dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.40791

یادداشت فنی

تأثیر ابزارهای نفوذ و ذخیره‌ای توسعه کم اثر در مدیریت رواناب شهری سنندج

جمیل بهرامی[1]، فرزین فاروقی[1]، سید امیر حسینی[2]، داود رفیعی[3]

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه کردستان
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه کردستان
(نویسنده مسئول) amir.hosseini.uok@gamil.com
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه کردستان

(دریافت ۹٤/۷/۲۰ پذیرش ۹٤/۱۲/۲۱)

چکیده

در سال‌های اخیر توسعه کم اثر به‌عنوان روشی شناخته شده، بهترین و مقرون به صرفه‌ترین راه حل را در مدیریت و کاهش اثرات منفی سیلاب شهری ارائه نموده است. این روشِ کاربردی با بهره‌گیری از ابزارهای دوستدار محیط زیست، گامی مؤثر در توسعه پایدار بوده و اثرات شهرنشینی بر سطوح نفوذناپذیر را کاهش داده و در تغذیه و نفوذ آب‌های زیرزمینی مؤثر است. هرچند که ظهور ابزارهای توسعه کم اثر در مدیریت آبهای سطحی و حفظ کیفیت آن بسیار مؤثر است، ولی جانمایی این تجهیزات و استفاده بهینه از هر یک متناسب با شرایط محیطی در حال تغییر است. در تحقیق حاضر با استفاده از ابزارهای سلول نگهداشت ذخیره، بشکه باران، بام سبز، جوی‌باغچه و اعمال سناریوهای مختلف بارشی در دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله شهر سنندج مستخرج شده از داده‌های آماری به مقایسه و اندازه‌گیری میزان حجم و نوع رواناب در هر زیرحوضه در دو دوره زمانی قبل و بعد از توسعه پرداخته شد. برای مدل‌سازی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی حوضه یادشده از نرم‌افزار SWMM 5.1 آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا استفاده شد و با اعمال ابزارهای توسعه، میزان تغییرات پایش شد. از مهم‌ترین نتایج این پژوهش می‌توان به تغییر شکل هیدروگراف، کاهش ۵۰ درصدی زمان تمرکز و کاهش ۳۵ تا ۵۰ درصدی دبی اوج با استفاده از روش‌های توسعه کم اثر در شهر سنندج اشاره کرد. به‌طور کلی با طبقه‌بندی تجهیزات به ابزارهای نفوذ و ذخیره‌ای در کنترل روانابهای شهری می‌توان بهترین الگو را برای بازگشت به شرایط پیش از توسعه و یا حتی مدیریت سیلاب در نواحی خطرپذیر شهری انتخاب کرد.

واژه‌های کلیدی: سیلاب شهری، SWMM ، توسعه کم اثر، ابزار ذخیره‌ای

۱- مقدمه

توسعه شهرها تغییرات قابل توجهی را به فرایند چرخه هیدرولوژی وارد کرده و به‌طور خاص باعث افزایش سطوح نفوذناپذیر شده است (Shuster 2005). در نتیجه این تغییرات، بهره‌گیری از سیستم هیدرولیک شهری در کنترل سیلاب‌ها مستلزم توجه خاصی به ساختار شهری است (Putname1972). توسعه سریع شهرسازی به‌ویژه در حالت سنتی آن، مقدار سطوح نفوذناپذیر را در حوضه شهری افزایش داده و این مهم لزوم استفاده از سیستم‌های نوین با حداقل اثرات تخریبی و افزایش بهره‌وری را ضروری ساخته است (Jia et al. 2013; Ahiablame et al. 2012). در این رابطه مطالعات دیگری در خصوص تأثیرات ثانویه توسعه شهری از قبیل کاهش زمان تمرکز حوضه و تغییر کیفیت آب در نواحی با پوشش گیاهی متفاوت شهری انجام شده است (Booth et al. 2002; Hsu et al. 2000). همچنین کاهش زمان تمرکز و زمان تأخیر در سیلاب‌های شهری در پژوهش دیگری بررسی شده است (Sauer et al. 1983; Herricks 1995).

