مناطق بدون پوشش دارد. حداقل درصد پوشش گیاهی از نظر کنترل سیلاب ٤٠ درصد است و چنانچه مرتعی دارای ۷۰ درصد پوشش گیاهی باشد قادر به نفوذ ۹۸ درصد از باران به درون زمین خواهد بود و لذا مناطق پائین دست شهری، سیلابی را تجربه نخواهند کرد و در صورت تخریب مراتع و کاهش پوشش گیاهی آن به کمتر از ۲۰ درصد میزان رواناب سطحی به میزان ۳٦ برابر افزایش خواهد یافت. به عبارت دیگر ٧٤ درصد از ارتفاع باران در زمین نفوذ نمی‌کند و وقوع سیلاب در نقاط شهری بسیار محتمل خواهد بود (دادرسی-سبزوار و خسروشاهی، ۱۳۸۷، ص. ٢٤١– ٢٢٧)

٤. در مطالعات هیدرولوژیکی حوزه های آبخیز، مفهوم زمان تجمع رواناب در خروجی حوزه از اهمیت زیادی برخوردار است، طوری که نشان‌گر خطر وقوع سیل در حوضه گرد که بخش اعظم رواناب در یک زمان به خروجی حوضه می‌رسد، می‌باشد. در حوضه‌های آبخیز شهری نیز همین قاعده حکم‌فرماست و هجوم یک‌باره حجم عظیم رواناب به سمت جوی‌ها، کانال‌ها و مسیل‌های شهری می‌تواند در مدیریت رواناب مشکلات جدی را به وجود آورد (کریشنا، ۲۰۰۵، ص. ۸۸).

۵. می‌توان با ایجاد تأخیر در حرکت رواناب و افزایش زمان عبور سیلاب از مقطع مسیل، این مشکل را تا حدودی حل کرد. استفاده از یک لایه شن به ارتفاع ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر در پشت بام‌های آسفالته سبب تأخیر در حرکت آب ناودان-ها و جلوگیری از تخلیهٔ سریع آب پشت بام‌ها می شود. این نوع پوشش برای پشت‌بام ساختمان در کشورهای اروپایی رواج گسترده‌ای داشته و به سقف شنی موسوم است که علاوه بر حفاظت از عایق در برابر نور آفتاب و ضربات باران، سبب تخلیهٔ دیرتر رواناب در پشت‌بام شده و بنابراین زمان عبوردهی سیلاب از کانال‌های شهر را افزایش می‌دهد

(ژانگ و همکاران، ۲۰۱۲، ص. ٦٥-۷۱). می‌توان از آب حاصل از بارندگی برای آبیاری درختان و فضای سبزشهری استفاده بهینه نمود. وجود فضای سبز در حاشیه معابر و خیابان‌ها پتانسیل مناسبی برای هدایت رواناب به داخل این فضای نفوذپذیر به وجود آورد. در کنار تمام خیابان‌ها، کانال‌ها، جوی‌های هدایت آب وجود دارد که می‌توان رواناب را به داخل فضای سبز منحرف نموده و بدین ترتیب ضمن استفاده بهینه از رواناب و افزایش میزان نفوذ و تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی، از میزان کل رواناب در حوزهٔ آبخیز شهری کاست و زمان تمرکز حوزه را افزایش داد. فضاهای سبز شهری، تأثیر مثبتی بر نفوذ آب و ذخیره در خاک و کیفیت آب زیرزمینی دارد. با گسترش فضای سبز شهری، می‌توان آن را به عنوان یکی از گسترده‌ترین سطوح نفوذپذیر در شهرها دانست. علاوه بر این تأثیرات مثبت، نقش تعیین کنندهٔ فضای سبز در طراحی مناظر شهری و القاء محیطی طبیعی برای شهروندان را نیز باید در نظر گرفت (پلوسو و مارشال، ۲۰۰۲، ص. ۷۲).

