

## کاهش سیلاب در حوضه‌های شهری با استفاده از LID- BMPS در مدل SWMM و انتخاب گزینه

## برتر با روش AHP- TOPSIS

## (مطالعه موردی: منطقه شهرک گلستان سمنان)

سیده زهرا میرعمادی<sup>۱</sup>، حجت کرمی<sup>۲\*</sup>، خسرو حسینی<sup>۳</sup>، سید علی اصغر هاشمی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران دانشگاه سمنان

۲. استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران دانشگاه سمنان

۳. دانشیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران دانشگاه سمنان

۴. استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۳/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۵/۱۵)

## چکیده

با گذشت زمان و پیشرفت تمدن، دسترسی به منابع آب باکیفیت و کافی به منظور تأمین نیازهای جوامع انسانی بسیار مهم است. با افزایش سطوح نفوذناپذیر در مناطق شهری و مخاطرات سیلاب ناشی از آن، دیدگاه نوین روش‌های مدیریت LID- BMPS، برای به‌کارگیری رواناب سطحی، کاهش دبی پیک و جلوگیری از سیلاب در حوضه‌های شهری روی مناطق توسعه‌یافته یا در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، تأثیر اصلاح ابعاد کانال، طراحی مخزن برای کنترل سیلاب و تأمین آب مورد نیاز فضای سبز منطقه و استفاده از تأسیسات LID شامل اجرای ۱۰۰ درصد روسازی نفوذپذیر برای سطح پیاده‌روها و شبکه‌های باران در دو حالت (استفاده از ۱۰۰ درصد سطح پشت‌بام و استفاده از ۵۰ درصد سطح پشت‌بام) روی کاهش دبی اوج و حجم سیلاب ۱۲ زیرحوضه در محدوده مطالعاتی شهرک گلستان واقع در شهر سمنان با مدل SWMM ارزیابی شد. در نهایت، با استفاده از روش AHP- TOPSIS، شبکه‌های باران (استفاده از ۵۰ درصد سطح پشت‌بام)، با حدود ۸۱ درصد کاهش دبی پیک سیلاب برای دوره بازگشت طراحی ۵ سال و ۷۸ درصد کاهش دبی پیک سیلاب برای دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال، رتبه نخست و اصلاح ابعاد کانال، آخرین رتبه را به خود اختصاص داده‌اند.

**کلیدواژگان:** روش‌های LID- BMPS، کاهش سیلاب، مدل SWMM، AHP- TOPSIS.

## مقدمه

برای کنترل و کاهش خسارت‌های ناشی از سیل می‌توان با بهره‌برداری از سیلاب، از هدر رفتن آب جلوگیری کرد [۱]. با شیوه‌های متفاوتی مانند استفاده مستقیم و استفاده غیرمستقیم می‌توان از سیلاب به عنوان نوعی منبع آب بهره برد. رویکرد سیستم‌های مدیریتی نوین، استفاده بهینه از امکانات موجود با بیشترین بازده است. در بسیاری از کشورها همچون استرالیا، آمریکا و... سیستم‌های مدیریتی نوین به کار گرفته شده است. با استفاده از تجربیات این کشورها و توجه به پتانسیل موجود در کشور، می‌توان به بررسی و مطالعه شیوه‌های نوین مدیریتی رواناب شهری پرداخت. مدیریت رواناب به علت تنوع و پیچیدگی استفاده از زمین، جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی یک امر پیچیده در مناطق شهری است [۲]. افزایش مناطق شهری، افزایش سطوح نفوذناپذیر و تولید رواناب در سطح حوضه را موجب می‌شود [۳]. هنگامی که گیاهان و خاک توانایی جذب بارش نداشته باشند، کانال طبیعی پتانسیل عبور رواناب تولیدی را ندارد و موجب افزایش رواناب در منطقه می‌شود [۴]. تأثیرات شهرنشینی، تغییرات آب و هوایی و سطوح نفوذناپذیر افزایش سرعت رواناب و خطر سیل را به همراه دارد [۵]. به دلیل نبود دقت کافی در طراحی اصولی شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی، این شبکه‌ها قادر به پاسخ‌گویی نیاز شهری نیستند و به محض بارندگی، آب‌گرفتگی در معابر مشاهده می‌شود [۶]. از مناسب‌ترین راه‌کارهای مدیریت و کنترل سیلاب شهری می‌توان دیدگاه نوین، BMPS<sup>۱</sup> و LID<sup>۲</sup> را با کمترین آثار منفی روی مناطق کشورهای توسعه‌یافته یا در حال توسعه اعمال کرد. پژوهش‌های بسیاری به منظور کاهش سیلاب انجام شده است. از آن جمله هسو و همکاران (۲۰۰۰) در حوضه شهری چین تایپه از تلفیق نرم‌افزار SWMM<sup>۳</sup> و مدل دوبعدی پخشیدگی جریان سطحی به منظور کنترل سیلاب استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل ترکیبی ابزار مناسبی برای آنالیز سیلاب شهری است [۷]. تائه‌هو و همکاران (۲۰۰۵) مدل‌سازی حوضه‌های شهری به کمک مدل SWMM در