رواناب شهری و افزایش بیش از حد آن در سطح شهر عواقب مخربی از قبیل ایجاد اخلال در رفت و آمد و تخریب تأسیسات شهری را به‌دنبال دارد (USEPA 2007). اگرحالت توسعه کنونی ادامه یابد یکی از بهترین استراتژی‌های مقابله با این روند، استفاده از ابزارهای توسعه کم اثر[1] است. این شیوه مدیریت سیلاب شهری، برای اولین بار در مریلند امریکا اعمال شده و به‌عنوان راهکاری

[1] Low Impact Development

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.40791

برای مقابله با اثرات منفی شهرنشینی از جمله کاهش سطوح نفوذناپذیر مطرح شده است و از مهم‌ترین نتایج آن می‌توان به کاهش چشمگیر دبی اوج اشاره کرد (Coffman et al. 2000). مطالعات مشابهی در سایر کشورها انجام شده که از جمله آنها می‌توان به معرفی سیستم زهکشی پایدار در شهر لندن اشاره کرد (Wood-Ballard et al. 2007). در کشور چین که به واسطه رونق اقتصادی، ساخت و ساز انبوه با سرعتی زیاد دنبال می‌شود، محققان هیدرولوژی برخی از بهترین ابزارهای توسعه کم اثر را در ساخت دهکده المپیک پکن با استفاده از مدل‌سازی شبکه زهکشی و اعمال سناریوهای بهترین ابزار مدیریتی به‌کار برده‌اند (Jia et al. 2012). محققان بسیاری با تقسیم‌بندی کلی ابزارهای توسعه کم اثر به دو دسته ابزار نفوذ و ذخیره‌ای به تأثیر این روش در کاهش عدد شماره منحنی[1] پرداخته‌اند و از مهم‌ترین نتایج آنها کاهش ۲۰ درصد حجم رواناب پس از استفاده از این ابزارها بوده است (Sin et al. 2014).

در تحقیق حاضر از مدل مدیریتی SWMM که یک مدل دینامیک برای شبیه‌سازی بارش و کیفیت رواناب تولیدی از هر زیرحوضه است، استفاده شد. طرح‌ریزی مسائل مربوط به رواناب ناشی از رگبار در فاضلابروهای مرکب و مجزا برای طراحی، آنالیز و مطالعات تحقیقاتی در مناطق غیر شهری مورد استفاده قرار گرفت (Seyed Kaboli et al. 2009). مطالعات زیادی با استفاده از این نرم‌افزار انجام شده است (Jang et al. 2007; Martin-Mikle et al. 2015; Ahmadisharaf & Tajrishy et al. 2015)

با بررسی و مدل‌سازی تغییرات توسعه شهری بر میزان و حجم رواناب شهری در نقطه تمرکز و جانمایی و استفاده از ابزار مناسب، می‌توان راهکار قابل قبولی برای مدیریت سیلاب شهری و ارائه برنامه‌ای برای توسعه‌های بعدی متصور شد.

ابزارهای توسعه کم اثر را می‌توان به دو بخش ابزارهای نفوذ و تجهیزات ذخیره‌ای تقسیم کرد. روش توسعه کم اثر به‌عنوان مبنایی برای فاصله گرفتن از تبعات منفی شهرنشینی مانند افزایش مقدار و حجم رواناب، کاهش نفوذپذیری و تغذیه آب‌های زیرزمینی، کاهش دبی پایه، از دست رفتن کیفیت آبهای سطحی و رودخانه‌ها نام برد. این ابزارها تغییرات هیدرولوژیکی مربوط به دوره قبل و بعد از توسعه را به حداقل مقدار خود می‌رسانند (Sin et al. 2014).

در تحقیق حاضر ابزارهای توسعه کم اثر با توجه به امکان قرارگیری آن‌ها به دو بخش تقسیم شده است. یک بار فقط ابزارهای نفوذ مورد استفاده قرار گرفت و تأثیر آن بر میزان تغییرات لحاظ شد. بار دیگر ابزارهای ذخیره‌ای در همان نقاطی که ابزارهای نفوذ مستقر بودند، به‌کار گرفته شد. با اعمال دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله که مستخرج از آمار مربوط به حوضه مربوطه می‌باشد، رواناب حاصله متناسب با هریک از دوره بازگشت‌ها به نمایش در خواهد آمد. رواناب متناسب با هر دوره بازگشت را می‌توان به‌عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی شهری و طراحی سازه‌های آبرو مربوطه لحاظ کرد.

شهر سنندج دارای پتانسیل‌های بالای سیلاب از نظر عوامل هواشناسی و وضعیت فیزیوگرافی می‌باشد. ساختارهای سنتی و معمول جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر شامل آبروها و سیستم زهکشی با ظرفیت کافی وجود نداشته و در بیشتر نقاط، سیستم جمع‌آوری آبهای سطحی شهری که با توجه به اقلیم منطقه باید مجزا طراحی شود، با شبکه فاضلاب ترکیب می‌شود.