٦. در کلان‌شهرها نظیر تهران آب باران را به صورت مستقیم در هر فضای واحد مسکونی می‌توان با استفاده از یک مخزن جمع‌آوری کرده و در حدود ۵۰ درصد آب مورد نیاز فضای سبز را در شهری مانند تهران که اغلب از آب شهری برای آبیاری استفاده می شود تأمین کرد. حتی می‌توان در صورت مناسب نبودن این آب برای آبیاری فضای سبز آن را در موارد دیگر مثل آتش نشانی، شستشوی ماشین و ... استفاده کرد. در این زمینه روش‌های متعددی با توجه به عواملی نظیر میزان و پراکنش بارندگی، نسبت نفوذپذیری پشت‌بام‌ها، اقلیم غالب منطقه و غیره وجود دارد (پلوسو و مارشال، ۲۰۰۲، ص. ۷۲).

۷. آگاهی بخشی به مردم در مدیریت رواناب شهری به عنوان اقدامات غیر سازهای تعریف می‌گردد. اقدامات غیرسازه‌ای، نیاز به تأسیساتی ندارند و به جای آن، برنامه‌هایی برای جلوگیری از رشد آلودگی شامل آموزش، احتراز از تولید آلودگی و دستورات منظم دارند. مردم عامل مهمی در جلوگیری از آلودگی رواناب شهری و کاهش آلودگی آن می‌باشند که باید گام‌های در این زمینه بردارند. شهروندان باید بدانند اقداماتی که توسط یک فرد انجام می شود ناچیز و بی‌اهمیت باشد، اما ترکیب عمل مشابه توسط صدها یا هزاران نفر توسط دیگر شهروندان می‌تواند، آلودگی را چندین برابر کند. زباله‌هایی که توسط فردی در زهکش‌های سیلاب رها می‌شود، ممکن است روزانه هزاران بار توسط دیگر افراد تکرار شود. مردم فوراً بایستی مواد خطرناک خانگی را تصفیه کنند، مواد شیمیایی برای مراقبت از چمن‌زارها نبایستی به طور مفرط مورد استفاده قرار گیرند یا این که قبل از باران استفاده نشوند، سیستم های تحت باید به طور صحیح نگهداری شوند و هر گرفتگی بایستی فوراً رفع شود، ظروف شیمیایی و سطل‌های زباله نباید بدون پوشش رها شوند. (طرح آبرسانی کالیفرنیا، ۲۰۰۹).

۹- نتیجه‌گیری

تهران، پایتخت ایران در سرتاسر جبهه شمالی و شرقی از حوضه‌های متعدد شمالی و جنوبی تشکیل شده است. حاکمیت این حوضه‌ها بر زهکشی تهران و کاهش ارتفاع از شمال به جنوب سبب شده که مدیریت سیلاب در تهران بدون توجه به شرایط بالادست و نوع کاربری شهری امکان‌پذیر نباشد. بنابراین از مشکلاتی که کلانشهر تهران با آن مواجه است، آب‌گرفتگی پس از بارش باران در سطح شهر می‌باشد. براین اساس، احداث انهار و مسیل‌ها جهت