دوره بازگشت‌های مختلف را ارزیابی کردند. نتایج مدل‌سازی آنها نشان‌دهنده آثار معنادار مدل روی نتایج در مقایسه با دیگر متغیرهاست. تائه‌هو و همکاران همچنین دریافتند که با افزایش فراوانی باران طرح، ضریب زبری مجاری فاضلاب‌رو و شیب آنها افزایش می‌یابد و پارامترهای رواناب سطحی کاهش می‌یابد [۸]. کریمی و همکاران (۲۰۱۱) به منظور شبیه‌سازی کمی سیلاب در بخش‌هایی از حوضه شهری بابلسر از مدل SWMM استفاده کردند. مطابقت نتایج شبیه‌سازی با نتایج مشاهداتی، صحت مدل‌سازی را تأیید می‌کند و ضریب  $R^2$  بین مقادیر دبی پیک محاسبه‌شده با فرمول منطقی و شبیه‌سازی‌شده با مدل برای دوره بازگشت‌های دو، پنج، ده سال به ترتیب ۰/۹۵۳، ۰/۹۴ و ۰/۹۵ به دست آمد [۹]. هوا و همکاران (۲۰۱۳) اثر تأسیسات LID باغچه‌های باران، پشت‌بام سبز و روسازی نفوذپذیر روی مدیریت سیلاب شهری را ارزیابی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آنها نشان داد حجم رواناب کاهش یافته و شدت دبی اوج در هر یک از تأسیسات LID متفاوت است [۱۰]. جیانگ و همکاران (۲۰۱۵) شبیه‌سازی سیلاب شهر دونگوان در جنوب چین را به کمک نرم‌افزار SWMM برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ سال مطالعه کردند. آنها براساس نتایج به‌دست‌آمده، مدل SWMM را برای پیش‌بینی سیلاب شهری مناسب ارزیابی کردند [۱۱]. موحدی‌نیا و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه اثر تأسیسات LID بشکه‌های باران در بخشی از منطقه ۱۳ شهر تهران برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ ساله نشان دادند حجم آب‌گرفتگی برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ ساله به ترتیب ۴/۷، ۲۱/۶، ۹/۷ درصد در مدل‌سازی بشکه ذخیره کوچک و در بشکه ذخیره بزرگ‌تر به ترتیب ۴۷/۳، ۳۹/۶، ۳۸/۷ درصد کاهش داشته است [۱۲]. کبارفرد و همکاران (۲۰۱۸) شبیه‌سازی، صحت‌سنجی و واسنجی به منظور کاهش دبی پیک و آب‌گرفتگی شبکه رواناب سطحی در محدوده‌ای از منطقه ۲ تبریز را با EPA-SWMM مدل‌سازی کردند. آنها با ارزیابی اثر استفاده از تأسیسات LID مانند روسازی نفوذپذیر و ترانشه‌های نفوذ در شبکه رواناب سطحی دریافتند که به دلیل عدم ظرفیت شبکه، برای دوره بازگشت طراحی ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب میزان ۲۸، ۴۵ و ۴۸ درصد آب‌گرفتگی مشاهده

1. Best Management Practices
2. Low Impact Development
3. Low Impact Development

SWMM بوده است. به این منظور، شرایط موجود سیلاب منطقه در مدل شبیه‌سازی شد و با توجه به پس‌زدگی آب در شبکه جمع‌آوری سیلاب، راه‌کارهای اصلاح ابعاد مجاری، طراحی مخزن ذخیره و استفاده از رواناب حاصل از بارندگی برای آبیاری فضای سبز شهری، به‌کارگیری روش‌های نفوذپذیر در پیاده‌روها و شبکه جمع‌آوری آب باران استفاده شد. در پایان، با روش AHP-<sup>1</sup> TOPSIS<sup>2</sup>، راه‌کار برتر معرفی شد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مطالعه شده