در این تحقیق ضمن تقسیم‌بندی ابزارها به دو دسته نفوذ و ذخیره‌ای، از پارامتری به نام نفوذناپذیری[2] استفاده شد که تغییرات مهم هیدرولوژیکی مربوط به دوره‌های مطالعاتی را به نمایش در می‌آورد. حوضه مطالعاتی به سه دوره قبل از توسعه، بعد از توسعه (شرایط کنونی) و دوره توسعه کنونی در صورت اعمال ابزارهای توسعه کم اثر تقسیم‌بندی شد. در این تحقیق ضمن توسعه برخی از نمایانگرهای عملکرد هیدرولوژیکی، تمام طیف‌های بارندگی محتمل به نمایش در آمده و تأثیر آنها در استفاده از ابزارهای توسعه کم اثر بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش تحقیق

۲-۱-۱- تشکیل ساختار تصمیم‌گیری

روند رو به توسعه شهرنشینی از لحاظ ایجاد زیرساخت‌ها، خدمات اجتماعی شهر را تحت فشار قرار داده و تأثیرات منفی بر اکوسیستم طبیعی، محیط‌زیست و به‌ویژه بر هیدرولوژی دارد (Sin et al. 2014). برای تعیین رواناب مشخصات فیزیوگرافی و خصوصیات

[1] Curve Number (CN)

[2] Imperviosness

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.40791

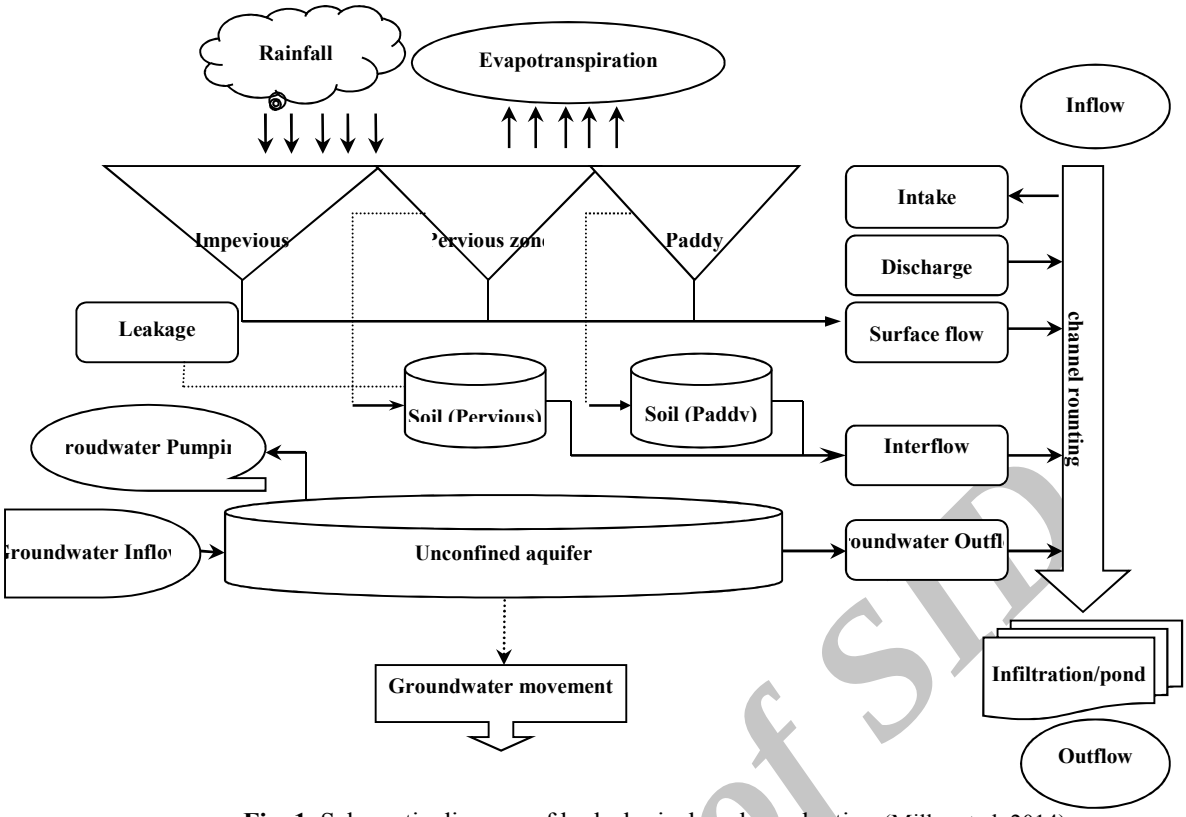


Fig. 1. Schematic diagram of hydrological cycle evaluation (Miller et al. 2014)