هدایت آب‌های سطحی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شبکه زهکش آتلانتیس، مجموعه‌ای از معیارها برای مدیریت آب‌های سطحی سرگردان است. این شبکه از پیشرفته‌ترین ژئوکامپوزیت زیرزمینی ارائه می‌دهد و مقاومت فشاری بالا، وزن سبک، سهولت نصب و هزینه کم در مقایسه با روش‌های سنتی از ویژگی‌های غیرقابل انکار آن است. شبکهٔ زهکش آتلانتیس دارای دوام طولانی مدت و مقاومت در برابر تمامی مواد شیمیایی زمین است. شاهد این مدعا اینکه پروژه شهرک سجادیه یک نمونهٔ عینی از مدیریت رواناب‌ها به جای جمع آوری و انتقال آن است. اجرای پروژه مدیریت رواناب‌های سطحی در شهرک سجادیه با استفاده از متدولوژی نوین شرکت آتلانتیس باعث شده است که این منطقه جنوبی تهران که قبل از اجرای این طرح در فصول بارندگی یکی از مناطق آب‌گرفته تهران محسوب می‌شد، به عنوان یکی از مناطق نمونه در رفع آب‌گرفتگی شناخته شود. بنابراین روش‌های سنتی جمع‌آوری آب‌های سطحی، پاسخگوی نیازهای امروزه شهرها نیستند. این روش‌ها، به طور معمول شامل اجرای کانال‌های بتنی، به خصوصیات نفوذناپذیری و صیقلی بودن جداره‌ها و کف می‌باشند. در این روش‌ها، برهم نهادگی رواناب، مشکلات سیلابی را افزایش می‌دهد، امکان جمع‌آوری آب پاکیزه را از بین می‌برد، بخشی از مقطع این کانال‌ها توسط رسوبات پر می‌شود و در مواقع بارش شدید، آشغال‌ها و زباله‌ها، عملکرد هیدرولیکی آن‌ها را کاهش می‌دهند. روش‌های جایگزین بسیاری در دنیا مطرح شده که رویکرد کلی آن‌ها، مدیریت محلی سیلاب و نزدیک شدن به شرایط طبیعی حوزه، قبل از شهرسازی و توسعه‌یافتگی است. در میان این روشها، روش آتلانتیس به دلیل تلفیق ابزارهای نفوذ و ذخیره، کارآمدی ویژه‌ای دارد. این روش، شامل اجرای لایه فیلتر در سطح و زهکشی رواناب سطحی به داخل این فیلترها و ورود آب جذب شده به داخل یک سری مجاری ساخته شده از جعبه‌های مشبک مقاوم و هدایت آن به سمت نقطهٔ مورد نظر است.

۱۰- منابع و مأخذ

۱- آذرپور، علی، ۱۳۹۳، کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در شناسایی نواحی آسیب‌پذیر در اثر رواناب سطحی، مطالعهٔ موردی: منطقهٔ یک شهرداری ارومیه، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه تبریز، تبریز.

۲- بزی، خ و اسماعیل زاده، ع، امیری، م و سنچولی، س، ۱۳۸۹، نقش مدیریت کاربردی اراضی در کاهش سیل‌گرفتگی شهری، مطالعهٔ موردی: شهر قوچان، اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری، مردادماه ۱۳۸۹، تهران.

۳- پروین نیا، م، رخشنده رو، غ و منجمی، پ، ۱۳۸۷، بررسی کیفیت و احیای رواناب‌های شهری در شیراز، دو ماهنامهٔ آب و فاضلاب، سال ۱۹، شمارهٔ ۲، صص. ٤٦-٥٥.

٤- تاج بخش، م و خداشناس، س، ۱۳۹۱، بازنگری شبکهٔ زهکشی رواناب سطحی با استفاده از شبیه‌سازی و کاربرد حوضچه‌های تأخیری در حوضه آبریز اقبال شرقی مشهد، فصلنامهٔ دانش آب و خاک، سال ۲۲، شمارهٔ ۱، صص. ۱۱۰-۱۲۳.

۵- تجریشی، م و ابریشمچی، ا و عبدالغفوریان، ع، ۱۳۹۱، مدیریت آب شهری با لحاظ پساب و رواناب به عنوان منابع جدید آب، مطالعهٔ موردی: شهر تهران، فصلنامهٔ آب و فاضلاب، سال ۲۳، شمارهٔ ٤، صص. ۲۹-٤۲.

٦- تقوایی، م و سلیمانی، ف،۱۳۹۰، مدیریت بحران شهرها با تأکید بر سیل، فصلنامهٔ اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، سال ۲۰، شمارهٔ ۷۹، صص. ٦٦-۷۳.

