

پیش بینی سیلابهای ناگهانی در مناطق شهری

بابک زینال پور^۱، صابر معظمی^۲، محمود ذاکری^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران-آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.

^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.

^۳ استادیار و مدیر گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.

نام نویسنده مسئول:

بابک زینال پور

چکیده

این قبیل سیلاب ها می توانند در عرض چند ثانیه و یا چند ساعت رخ دهند و هشدار آنها دشوار است. عوامل مختلفی از قبیل شدت بارش، مدت بارش، شرایط سطحی زمین، عوارض و شیب منطقه در وقوع این نوع سیلاب موثر است. مناطق شهری بیشتر در معرض این نوع سیلاب هستند زیرا سطح زمین با انواع روکش های آسفالت، کاشی و غیره پوشانده شده و راه های نفوذ جریان بسته شده و رواناب به سرعت در سطح شهر توزیع می شود. در تحقیق حاضر به بررسی پنج نمونه از روش های توسعه کم اثر در محدوده ای توسعه یافته از منطقه در حال توسعه ۲۲ شهر تهران پرداخته شده است. با استفاده از نرم افزار SWMM و مشخصات محدوده مورد مطالعه که در بخش مرکزی منطقه قرار دارد و طرح جامع شهر تهران می توان به الگوی توسعه سایر قسمتهای منطقه ۲۲ پی برد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اجرای پشتبام سبز در منطقه مطالعاتی باعث کاهش قابل توجه حجم رواناب و افزایش کیفیت منابع آبی سطحی و زیر سطحی می گردد که قاعدتاً کاهش هزینه های سرمایه ای را نیز به دنبال دارد. هدف این تحقیق آشنایی و شناخت روش های توسعه کم اثر، مزایا و نقش آنها در بهبود توسعه شهری، مقایسه و انتخاب بهترین روش یا روش های توسعه کم اثر جهت اجرا در منطقه می باشد که مقایسه هزینه ها را شامل می شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اجرای پشتبام سبز در منطقه مطالعاتی باعث کاهش قابل توجه حجم رواناب و افزایش کیفیت منابع آبی سطحی و زیر سطحی می گردد که قاعدتاً کاهش هزینه های سرمایه ای را نیز به دنبال دارد.

واژگان کلیدی: سیلاب ناگهانی، SWMM، توسعه کم اثر، مناطق شهری.

مقدمه

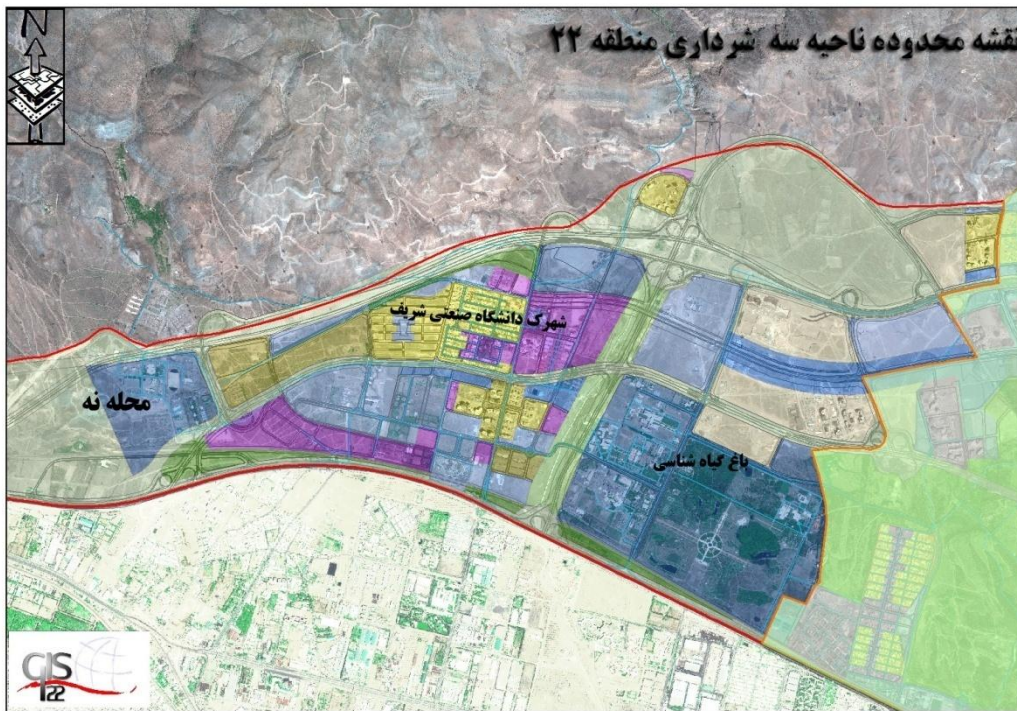
در ابتدا لازم است در خصوص سیلاب های ناگهانی توضیحاتی ارائه گردد. این قبیل سیلاب ها می توانند در عرض چند ثانیه و با چند ساعت رخ دهند و هشدار آنها دشوار است. ممکن است تلفات آنها زیاد باشد زیرا به سرعت سطح آب را بالا برده و سرعت جریان در اثر وقوع این نوع سیلاب بسیار زیاد است. عوامل مختلفی از قبیل شدت بارش، مدت بارش، شرایط سطحی زمین، عوارض و شیب منطقه در وقوع این نوع سیلاب موثر است. مناطق شهری بیشتر در معرض این نوع سیلاب هستند زیرا سطح زمین با انواع روکش های آسفالت، کاشی و غیره پوشانده شده و راه های نفوذ جریان بسته شده و رواناب به سرعت در سطح شهر توزیع می شود.