شکل ۱- دیاگرام شماتیک ارزیابی چرخه هیدرولوژیکی (Miller et al. 2014)

هیدرولوژیکی هر حوضه از مهم‌ترین عوامل مؤثر خواهد بود و بررسی و شناخت آن برای هر حوضه، ضروری است. خصوصیات هیدرولوژیکی می‌تواند شامل تعیین ضرایب مختلف نظیر رواناب، نگهداشت سطحی و همچنین تعیین زمان تمرکز و شدت بارش لحظه‌ای باشد (Alizadeh 2011). همچنین تعیین مشخصات هیدرولیکی و ساختمانی سیستم‌های جمع‌آوری و دفع سیلاب‌های درون شهری نیاز به برآورد نسبتاً دقیقی از مقدار رواناب شهری دارد. در شکل ۱ دیاگرام شماتیک ارزیابی چرخه هیدرولوژیکی در محدوده شهری از زمان بارش تا نفوذ نشان داده شده است (Miller et al. 2014). در این مطالعه پس از تهیه نقشه اطلاعات مکانی، کاربری اراضی محدوده مطالعاتی مشخص شده و نسبت به تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی از جمله نفوذپذیری و نفوذناپذیری با توجه به شکل ۱ اقدام شده است.

۲-۱-۲- مدل‌سازی

نرم افزار SWMM توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا[1] ارائه شده و قابلیت مدل‌سازی دینامیکی بارش-رواناب را دارا بوده و به‌کمک آن می‌توان کیفیت و کمیت رواناب را برای مناطق عمدتاً شهری برآورد کرد (Rossman 2010). یکی از اهداف نرم‌افزار، مدل‌سازی اثر هیدرولوژیکی عناصر LIDاست. امکاناتی از قبیل محاسبه رواناب برای دو حالت قبل و بعد از توسعه محل، طراحی سیستم‌های چند منظوره کنترل سیل، شبیه‌سازی مدل کنترل رواناب، انتقال و کنترل آلاینده‌های آن و همچنین طراحی همزمان سیستم زهکشی شهری و فاضلاب از مهم‌ترین قابلیت‌های این نرم‌افزار است (Zhang et al. 2010). در این مدل‌سازی برآورد سیلاب با روش موج سینماتیک (حل معادله پیوستگی جریان غیردائم و مانینگ) و ترکیب المان‌های جریان‌های سطحی و کانالیزه شده صورت می‌پذیرد؛ بنابراین دارای مبنای فیزیکی، نگاه توزیعی، امکان بررسی جداگانه نواحی نفوذپذیر و نفوذناپذیر و همچنین قابلیت شبیه‌سازی پاسخ غیرخطی حوضه به بارندگی اضافی است.

۲-۱-۳- جانمایی

جانمایی دقیق ابزارها نیازمند امکان‌سنجی آنها است لذا در این

[1] U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.40791

جدول ۱- ضرایب نفوذناپذیری سطوح با کاربری مختلف

Table 1. Impermeability coeffecients of land surfaces with different land uses

LANDUSE	Medium density	Low density	Duplex	Apartment, high Density	Commercial	Natural (park)
Impervious ratio	0.65	0.45	0.7	0.7	0.95	0.0

مطالعه مناسب‌ترین مکان برای جانمایی ابزارهای توسعه کم اثر در محدوده شهری با توجه به توسعه یافتگی کنونی آن به فضای پیاده‌روها، مناطق با فضای سبز، زمین‌های طبیعی و محدوده اطراف شبکه زهکشی کنونی تخصیص داده شد.

۲-۲- محدوده مطالعاتی

شهر سنندج از نظر طبیعی محصور بین تپه‌هایی در یک جام فضائی است. وضعیت توپوگرافی شهر و کوه‌های اطراف آن باعث شده که شهر به‌صورت طبیعی در یک دره نسبتاً مسطح محصور شود و قطعاً شکل‌گیری در جهات دیگری گسترش پیدا کرده است. رود قشلاق به‌طول ۹۵ کیلومتر از سه کیلومتری شرق شهر عبور می‌کند.

برای تعیین زیر حوضه‌ها پارامترهای هیدرولوژیکی ثابت بوده و حداکثر حجم سیلاب در آن لحاظ شد و برای انتخاب زیرحوضه‌ها سه معیار وجود سیستم زهکش در مرز حوضه، شیب و قدمت ساخت (توسعه) لحاظ شد. سیستم زهکشی اصلی در محدوده رودخانه گریاشان و قشلاق قرار داشت. با توجه به معیارهای عنوان شده محدوده مورد مطالعه به ۹ زیرحوضه تقسیم شد (شکل ۲).