شبیه‌سازی پژوهش حاضر در محدوده‌ای از شهرک گلستان شهر سمنان انجام شده است. محدوده مطالعاتی شهرک گلستان واقع در شمال غرب سمنان با مساحتی حدود ۲/۸۶ کیلومتر مربع (۲۸۶ هکتار)، شامل ۱۲ زیرحوضه است. کمینه و بیشینه ارتفاع منطقه به ترتیب برابر ۱۱۷۵ و ۱۲۴۳/۷۳ متر است. با توجه به نقشه واحدهای اراضی محدوده مطالعاتی کاربری بیشتر مناطق مسکونی است. همچنین براساس مشاهدات، بافت خاک منطقه شهرک گلستان کاملاً شنی است. شکل ۱ موقعیت استان سمنان در کشور ایران و شکل ۲ تصویر ماهواره‌ای موقعیت زیرحوضه‌های منطقه شهرک گلستان را نشان می‌دهد.

#### مدل شبیه‌سازی

تا کنون مدل‌های بارش رواناب بسیاری به منظور پیش‌بینی و کنترل سیلاب به کار گرفته شده است [۱۷]، که می‌توان به MIKE .STORM.ILLUDAS.MIDUSS .WALLRUS .KINEROS.URBAN و... اشاره کرد. در تحقیق حاضر، مدل EPA- SWMM با دسترسی رایگان، کارایی و کاربرد گسترده برای محاسبات زهکشی شهری و مدیریت رواناب انتخاب شد. SWMM نخستین بار در سال ۱۹۷۱ ایجاد شده و پس از آن، دستخوش چندین ارتقای کیفیت شده است [۱۸]، پس از بازدیدهای میدانی و جمع‌آوری داده‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، نقشه‌های توپوگرافی و کاربری اراضی حوضه، برای مدل‌سازی با نرم‌افزار SWMM اقدام شد.

می‌شود. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده بیان‌کننده کارایی مناسب روش ترانسه‌های نفوذ با کاهش ۸ تا ۱۰ درصدی دبی اوج و افزایش نفوذ به آب‌های زیرزمینی، در مقایسه با روش‌های نفوذپذیر در مدیریت سیلاب شهری است [۱۳]. شفیع و قنبرزاده لک (۲۰۱۹) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی مدلی برای دستیابی به مناطق مستعد اجرای تغذیه مصنوعی آبخوان زیرزمینی دشت خوی به روش پخش سیلاب تهیه کردند. براساس بررسی‌های انجام‌شده مناطق با شیب‌های ملایم و به طور متوسط در شیب‌های کمتر از ۲ درصد، کیفیت آب مناطق خوب بوده و ضخامت کافی ناحیه غیراشباع برای اجرای تغذیه مصنوعی آبخوان مطلوب است [۱۴]. طاعت‌پور و همکاران (۲۰۱۹) کانال‌های جمع‌آوری رواناب در حوضه شهری لیکک واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد را با نرم‌افزار SWMM و به کمک ضریب ناش - ساتکلیف، خطای مجموع مربعات و ضریب BIAS شبیه‌سازی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان‌دهنده عدم ظرفیت مجاری در انتقال رواناب برای دوره بازگشت‌های گوناگون و عملکرد مطلوب SWMM در مدل‌سازی دبی پیک و حجم سیلاب است. بنابراین، با اصلاح ابعاد کانال یا افزایش شیب مجاری می‌توان رواناب سطحی را جمع‌آوری کرد [۱۵]. یزدان یاراحمدی و همکاران (۲۰۱۹) با مدل EPA-SWMM، رگبارهای شش‌ساعته در دوره بازگشت‌های طراحی سیلاب ۲، ۵ و ۱۰ سال را برای منطقه ۶ شهرداری تهران شبیه‌سازی کردند. نتایج پژوهش آنها بیان‌کننده عدم ظرفیت انتقال رواناب در شرایط موجود است. از آمار پنج واقعه بارندگی برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده و سرعت رواناب برآورد شد. شاخص‌های کارایی مدل نیز شامل ناش - ساتکلیف، ریشه مربع خطا و بایاس است. نتایج واسنجی مدل مطابقت میان داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را بیان می‌کند و دقت زیاد مدل برای این منطقه را نشان می‌دهد، به طوری که مقادیر ضریب ناش (NS) برای بارش‌ها به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۸۸، ۰/۷۴ و ۰/۷۷ است [۱۶].