روش های توسعه کم اثر (Low Impact Development) LID مجموعه روش هایی می باشد که می توان در مناطق در حال توسعه به کار برد و توسعه را با کمترین اثرات منفی بر روی این مناطق پیش برد. توسعه شهری همراه با افزایش سطوح نفوذ ناپذیر می باشد و این افزایش باعث جاری شدن آب حاصل از بارندگی در سطح حوزه می شود. جاری شدن و عدم نفوذ رواناب ضمن عدم تغذیه سفره های آب زیرزمینی باعث حمل ذرات آلاینده سطحی و ورود آن ها به منابع آب و گیاهان شده و مشکلات زیست محیطی فراوانی را ایجاد می کند. همچنین طبق آمار توسعه شهرها خطر ایجاد سیل که یکی از پُر مخاطره ترین بلایای طبیعی است را افزایش می دهد.

در تحقیق حاضر به بررسی پنج نمونه از روش های توسعه کم اثر در محدوده ای توسعه یافته از منطقه در حال توسعه ۲۲ شهر تهران پرداخته شده است. با استفاده از مشخصات محدود مورد مطالعه که در بخش مرکزی منطقه قرار دارد و طرح جامع شهر تهران می توان به الگوی توسعه سایر قسمت های منطقه ۲۲ پی برد. مدل SWMM در موارد زیادی بکار برده شده که در اینجا به برخی از آنها اشاره می شود. در این تحقیق تلاش گردید تا با اعمال چند روش شناخته شده و مناسب روش توسعه کم اثر، به بهترین سناریوهای مناسب برای منطقه مطالعاتی نتیجه گیری شود. بنابراین روش هایی مانند آسفالت نفوذپذیر، پیاده رو نفوذپذیر، سنگر نفوذ، بشکه باران و پشت بام سبز یک به یک در مدل طراحی شده و در منطقه مطالعاتی قرار گرفتند.

معرفی منطقه مطالعاتی

تهران در دامنه رشته کوه های البرز گسترش یافته که دارای بارندگی قابل توجهی است. رودخانه های متعددی همچون روخانه کن و وردآورد و... آب حاصل از بارش را زهکشی کرده و به دشت های پایین دست منتقل می کنند. وسعت حوزه زهکش کوهستان شمال، شمال شرق و شرق تهران بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع می باشد. جهت عمومی رودخانه ها و مسیل ها، عمدتاً به سمت محدوده شهری است. این موضوع باعث شده که در اثر بارش های رگباری، آب گرفتگی معابر شهر تهران و در صورت شدت رگبارها و تداوم بارش، وقوع سیل مشاهده شود. در عین حال، محدوده شهری تهران مسیر عبور مسیل ها و رودخانه های متعددی است که زهکشی آب حوزه های بالادست و همچنین جمع آوری آب حاصل از بارش در محدوده شهری تهران را بر عهده دارند. در برخی از قسمت های شهر که ارزش مکانی زمین بالا است، بستر رودخانه ها و مسیل های داخل شهر مورد تعرض قرار گرفته و سطح مقطع آن ها کاهش و محدود شده است. این موضوع می تواند بر رژیم طبیعی رودخانه و مسیل عبوری جریان، تأثیر گذاشته و در صورت وقوع بارش های رگباری شدید، خسارت های جبران ناپذیری را وارد سازد. منطقه ۲۲ تهران بین طولهای شرقی ۵۱ درجه و ۵ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه و ۴۰ ثانیه و عرض های شمالی ۳۵ درجه و ۳۲ دقیقه و ۱۶ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه و ۵۷ ثانیه در قسمت شمال غربی شهر تهران و در پایین دست حوزه آبریز رودخانه کن و وردیج واقع شده است. این منطقه در شمال با کوهستان البرز مرکزی، در شرق با حریم رودخانه کن، در جنوب با آزاد راه تهران- کرج و در غرب با محدوده جنگل های دست کاشت وردآورد محدود شده و با مناطق ۳ و ۲۱ شهرداری تهران همجوار است. به این ترتیب مرز شمالی منطقه ۲۲ شهرداری تهران تا منتهی الیه دامنه های جنوبی البرز تا ارتفاع ۱۵۲۲ متری توسعه یافته است. شیب عمومی منطقه از شمال به جنوب بوده و اراضی مورد بررسی در حریم پهنه دوم زلزله قرار دارد.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