۲-۳- پارامترهای هیدرولوژیکی

۹ زیرحوضه تقسیم‌بندی شده شامل ۱۱ گره و یک نقطه خروجی بود. پارامترهای هیدرولوژیکی در مدل را می‌توان به عرض (w)، مساحت(A)، ضریب زبری، ذخایر چالابی، الگوی نفوذ و الگوی ورودی بارش محدود کرد. از آنجا که مدل انتخابی توزیع مکانی گسترده[1] است، محدوده مورد مطالعه را می‌توان به اجزای مختلفی تقسیم‌بندی کرد تا بهترین توزیع مکانی برای آن بر حسب پارامترهای حساس به‌دست آید. زیرحوضه ایده‌آل به‌صورت مستطیلی با شیب و عرض ثابت بوده و توسط یک کانال زهکشی مطابق شکل ۳ شبیه‌سازی شده است. هر زیرحوضه را می‌توان به سه منطقه نفوذناپذیر با ذخایر چالابی، نفوذناپذیر بدون ذخایر چالابی و نفوذپذیر با ذخایر چالابی تقسیم کرد. خروجی حاصل از این تقسیم‌بندی در نهایت برابر پارامتری به نام عرض معادل w خواهد بود. با مشخص کردن زمان تمرکز دوره بازگشت، شدت بارندگی با استفاده از منحنی شدت-مدت-دوره بازگشت[2] به‌دست می‌آید (Mahdavi 2013). در جدول ۱، ضرایب نفوذناپذیری سطوح با کاربری مختلف استفاده شده در مدل نشان داده شده است.

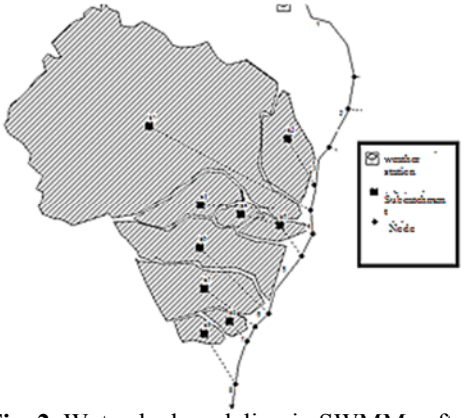


Fig. 2. Watershed modeling in SWMM software

شکل ۲- مدل‌سازی حوضه در نرم‌افزار SWMM

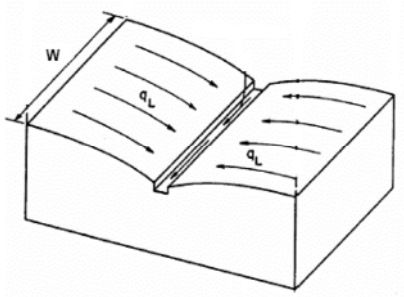


Fig. 3. Introducing the sub-basin into the model

شکل ۳- نحوه معرفی زیرحوضه به مدل

مطابق شکل ۴، در طول توسعه نوع کاربری زمین تغییر کرده است. این تغییر کاربری به شکل قابل توجهی تأثیرات خود را در میزان پارامتر نفوذناپذیری نشان می‌دهد. در جدول ۲، پارامترهای هیدرولوژیکی مدل‌سازی زیرحوضه‌های ۹ گانه با توجه به تقسیم‌بندی انجام شده نشان داده شده است.

[1] Distributed

[2] Intensity-Duration-Frequency (IDF)

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- پارامترهای هیدرولوژیکی ورودی مدل زیرحوضه‌های ۹ گانه

Table 2. Hydrological input model parameters for the 9 sub-basins

Subcathment		S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9
Area(Hectare)		2068	537	432	122	195	848	649	114	143
Width(meter)		3607	1305	1104	735	720	1421	1534	786	888
Slope(percent)		26.7	7.7	16	8.6	6	12	13	9.9	8.7
Impervious Ratio	Before development	13.8	13.02	26.4	21.12	14.24	6.44	6.48	6.79	8.74
	After Development	33	21.7	33	26.5	17.8	16.1	21.6	19.4	25