با توجه به اهمیت مطالعات شیوه‌های نوین در زمینه مدیریت رواناب شهری، هدف از تحقیق حاضر کاهش سیلاب برای نخستین بار در محدوده شهرک گلستان شهر سمنان با استفاده از روش‌های LID- BMPS در مدل

1. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution  
2. Analytic Hierarchy Process

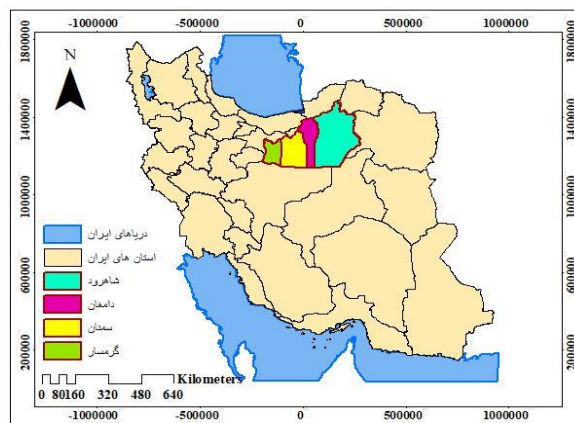


شکل ۲. تصویر ماهواره‌ای موقعیت زیرحوضه‌های منطقه شهرک گلستان

پارک‌ها و فضای سبز عمومی و برآورد کل نیاز آبی فضای سبز منطقه در یک روز، می‌توان با طراحی مخزن در گره سیلابی شبکه رواناب سطحی، علاوه بر ذخیره آب، با کاهش دبی پیک، سیلاب را مهار کرد. این سازه‌ها تأثیر مثبتی بر کنترل سیلاب دارند و انتخاب مکان نامناسب بدتر شدن شرایط سیلاب محدودده را در پی دارد [۲۱]، جمع‌آوری رواناب در محیط شهری و بهره‌برداری از آن در مصارف غیرشرب و به‌کارگیری آن در آبیاری فضای سبز راه‌کاری اقتصادی است. به این ترتیب، الگوی مصرف آب از طریق آبیاری فضای سبز اصلاح می‌شود [۲۲]. در روش‌های نوین، با اجرای سنگ‌فرش نفوذپذیر پیش‌ساخته بتنی، رواناب سطحی مدیریت می‌شود. همچنین، به دلیل میزان کم ریزدانه در بتن متخلخل و وجود حفره‌های منظم در سراسر سیستم، زهکشی مناسب فراهم می‌شود. سیستم روسازی نفوذپذیر با کنترل حجم رواناب و مزیت‌هایی مانند کاهش سروصدا، افزایش ایمنی برای رانندگان و عابران پیاده و کاهش یخ‌زدگی با توجه زهکشی مناسب در مناطق با حجم کم ترافیک، خیابان‌های محلی، پارکینگ‌ها و پیاده‌روها اجرا می‌شود [۲۳].

#### روش تصمیم‌گیری

تعداد شاخص‌های تصمیم‌گیری، تنوع معیارهای کمی و کیفی و لزوم در نظر گرفتن هم‌زمان آنها، اهمیت آثار و پیامدهای تصمیم بر پیچیدگی تصمیم‌ها می‌افزاید. از جمله روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل مسائل به منظور رتبه‌بندی و تعیین اهمیت عوامل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تکنیک TOPSIS است. AHP براساس تحلیل مغز انسان برای مسائل



شکل ۱. موقعیت استان سمنان در کشور ایران

سیل از جریان‌های غیردائمی متغیر تدریجی است. بنابراین، از روش‌های شبیه‌سازی، برای پیش‌بینی چنین پدیده هیدرولیکی پیچیده استفاده می‌شود. معادلات حاکم بر جریان تک‌بعدی در شرایط غیرماندگار، معادلات سنت و نانت هستند که مجموعه معادلات یک‌بعدی پیوستگی و اندازه حرکت هستند. معادله سنت و نانت از نوع مشتقات جزئی غیرخطی است و با حل هم‌زمان معادله پیوستگی و معادله اندازه حرکت به صورت تحلیلی یا عددی روندیابی سیل انجام می‌شود [۱۹]. با صرف نظر کردن از جریان ورودی جانبی و براساس متغیرهای هیدرولیکی، شکل دیفرانسیلی معادله به صورت رابطه معادله پیوستگی ۱ و معادله اندازه حرکت ۲ نوشته می‌شود [۲۰]:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial x} + \left(\frac{\partial A}{\partial Q}\right) \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial t} + \left(\frac{\partial Q}{\partial A}\right) \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A}\right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \quad (2)$$

که در آن Q دبی جریان، A میانگین سطح مقطع عرضی آبراهه، g شتاب گرانش،  $S_0$  شیب بستر و  $S_f$  شیب خط انرژی ناشی از مقاومت جریان است.