۷- خاکی، غ، ۱۳۷۸، روش تحقیق با رویکرد پایان‌نامه نویسی، چاپ اول، انتشارات کوهسار، تهران.

۸- دادرسی سبزوار، ا و خسرو شاهی، م، ۱۳۸۷، شناخت مناطق مستعد برای گسترش سیلاب به روش کاربرد مدل‌های مفهومی (راهکاری برای مهار بیابان‌زایی)، فصلنامهٔ تحقیقات مرتع و بیابان ایران، سال ۱۵، شماره۲، صص. ۲٤۱-۲۲۷.

۹- رادمهر، احمد و عراقی نژاد، شهاب، ۱۳۹۳، کاربرد روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی‌فازی در تعیین مناطق آسیب‌پذیر از سیلاب، مطالعهٔ موردی: حوضه آبخیز شهری تهران، فصلنامهٔ دانش آب و خاک، سال ۲٤، شمارهٔ ٤، صص. ۱۱۵-۱۲۸.

۱۰- رستمی خلج، م، مهدوی، م، خلیقی سیگارودی، ش و سلاجقه، ع، ۱۳۹۱، تحلیل حساسیت متغیرهای مؤثر بر سیلاب شهری با استفاده از مدل مایک‌سویم، فصلنامهٔ مدیریت حوزه آبخیز، سال ۳، شمارهٔ ۵، صص. ۸۱-۹۱.

۱۱- رشیدی مهرآبادی، م،۱۳۹۰، بررسی تأثیرات سطوح آبگیر باران بر روی رواناب سطحی شهری، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکده دانشکدهٔ فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران.

۱۲- زمردیان، م، ۱۳۹۱، کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی شهری و روستایی، چاپ ۸ انتشارات‌پیام نور، تهران.

۱۳- سلوکی، ج، ۱۳۹۲، بررسی اثرات توسعهٔ شهری بر افزایش رواناب شهری با استفاده از مدل مایک‌سویم، رساله کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ عمران و محیط‌زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

۱٤- شاعری، ا، درزی، ف، آریازند، ا، ۱۳۹۲، ضرورت بهره‌گیری از رویکرد نوین سیستم زهکش شهری پایدار در برنامه-های ساماندهی رواناب سطحی شهرها، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، اردیبهشت ماه ۱۳۹۲، تهران.

۱۵- شرکت ماناصنعت ایران، ۱۳۸۹، پروژهٔ جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی شهرک سجادیه تهران، شهرداری تهران و مهندسین مشاور طرح و سازه کاسپین، تابستان ۱۳۸۹، تهران.

۱٦- شیعه، ا، ۱۳۹۱، مقدمه‌ای بر مبانی برنامه‌ریزی شهری، چاپ سی و دوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.

۱۷- طاهری، محمدرضا، ۱۳۸۸، بررسی استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در کنترل سیلاب‌های شهری، مطالعه موردی: شهر داراب، همایش ژئوماتیک، اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۸، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران.

۱۸- طباطبایی قمشه، س، ۱۳۹۱، مدل‌سازی طرح جدید آتلانتیس در حوزه آبریز سرافرازان مشهد، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

۱۹- علیزاده، ا، ۱۳۹٤، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ نهم، انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا، مشهد.

۲۰- فلاح تفتی، ا، شریفی، م، ۱۳۸۵، شبیه‌سازی شبکهٔ زهکشی رواناب سطحی با روش‌های مایک‌سویم و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آب و برق مشهد، اولین همایش ملی مهندسی مسیل‌ها، اسفندماه ۸۵، مشهد.

۲۱- قهرودی تالی، م، ۱۳۸۸، کاربرد مدل یکپارچهٔ سیلاب شهری درکلان‌شهرها، مطالعهٔ موردی: شمال شرق تهران، فصلنامهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پیش شماره، پاییز و زمستان ۱۳۸۸، صص۱٦۷-۱۷۸.