کاربری اراضی در این محدوده و روش های LID که می توان برای هر کاربری استفاده نمود به شرح جدول (۱) می باشد. چنانچه ملاحظه می شود، ۴۵ درصد سطح اشغال محدوده شامل پشت بام و حیاط، ۱۲ درصد خیابان و ۷ درصد پیاده رو بوده که جمعاً ۶۴ درصد سطح اشغال محدوده را به خود اختصاص می دهد. در کل محدوده نیز حدود ۳۶ درصد زمین خالی و فضای سبز اندازگیری شده است. این مقادیر با استفاده از نقشه ها و عکس های هوایی موجود محاسبه شده است.

جدول ۱- کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه و روش های LID ممکن برای استفاده در هر نوع کاربری

روش های LID	درصد اشغال سطح محدوده	نوع پوشش زمین
پشت بام سبز- بشکه باران	۴۵	سقف خانه ها و قسمت نفوذ ناپذیر حیاط
سنگر نفوذ- آسفالت نفوذپذیر	۱۲	خیابان ها
پیاده رو نفوذپذیر- سنگر نفوذ	۷	پیاده روها
-	۳۲	زمین های خالی
-	۴	فضای سبز

معرفی مدل شبیه سازی

مدل مدیریت (Storm Water Management Model) SWMM یک مدل دینامیک برای شبیه سازی بارش و رواناب است که نخستین بار برای شبیه سازی مقدار و کیفیت رواناب ناشی از بارندگی در حوزه های شهری توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) مورد استفاده قرار گرفت.

این مدل مقدار و کیفیت رواناب تولیدی از هر زیر حوزه را شبیه سازی و سرعت، عمق و وضعیت هیدرولیکی رواناب را در هر نقطه از شبکه، در زمان های مختلف تعیین می نماید.

شبیه سازی از طریق معرفی مجموعه ای از زیر حوزه ها و تعیین میزان بارش و آلودگی در هر زیر حوزه و انتخاب روش تلفات متناسب با طرح صورت خواهد گرفت. نظر به این که این مدل قابلیت مدل سازی هیدرولوژیکی حوزه های شهری و همچنین مدل سازی کیفی رواناب را دارا می باشد و با توجه به این که قابلیت مدل سازی LID های مختلف نیز در این مدل اضافه شده است می توان به عنوان ابزاری مفید در

راستای مدیریت حوزه های شهری مورد استفاده قرار گیرد. این مدل قابلیت احتساب پدیده های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ و جریان های زیر سطحی را دارد. در این مدل سازی برآورد سیلاب با روش موج سینماتیک (حل معادله پیوستگی جریان غیر دائم و مانینگ) و ترکیب المان های جریان های سطحی و کانالیزه شده صورت می پذیرد. بنابراین دارای مبنای فیزیکی، نگاه توزیعی، امکان بررسی جداگانه نواحی نفوذپذیر و نفوذ ناپذیر و همچنین قابلیت شبیه سازی پاسخ غیر خطی حوزه به بارندگی اضافی است. روندیابی کانالیزه شده نیز با مدل موج دینامیک با قابلیت شبیه سازی اثرات برگشت و پس زدن آب و همچنین انتقال تحت فشار صورت می پذیرد. ورودی های مدل گسترده بوده و به طور خلاصه شامل مشخصات زیر حوزه ها، اتصالات، مشخصات مجاری و اطلاعات هواشناسی می باشد. مشخصات زیر حوزه ها شامل مساحت، عرض، شیب، درصد نفوذ ناپذیر، نحوه حرکت آب روی سطوح، طول کانال اصلی، ضریب زبری مانینگ روی سطوح نفوذ ناپذیر و نفوذپذیری، ذخیره چالاب و پارامترهای نفوذ می باشد. مشخصات اتصالات شامل کد ارتفاعی، فاصله تا سطح زمین، جریان ورودی جانبی و حداکثر عمق بوده و مشخصات مجاری شامل شکل، ابعاد، حداکثر عمق، طول و ضریب زبری می باشد. اطلاعات هواشناسی نیز شامل میزان، تداوم و توزیع زمانی بارندگی است.