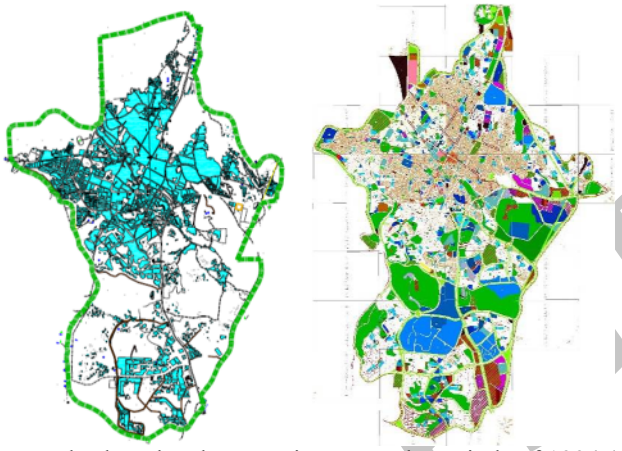


Fig. 4. Land-use changes and urban development in two study periods of 1994 (right) and 2014 (left)

شکل ۴- تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری در دو دوره مطالعاتی ۱۳۷۳ (سمت راست) و ۱۳۹۳ (سمت چپ)

۳- نتایج

نتایج خروجی مدل در نقاط تمرکز حوضه محدود شده و روند تغییرات آن را می‌توان برای هر زیرحوضه انتخابی تعمیم داد. با توجه به انتخاب الگوی بارش در دوره‌های زمانی ۲ تا ۱۰۰ ساله و ترکیب شبکه زهکشی شهری و شبکه فاضلاب ابتدا در وضعیت واقعی شهر به بررسی نوع تغییر کاربری اراضی در حجم سیلاب پرداخته و سپس با اعمال ابزارهای نفوذ و ابزارهای ذخیره‌ای متناسب با هر منطقه تغییرات این روند نسبت به اعمال این تجهیزات بررسی شد. هیدروگراف‌های خروجی در شکل‌های ۵ تا ۸

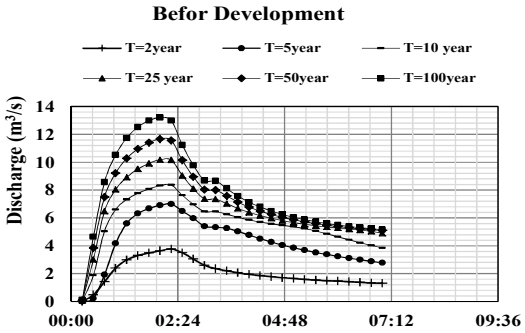


Fig. 5. Output hydrograph of the watershed before development

شکل ۵- هیدروگراف خروجی حوضه قبل از توسعه

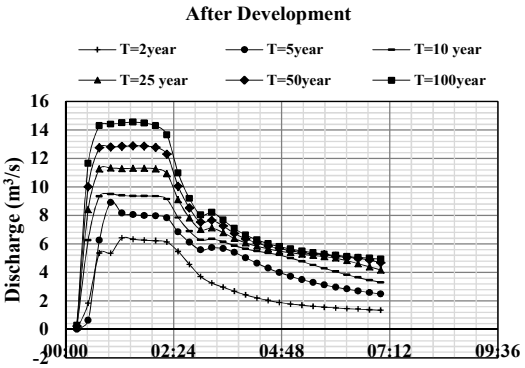


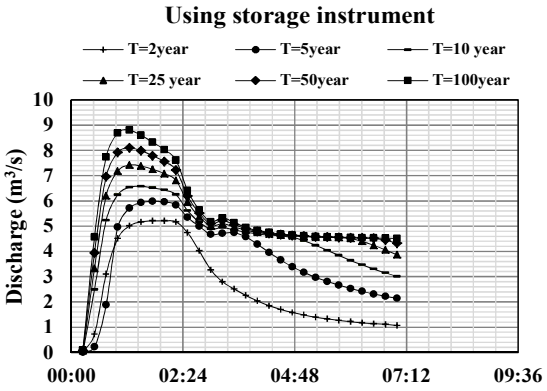
Fig. 6. Output hydrograph of the watershed after development

شکل ۶- هیدروگراف خروجی حوضه بعد از توسعه

این تغییرات را نشان می‌دهد. مقدار دبی کل مناطق ۹ گانه قبل از توسعه در محدوده دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال بین ۴ تا ۱۳ مترمکعب بر ثانیه با زمان تمرکز حدود ۲ ساعت تغییر کرده و این مقادیر در حال توسعه یافته بین ۶ تا ۱۴ مترمکعب بر ثانیه تغییر می‌کند. نتایج از لحاظ تغییرات دبی اوج، تفاوت معنی‌داری را بین روش‌های مختلف ذخیره و نفوذ نشان نداده و استفاده از هر کدام از روش‌ها با توجه به شرایط فیزیکی و امکانات اجرای این تجهیزات مناسب تشخیص داده می‌شود. با اعمال ابزارهای ذخیره‌ای و نفوذ