۲۲- کردوانی، پ، ۱۳۹۰. منابع و مسائل آب در ایران، آب‌های سطحی و زیرزمینی و مسائل بهره‌برداری از آنها، جلد اول، چاپ دهم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

۲۳- گودرزی، مسعود، ۱۳۸٦، بررسی الگوی توزیع زمانی بارش در شمال شرق کشور، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوزه‌های آبخیز، اسفند ۱۳۸٦، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.

۲٤- لطفی، ح، جعفری، م،۱۳۹۰، فرآیند ایمن‌سازی شهری جهت مقابله با مخاطرات طبیعی سیل، مطالعهٔ موردی: شهر تهران، فضای جغرافیایی، سال ۱۱، شمارهٔ ۳٦، زمستان ۱۳۹۰، صص. ۲۹٦-۲۸۳.

۲۵- مجتهدزاده، غ، ۱۳۹۱، برنامه‌ریزی شهری در ایران، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

۲٦- معاونت خدمات شهری شهرداری تهران، ۱۳۸۸، مطالعات تطبیقی سیستم خدمات شهری شهرداری تهران، فصل اول شناخت و بررسی کلان وضع موجود در شهر تهران، فروردین ۱۳۸۸، تهران.

۲۷- معاونت هماهنگی و امور مناطق، ادارهٔ کل هماهنگی، نظارت و پیگیری امور مناطق شهرداری تهران،۱۳۹۱، پروژهٔ شناخت و بررسی مسیل‌های شهر تهران، اردیبهشت۱۳۹۱، تهران.

۲۸- معتقدالحق، ز، ۱۳۹۲، آب‌گرفتگی معابرشهری، مرکز اطلاعات علمی و تخصصی مدیریت شهری، آبانماه ۱۳۹۲، تهران.

29- Atlantis Product Guide, 2014, Atlantis water management.www.atlantiscorp.com.au.

30- Butler, D., and Davies, J., 2000. Urban drainage. E and FN Spon, London.

31- California Water Plan Update, 2009. Volume 2, Resource Management Strategies.

32- Chamoux, C., and Gourbesville, P., 2002. GIS methodology for hydrological analysis and sewer network design, XXX IAHR Conference of GIS and CFD Applications, pp. 551-558.

33- Chanson, H., Brown, R., and McIntosh, D., 2014. Human body stability in floodwaters: the 2011 flood in Brisbane, 5th International Symposium on Hydraulic Structures Brisbane, Australia, Juan 2014.

34- Choi, K.S., and Ball, J., 2002. Parameter estimation for urban runoff modeling, urban water 4, pp. 31-34.

35- Clark, I.D., and Fritz, P., 1997. Environmental isotope in hydrogeology. First ed., New York: Lewis Publishers.

36- CNT (Center for Neighborhood Technology), 2014. The prevalence and cost of urban flooding A Case study of cook county, IL, May 2014, pp. 1-26.

37- Hopkins, B., and Argue, JR., 1993. The New Brampton Estate storm water management trial: first results. Hydrology and water Resources Symposium, Newcastle. The institution of engineers, Australia.

38- Krishna, H., 2005. The Texas Manual on Rainwater Harvesting, Texas water development board, third Edition, p 88.

39- Peluso, V., Marshall A., 2002. Best Management Practices for South Florida Urban Storm water Management Systems, April 2002, p 72. www.sfwmd.gov.

40- Schueler, TR., 1987. Controlling urban runoff: A practical Manual for Planning and Designing Urban Best Management Practices. Publication No. 87703, Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, DC, p 272. http://www.mwcog.org.

41- Winnaar, G., Jewitt, G., and Horan, M., 2007. A GIS based approach for identifying potential run off harvesting sites in the Thukela River basin, South Africa, Physics and Chemistry of the Earth, pp. 32, 1058 -1067.

42- Zhang, B., Xie, G., Zhang, C. and Zhang, J., 2012. The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. Journal of Environmental Management, pp. 100, 65-71.

43- www.manasanat.com