خروجی های مدل نیز به صورت جدولی و گرافیکی بوده و اهم آنها عبارت از هیدروگراف سیلاب ورودی و میزان سیل زدگی در اتصالات، پروفیل سطح آب، میزان ظرفیت اشغال شده، عمق، سرعت و عدد فرود در زمان های مختلف در مجاری، نقاط و بازه های بحرانی براساس شاخص کاربرد و هیدروگراف سیلاب خروجی از زیر حوزه ها می باشد.

برای استفاده از نرم افزار پس از اجرای برنامه بایستی نقشه محدوده مورد مطالعه load شده و مقیاس آن در نرم افزار مشخص شود، سپس حوزه مورد مطالعه به زیر حوزه های کوچکتر که مشخصات نسبتاً یکسانی دارند تقسیم و مشخصات هر زیر حوزه تعریف شود. پس از آن با توجه به شیب هر زیر حوزه و نقشه های توپوگرافی، گره خروجی هر زیر حوزه به همراه کد ارتفاعی تعریف شده و سپس کانال های لازم برای جمع آوری رواناب سطحی زیر حوزه ها با ابعاد پیش فرض اولیه بین گره ها مشخص و داده های بارش تعریف گردد. در پایان مدل اجرا شده و با استفاده از روش سعی و خطا ابعاد بهینه کانال ها مشخص شود. از مهمترین مزایای مدل SWMM می توان به قابلیت شبیه سازی روش های توسعه کم اثر در آن اشاره نمود. روش کار بدین صورت است که پس از تقسیم زیر حوزه ها و تعیین مشخصات هر زیر حوزه، روش توسعه کم اثر مورد نظر به همراه مساحت و سایر مشخصات آن روش در زیر حوزه تعریف می گردد.

نحوه شبیه سازی

این مدل از معادلات بقای جرم، انرژی و مومنتم استفاده می کند. با توجه به اهداف تحقیق، محاسبات در چهار بخش انجام شده است.

- رواناب سطحی: چگونگی تولید رواناب سطحی مورد استفاده توسط SWMM به این صورت است که هر زیر حوزه مانند یک مخزن عمل می کند که جریان ورودی به آن شامل نزولات جوی (Q) می باشد. رواناب (Q) هنگامی اتفاق می افتد که عمق آب در مخزن بیشتر از تلفات چالاب (dp) گردد که مقدار آن توسط معادله مانینگ مطابق فرمول (۱) تعیین می شود. عمق آب در سطح زیر حوزه نیز به طور پیوسته توسط حل عددی محاسبه می شود.

$$Q = 1/n A. R^{2/3}. S^{1/2} = 1/n (W. (d - d_p)) \times (d - d_p)^{2/3}. S^{1/2} \gg$$

$$Q = W^{1.49} / n (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (1)$$

(کانال عریض فرض شده است)

در رابطه Q دبی (متر مکعب بر ثانیه)، W عرض (متر)، dp عمق ذخیره چالابی (متر)، S میزان شیب، d عمق جریان (متر) و n ضریب زبری مانینگ می باشند.

- نفوذ: مدل برای محاسبه مقدار نفوذ از یکی از سه معادله هورتون، گرین امپ و روش شماره منحنی استفاده می نماید.
- جریان: جریان داخل مجرای آب توسط معادلات بقای جرم و مومنتم برای جریان غیر دائمی و متغیر تدریجی انجام می گیرد. بدین منظور مدل یکی از معادلات جریان دائمی، موج سینماتیک و موج دینامیک را مورد استفاده قرار می دهد. در تحقیق حاضر از معادلات موج دینامیک (سنت ونانت) برای جریان در کانال ها استفاده شده است.
- روندیابی کیفیت آب: غلظت جریان خروجی از مجرا در پایان مرحله زمانی با انتگرال گیری از معادله بقای جرم به دست می آید. در روندیابی کیفی، نوع کاربری اراضی و درصد نفوذپذیری زیر حوزه ها و در محاسبه تغییرات مکانی آلودگی و نرخ شستشوی آن داخل زیر حوزه ها، کاربری اراضی در نظر گرفته می شود.