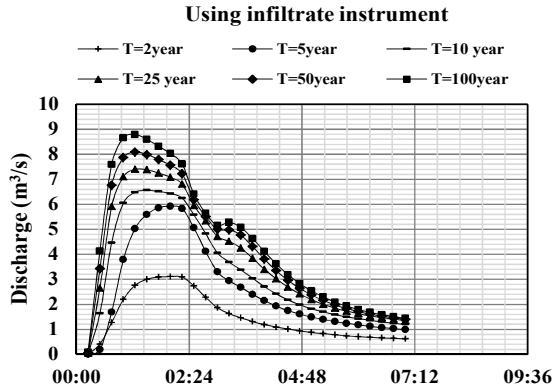
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.40791



Figu. 7. Output hydrograph of the watershed after its development with storage measures effected

شکل ۷ - هیدروگراف خروجی حوضه بعد از توسعه و اعمال ابزارهای ذخیره‌ای



Figu. 8. Output hydrograph of the watershed after its development with penetration measures effected

شکل ۸- هیدروگراف خروجی حوضه بعد از توسعه و اعمال ابزارهای نفوذ

پس از زمان توسعه، منحنی هیدروگراف سیل نسبت به دو حالت قبل تغییر شکل داده و مقدار دبی حداکثر در زمان تمرکز حدود ۱ ساعت اتفاق افتاده است. علاوه بر آن مقدار دبی اوج هیدروگراف به ۳ تا ۹ مترمکعب بر ثانیه در محدوده دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ ساله تغییر یافته است. لذا در این حالت مقدار دبی کاهش یافته بین ۳۵ درصد تا ۵۰ درصد مقدار آن در حالت قبل از اعمال ابزارهای ذکر شده می‌باشد. همان‌گونه که در هیدروگراف‌ها مشاهده می‌شود اعمال ابزارهای نفوذ حجم کمتری از رواناب را حتی در مقابل دوره قبل از توسعه از خود نشان می‌دهند زیرا مهم‌ترین پارامتر هیدرولوژیکی از جمله نفوذناپذیری به شدت دستخوش تغییر می‌شود و روند نفوذی که توسط شهرنشینی از شدت آن کاسته شده است را جبران می‌نماید.

ماهیت ابزارهای ذخیره‌ای به گونه‌ای است که رواناب را در خود نگه داشته و به مرور زمان آن را جریان می‌دهند. لذا روند نفوذپذیری را نیز تسهیل می‌بخشند. همان‌گونه که هیدروگراف مربوطه نشان می‌دهد این ابزارها زمان پایه بیشتری را لازم داشته و دبی اوج آن‌ها به نسبت ابزارهای نفوذ تداوم بیشتری دارند. زمان پایه بیشتر پتانسیل آلودگی رواناب را افزایش می‌دهد و از نقاط ضعف این ابزارها به شمار می‌آید.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات سه شکل متفاوت را برای هیدروگراف سیل با دبی اوج با تأخیر در حالت قبل از توسعه، دبی اوج کشیده، پس از توسعه و دبی اوج بدون تأخیر در حالت استفاده از توسعه کم اثر به‌دست داده است. بیشترین دبی اوج مربوط به حالت پس از توسعه با مقدار ۶ تا ۱۴ متر مکعب بر ثانیه در دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله است. در حالت قبل از توسعه دبی بین ۴ تا ۱۳ مترمکعب بر ثانیه متغیر بوده و در حالات توسعه کم اثر دبی بین ۳ تا ۹ متر مکعب متغیر بوده است. با توجه به این مقادیر، استفاده از روش‌های توسعه کم اثر موجب کاهش دبی حداکثر بین ۳۵ تا ۵۰ درصد می‌شود. حجم رواناب با استفاده از ابزار نفوذ کمتر از ابزار ذخیره‌ای بوده و با توجه به تسریع روند نفوذ در جهت جبران کاهش ذخایر منابع زیرزمینی که از دیگر تبعات منفی شهرنشینی است، گام مهمی بوده و از عواقب بعدی آن مانند نشست نیز به‌طور جدی کاسته می‌شود. به‌علاوه به کاربردن این روش‌ها موجب کاهش ۵۰ درصدی زمان تمرکز از حدود ۲ ساعت به حدود ۱ ساعت خواهد شد. اعمال ابزارهای توسعه کم اثر، الگوی تغییرات را به حالت قبل از توسعه نزدیک‌تر می‌کند. این کار از لحاظ اقتصادی نیز توجیه‌پذیر بوده و احتمال بروز خسارات جبران‌ناپذیر را کاهش داده و در افزایش حجم آب‌های زیرزمینی مؤثر خواهد بود. با طبقه‌بندی تجهیزات به ابزارهای نفوذ و ذخیره‌ای می‌توان بهترین الگو را برای بازگشت به شرایط پیش از توسعه و یا حتی مدیریت سیلاب در نواحی‌ای که خطرپذیر است، برگزید. لذا جانمایی و تعیین مکان مناسب برای استقرار و استفاده از این ابزارها به‌منظور کنترل کیفیت و جلوگیری از آلودگی، نیز به نوبه خود جای بحث دارد.