ارائه و تفسیر نتایج

محدوده مطالعه حوزه آبریزی واقع در منطقه ۲۲ تهران می باشد که از سمت شرق به بزرگراه آزادگان، از سمت غرب به بلوار کاج، از سمت شمال به بزرگراه شهید همت و از جنوب به خیابان هوانیروز منتهی می شود. مساحت تقریبی این محدوده ۲۱۰ هکتار می باشد. شیب غالب در این محدوده از سمت شمال شرق با ارتفاع ۱۳۴۷ متر به سمت جنوب غرب با ارتفاع ۱۲۹۶ متر می باشد. ارتفاع نقاط مختلف با استفاده از نقشه های شهر تهران با مقیاس ۱/۲۰۰۰ به دست آمده است. محدوده مورد مطالعه بخشی نسبتاً توسعه یافته از منطقه ۲۲ تهران که منطقه ای در حال توسعه است می باشد. هدف از انتخاب این محدوده امکان تعمیم خصوصیات این محدوده با خصوصیات سایر قسمت های منطقه پس از توسعه بود. محدوده دارای خاک با نفوذپذیری نسبتاً بالا بوده و همانطور که رقوم ارتفاعی بیانگر است دارای شیب کمی می باشد. برای استفاده بهتر و دقیق تر از نرم افزار SWMM محدوده مطالعه به ۳۱ زیر حوزه از S۱ تا S۳۱ تقسیم شده است. هر زیر حوزه دارای یک گره خروجی بوده که رواناب حاصل از خود را به آن گره منتقل می کند. این تقسیم بندی برای بالا بردن دقت مدلسازی انجام شده است. خصوصیات هر زیر حوزه نیز شامل نفوذپذیری، شیب، عرض جریان و مساحت آن براساس نام زیر حوزه ارائه شده است.

در تعیین مشخصات هر زیره حوزه فرضیات زیر شده است:

- مساحت هر زیر حوزه با اندازه گیری از روی نقشه های مرجع شهر تهران بدست آمد.
- شیب هر زیر حوزه شیب میانگین در آن زیر حوزه بوده که به طور تقریبی و با استفاده از شیب هر زیر حوزه شیب میانگین در آن زیر حوزه بوده که به طور تقریبی و با استفاده از نقشه های منطقه با مقیاس ۱/۲۰۰۰ بدست آمده است.
- ضریب زبری مانینگ برای مناطق نفوذپذیر ۰/۱۵ و برای مناطق نفوذ ناپذیر ۰/۱۳ در نظر گرفته شده است.
- عمق ذخیره چالابی (Depth of Depression) برای مناطق نفوذپذیر و نفوذ ناپذیر به ترتیب ۰/۳ و ۰/۰۶ در نظر گرفته شده است.

- مشخصه عرض در زیر حوزه ها از تقسیم مساحت زیر حوزه به میانگین حداکثر طول جریان بدست می آید. حداکثر طول جریان حداکثر طول مسیر جریان از دورترین نقطه زهکشی حوزه تا قبل از اینکه جریان کانالیزه شود می باشد. در زیر حوزه های نفوذپذیر این عدد ۱۵۲/۴ متر در نظر گرفته می شود.

در این مدلسازی برای نفوذ از مدل هورتون استفاده شده است. معادله هورتون به صورت زیر می باشد:

$$f = f_c + (f_o - f_c) e^{-kt} \quad (2)$$

در این رابطه f سرعت نفوذ، f_c سرعت نفوذ در ابتدای شروع نفوذ، f_o سرعت نهایی نفوذ زمانی که نفوذ نسبتاً ثابت شده باشد، k ثابت پوسیدگی و t زمان از شروع نفوذ می باشد. مقادیر f_c، f_o و k با استفاده از اطلاعات نفوذپذیری خاک منطقه یا جداول مربوط بدست می آیند. برای مدل کردن نفوذ در این تحقیق اطلاعات زیر استفاده شده است:

- ثابت پوسیدگی (Decay Constant) معادل ۴/۵ در نظر گرفته شده است.
- بیشترین نرخ نفوذ ۲۰۰ میلیمتر در ساعت و کمترین نرخ نفوذ ۲۰ میلیمتر در ساعت در نظر گرفته شده است.
- جهت مدلسازی تولید و انتقال آلودگی در این تحقیق استفاده نشده است.
- مرحله بعد انواع کاربری های موجود در حوزه اعم از مسکونی، تجاری و صنعتی به همراه مشخصات هر نوع کاربری تعریف و سپس در مشخصات هر زیر حوزه درصد کاربری موجود در آن مشخص می شود. همچنین در این قسمت مجموع طول خیابان های موجود در هر زیر حوزه تعریف می شود.

داده های بارش استفاده شده در این مدلسازی که از ایستگاه هواشناسی فرودگاه مهرآباد به دست آمده است. با اجرای برنامه SWMM می توان به استفاده از داده های بارش ۵ ساله برای طراحی شبکه زهکشی پی برد. برای وارد کردن مقادیر بارش از فواصل زمانی ۱ ساعته استفاده شده و بارش ۱۷،۱۵ و ۵ ساعته در نظر گرفته می شود. در این مدلسازی فرض می شود ماکزیمم شدت بارندگی پس از چند ساعت از شروع بارندگی اتفاق بیافتد. لازم به توضیح است که برای روندیابی جریان در این مدلسازی از معادلات موج دینامیک (سنت ونانت) استفاده شده است. بنابراین اثرات پس زدن آب در گره ها دیده شده است.

شبکه زهکشی طراحی شده برای این حوزه شامل ۲۱ کانال با ابعاد مختلف می باشد. زبری همه کانال ها معادل ۰/۱۷ در نظر گرفته شده است. طول همه کانال ها در هر دو حالت استفاده و عدم استفاده از روش های LID در حوزه و در حالت طراحی بهینه یکسان می باشد. پس از اجرای برنامه مشخص شده است که سیستم زهکشی منطقه براساس بارش ۵ ساله طراحی گردیده است. جهت بهتر مشخص شدن اثرات LID، ابعادی با نام ابعاد بهینه برای هر کانال تعریف شده است. این ابعاد کوچکترین ابعادی می باشد که در صورت استفاده از آن و

اجرای مدل با بارش ۵ ساله قبل از اعمال روش های توسعه کم اثر هیچ قسمتی از حوزه سیلابی نمی شود. با اجرای مدل قبل از اعمال LID ها مشخص شد ابعاد برخی کانال ها در حالت موجود در منطقه بالاتر از ابعاد لازم جهت کنترل بارش ۵ ساله در نظر گرفته شده است. طراحی ابعاد کانال ها در نرم افزار SWMM با استفاده از روش سعی و خطا می باشد.

اعمال LID ها در منطقه و تعریف سناریوهای پیش بینی

این تحقیق شامل پنج سناریو بوده و هر سناریو از دو فاز تشکیل شده است. با توجه به ماسه ای بودن و نفوذپذیری بالای خاک محدوده و شیب کم، سه سناریو از پنج سناریو اعمال شده شامل پیاده رو نفوذپذیر، آسفالت نفوذپذیر و ترانشه نفوذ بر پایه افزایش مقدار نفوذ رواناب بودند. با توجه به کاربری های چندگانه، زیباسازی منطقه، مساحت زیاد پشت بام های نفوذ ناپذیر و عدم انتقال آب باران جمع شده در بیشتر پشت بام ها به چاه های نفوذی، پشت بام سبز به عنوان سناریوی دیگر در منطقه اعمال شد. قیمت مناسب، راحتی در اجرا و مساحت زیاد پشت بام ها دلیلی برای انتخاب بشکه های باران به عنوان یکی دیگر از سناریوها در محدوده مطالعه بودند. در این سناریو هزینه ای نیز به سیستم مدیریت شهری تحمیل نمی گردد.

در هر سناریو یکی از این روش ها در دو فاز جداگانه در مدل قرار گرفت و شبکه زهکشی مجدداً مورد طراحی قرار گرفت و ابعاد جدید کانال ها مشخص شد. سپس در مرحله اول در هر فاز از هر سناریو دبی خروجی از منطقه در هر یک از سه خروجی out₁، out₂ و out₃ با اجرای مدل به دست آمد. در مرحله بعد در هر یک از فازها ابتدا هزینه ساخت سیستم LID محاسبه شد، سپس هزینه ساخت کانال ها با ابعاد جدید با احتساب، قیمت زمین در منطقه در هر سناریو محاسبه شد تا مجموع هزینه به دست آید. در پایان، با توجه به کاهش حجم رواناب خروجی و هزینه نهایی، این سناریوها با یکدیگر مقایسه شدند. برای محاسبه هزینه ساخت کانال ها از فهرست بهای سال ۱۳۹۶ رشته راه، باند فرودگاه و راه آهن استفاده شد.