www.SID.ir

References

Ahiablame, L. M., Engel, B. A. & Chaubey, I., 2012, "Effectiveness of low impact development practices: Literature review and suggestions for future research", *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(7), 4253-4273.

Ahmadisharaf, E. & Tajrishy, M., 2015, "Siting detention basins using SWMM and spatial Multi-criteria decision making", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 25 No.6 (94), 57-66. (In Persian)

Alizadeh, A., 2011, *Principles of applied hydrology*, Astan Ghodss Publishing, Mashad, Iran. (In Persian)

Booth, D. B., Hartley, D. & Jackson, R., 2002, *Forest cover, impervious-surface area, and the mitigation of stormwater impacts*, Wiley Online Library.

Coffman, L., Clar, M. & Weinstein, N., 2000, "Low impact developmpent management strategies for wet weathe flow (WWF)", *Control Building Partnership*, doi: 10.1061/40517 (2000) 109.

Herricks, E., 1995, *Stormwater runoff and receiving systems: Impact, monitoring, and assessment*, CRC Press, USA.

Hsu, M.-H., Chen, S. H. & Chang, T.-J., 2000, "Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system", *Journal of Hydrology*, 234(1), 21-37.

Jang, S., Cho, M., Yoon, J., Yoon, Y., Kim, S., Kim, G., Kim, L. & Aksoy, H., 2007, "Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment", *Desalination*, 212(1), 344-356.

Jia, H., Lu, Y., Shaw, L. Y. & Chen, Y., 2012, "Planning of LID–BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village", *Separation and Purification Technology*, 84, 112-119.

Jia, H., Yao, H., and Shaw, L. Y., 2013, "Advances in LID BMPs research and practice for urban runoff control in China", *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 7(5), 709-720.

Mahdavi, M., 2013, *Applied hydrology*, Publishing and Printing Institute of Tehran University. (In Persian)

Martin-Mikle, C. J., de Beurs, K. M., Julian, J. P. & Mayer, P. M., 2015, "Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed", *Landscape and Urban Planning*, 140, 29-41.

Miller, J. D., Kim, H., Kjeldsen, T. R., Packman, J., Grebby, S. & Dearden, R., 2014, "Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover", *Journal of Hydrology*, 515, 59-70.

Putnam, A. L., 1972, *Effect of urban development on floods in the Piedmont Province of North Carolina*, Open-File Report, USA.

Rossman, L. A., 2010, "Storm water management model user's manual, version 5.0",

Sauer, V. B., Thomas, Jr., W., Stricker, V. & Wilson, K., 1983, *Flood characteristics of urban watersheds in the United States*, USGPO Report, USA.

Seyed Kaboli, H., Ma'azed, H., Delghandi, M. & Hemmati, M., 2009, "Qualitative and quantitative forecasting of urban wastewater basin surface using EPA SWMM software", *Fifth National Conference on Science and Engineering Watershed Iran*, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (In Persian)

Shuster, W., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E. & Smith, D., 2005, "Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review", *Urban Water Journal*, 2(4), 263-275.

Sin, J., Jun, C., Zhu, J. & Yoo, C., 2014, "Evaluation of flood runoff reduction effect of LID (Low Impact Development) based on the decrease in CN: Case studies from Gimcheon Pyeonghwa district, Korea", Procedia Engineering, 70, 1531-1538.

USEPA., 2002, *National water quality inventory 2000 report*, EPA-841-R-02-001.

Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R. & Shaffer, P., 2007, *The SUDS manual*, Ciria London.

Zhang, G., Hamlett, J. M. & Saravanapavan, T., 2010, "Representation of low impact development scenarios in SWMM", Dynamic Modeling of Urban Water Systems, Monograph, 18, 183-189.

Archive of SID

www.SID.ir