نتیجه‌گیری

- پس از اجرای روش های توسعه کم اثر پیشنهادی در مدل مشخص شد بهترین روش از نظر کاهش هزینه عمومی (دولت و شهرداری ها) و کاهش حجم رواناب، دبی و مقدار ذرات معلق جامد خروجی از منطقه، استفاده از پشت بام سبز می باشد. اجرای پشت بام سبز هر چند موجب ایجاد هزینه هایی برای مالکین ساختمان ها می شود، ولی دارای مزایایی شامل کاهش هزینه های تهویه مطبوع، سرمایش و گرمایش، ایجاد زیبایی و طول عمر بالاتر نسبت به پوشش های معمولی سقف ها می باشد.
- اجرای پیاده رو نفوذپذیر در حاشیه خیابان های اصلی به جای پیاده رو معمولی روش پیشنهادی دیگری می باشد که علاوه بر کاهش هزینه های عمومی (دولتی و شهرداری ها)، برای مالکین نیز هزینه ای نداشته و باعث کاهش مجموع رواناب خروجی، دبی و آلودگی در منطقه می شود. لازم به ذکر است که اجرای پیاده رو نفوذپذیر در حاشیه خیابان های فرعی هر چند باعث افزایش جزئی هزینه ها می شود اما می توان آن را به عنوان روشی مناسب در منطقه به کار برد.
- اجرای آسفالت نفوذپذیر در منطقه به جای آسفالت معمولی افزایش هزینه عمومی (دولت و شهرداری ها) را در پی دارد. اما با توجه به کاهش تصادفات و هزینه های بیمه این هزینه در دراز مدت قابل جبران است. همچنین با توجه به افزایش نفوذ به آب های زیرزمینی و کاهش رواناب و آلودگی، آسفالت نفوذپذیر می تواند گزینه مناسبی جهت استفاده در این منطقه خاص باشد. استفاده از آسفالت نفوذپذیر پس از اجرای پشت بام سبز بیشترین تأثیر را در کاهش مقدار دبی و مواد جامد معلق در خروجی ها دارد.
- در مدل مطالعاتی به کار برده شده به ازای هر ۱۰۰ متر مربع مساحت پشت بام ساختمان ها یک عدد بشکه ذخیره باران با ظرفیت هر بشکه ۲۲۰ لیتر مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از بشکه های باران باعث کاهش هزینه عمومی (دولت و شهرداری ها)، مجموع حجم رواناب، دبی و آلودگی خروجی از منطقه می شود. اما نتایج مدل نشان دهنده لزوم استفاده با تعداد بیشتر برای هر واحد مسکونی می باشد.

منابع و مراجع

- [۱] محمد طاهر طاهری بهبهانی، مصطفی بزرگ‌زاده، (سیلاب های شهری)، مرکز مطالعات و تحقیقات معماری و شهرسازی ایران، ۱۳۷۵.
- [۲] پیام رستمی، الهام فروتن، جواد وروانی، مجید عباسی‌زاده، "بررسی تأثیر شهرسازی در رواناب حوزه‌های آبخیز شهری با استفاده از مدل SWMM- مطالعه موردی منطقه ۲۲ تهران"، پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، ۱۰ صفحه، ۱۳۹۰.
- [3] Haifeng Jia, Yuwen Lu, shaw L. Yu, Yurong Chen, "planning of LID-BMP for urban runoff control: the case of Beijing Olympic Village", separation and purification technology, ۲۰۱۱.
- [۴] محمدرضا کاویانپور، ابوالفضل مقیمی، "تأثیر ساخت و ساز و توسعه شهری در یک حوزه آبریز بر پارامترهای جریان و سازه‌های واقع بر رودخانه جاری در آن"، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۴۹ صفحه، سال ۱۳۸۹.
- [5] Franco Montalto, Christopher Behr, Katherine Alfredo, Mex Wolf f, Matvey for CSO control", Landscape and Urban Planning, pp. ۱۱۷-۱۳۱, ۲۰۰۷.
- [6] Kristin L. Gilroy, Richard H. McCuen. "Spatio-temporal effects of low impact development practices", Journal of Hydrology, pp. ۲۲۸-۲۳۶, ۲۰۰۹.
- [7] topher Pyke, Meredith P. Warren, Thomas Johnson, James LaGro Jr., Jeremy fenberg, Philip Groth, Randall Freed, William Schroeer, Eric Main, "Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitation due to climate change", Landscape and Urban Planning, pp. ۱۶۶-۱۷۳, ۲۰۱۱.
- [۸] محمدرضا کاویانپور، ابوالفضل مقیمی، سحر شریفی، "تعیین اثرات کاربرد روش توسعه کم اثر در کاهش سیلاب های شهری و شبکه جمع‌آوری آبهای سطحی شهر تهران"، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری، ۹ صفحه،؟؟؟؟
- [۹] محمد تاج‌بخش، "استفاده از حوضچه‌های تأخیری در کنترل سیلاب شهری- مطالعه موردی حوضه اقبال ؟؟؟؟مشهد"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۹ صفحه، ۱۳۸۷.
- [۱۰] بهاره کمالی، سید جمشید موسوی، عبدالله اردشیر، رضا مکنون، "ارزیابی بهترین راهکارهای مدیریتی در بهبود کمیت سیلاب‌های شهری"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۰ صفحه، ۱۳۹۰.
- [۱۱] سعید ملکی، ایوب تقی‌زاده، "استفاده از آسفالت متخلخل (سیستم پیاده‌رو نفوذپذیر) روش نوینی در مدیریت رواناب سطحی شهری"، اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب شهری، ۱۳ صفحه، ۱۳۸۹.
- [۱۲] جهانگیر عابدی کوپایی، بهروز مصطفی‌زاده فرد، سهیلا سقائیان‌نژاد، کیاچهر بهفر نیا، "کاهش میزان کدورت روانابهای شهری با استفاده از بتن متخلخل جاذب"، اولین همایش ملی جریان و آلودگی آب، ۸ صفحه، ۱۳۹۱.
- [13] Suhyung Jang, Minock Cho, Jaeyoung Yoon, Yongnam Yoon, Sangdan Kim, Geonha Kim, Leehyung Kim, Hafzullah Aksoy, "Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment", Desalination, Pages ۳۴۴-۳۵۶, June ۲۰۰۷.
- [14] R.A.Sharifan, A.Roshan, M.Aflatoni, A.Jahedi, M.Zolghad, "Uncertainty and Sensitivity Analysis of SWMM model in Computation of Manhole Water Depth and Subcatchment Peak Flood", Social and Behavioral Sciences, Pages ۷۷۳۹-۷۷۴۰, ۲۰۱۰.
- [15] N.A Zaghoul, M.A Abu Kiefa, "Neural network solution of inverse parameters used in the sensitivity- calibration analyses of the SWMM model simulations", Advances in Engineering Software, Pages ۵۸۷-۵۹۵, July ۲۰۰۱.
- [16] Nabil A. Zaghoul. "Sensitivity analysis of the SWMM Runoff- Transport parameters and the effects of catchment discretisation", Advances in Water Resources, Pages ۲۱۴-۲۲۳, December ۱۹۹۳.
- [۱۷] عاطفه سبزی، مسعود نصری، "کاربرد مدل SWMM در برآورد رواناب در حوزه شهری زواره"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۰ صفحه، ۱۳۹۰.

- [۱۸] امیر کرجی، سید ابوالفضل میرقاسمی، مهدی زواری، غلامرضا نیک صفت، "کاربرد سیستم‌های GIS در مدل‌سازی سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی با نرم‌افزار SWMM"، اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری، ۸ صفحه، ۱۳۸۹.
- [۱۹] اسفندیار صنعی، "مقایسه روش‌های صنعتی و SWMM در تعیین دبی سیلاب مسیل‌ها"، اولین همایش ملی مهندسی مسیل‌ها، ۱۰ صفحه، ۱۳۸۵.
- [۲۰] مریم سلطانی، مسعود تجربی، احمد ابریشم‌چی، "مدلسازی کیفی نهرهای درون شهری با بهره‌گیری از روش‌های مدیریتی بهبود کیفیت رواناب"، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، ۱۳ صفحه، ۱۳۸۹.
- [۲۱] شهره علی‌بخشی، رامین فضل‌اولی، میرخالق ضیاتباب احمدی، "مدیریت سیلاب در حوزه‌های شهری با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری"، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، ۹ صفحه، ۱۳۸۵.
- [۲۲] زهرا عفتی، محمود رائینی سرجاز، رامین فضل‌اولی، "بهبودسازی هیدرولیکی شبکه جمع‌آوری فاضلاب و رواناب سطحی با استفاده از مدل کامپیوتری"، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۷ صفحه، ۱۳۸۷.
- [۲۳] فاطمه فلاح‌زواره، بهرام ثقفیان، کورش بهزادیان مقدم، "برآورد هیدروگراف سیل با استفاده از مدل SWMM با در نظر گرفتن عدم قطعیت توزیع مکانی بارش به روش مونت کارلو"، نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، ۸ صفحه، ۱۳۹۱.
- [۲۴] رضا افشین شریفیان، امیر روشن، محمد مهدی اوجی، "کاربرد مدل SWMM در طراحی و ارزیابی شبکه‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی شهری"، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۸ صفحه، ۱۳۸۷.
- [25] Lewis A. Rossman, (Storm Water Management Model User's Manual Version ۵,) Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, ۲۰۱۰.
- [۲۶] امین علیزاده، (اصول هیدرولوژی کاربردی)، دانشگاه امام رضا (ع) - مشهد، ۱۳۸۸.
- [۲۷] شرکت مدیریت منابع آب ایران، "راهنمای ارزیابی خسارت سیلاب"، وزارت نیرو، ۱۳۸۵.
- [۲۸] محسن دابی چینی، احمدرضا محبوبی، "بتن متخلخل (اسفنجی)"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۷ صفحه، ۱۳۸۷.
- [29] Brown and Schueler, "Costs and Benefits of Storm Water BMPs", south west region planning commission, ۱۹۹۷.
- [30] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China,
- [31] Standardization Administration of the People's Republic of China. Standard for Hydrological Information and
- [32] Hydrological Forecasting (GB/T 22482-2008); The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China: Beijing, China, 2008.