با بهره‌گیری از نرم‌افزار Auto Cad و براساس توپوگرافی منطقه، وضعیت آبراهه‌ها و خیابان‌های اصلی شهر حوضه‌بندی انجام شده است. سپس، با اعمال اصلاح ابعاد کانال، طراحی مخزن و استفاده از تأسیسات LID شامل روسازی نفوذپذیر و شبکه‌های باران به ارزیابی عملکرد هر یک از این اقدامات پرداخته شد.

با توجه به کاربری موجود در اختیار شهرداری شامل

است. در تحقیق حاضر از تلفیق AHP و TOPSIS (AHP-TOPSIS) برای تعیین رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شد.

### یافته‌ها

ابتدا شرایط موجود در محدوده مطالعاتی برای دوره بازگشت طراحی سیلاب ۵ سال و ۱۰ سال مطابق شکل ۳ مدل‌سازی شد. با توجه به محاسبه زمان تمرکز ۱۲ دقیقه به کمک معادله کرپیچ، شبیه‌سازی محدوده مطالعه‌شده در نرم‌افزار SWMM انجام شد. میزان بارندگی براساس منحنی شدت-مدت-فراوانی (IDF)، ایستگاه سینوپتیک سمنان است. مقدار بارندگی برای دوره بازگشت طراحی ۵ سال برابر با ۲/۰۸ میلی‌متر و برای دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال ۲/۷۰ میلی‌متر تعیین شد. مطابق شکل ۴ مشاهده می‌شود که به علت عدم طراحی صحیح شبکه، آب‌گرفتگی اتفاق می‌افتد. این امر موجب اختلال در عبور و مرور، نارضایتی عمومی، آلودگی سطح و عدم زیبایی معابر اصلی می‌شود. خلاصه نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به مقدار بارندگی، دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال در مقایسه با دوره بازگشت طراحی ۵ سال، مطابق شکل ۵ پیک سیلاب در بازه زمانی یکسان شش‌ساعته برای دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال با مقدار ۰/۸۰۶ مترمکعب بر ثانیه بیشتر از دبی اوج دوره بازگشت طراحی ۵ سال با مقدار ۰/۵۵۹ مترمکعب بر ثانیه قرار گرفته است.

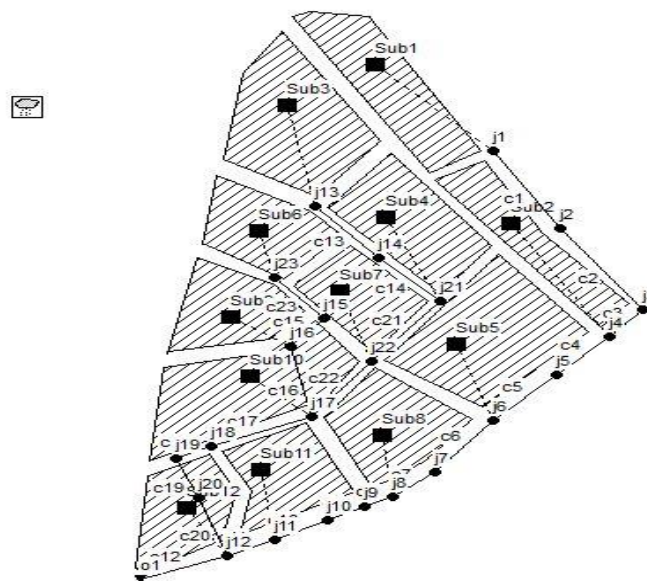
پیچیده و فازی توسط محقق به نام توماس-ال-ساعتی در دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد شده است. تکنیک TOPSIS سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ و یون برای حل مسئله مکان‌یابی کارخانه ارائه شد [۲۴]. اساس روش یادشده بر این مفهوم استوار بود که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله از راه حل ایده‌آل مثبت ( $S_i^+$ ) و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی ( $S_i^-$ ) را داشته باشد. محاسبه میزان نزدیکی نسبی هر گزینه با  $S_i^+$  و  $S_i^-$  به صورت روابط ۳ و ۴ است. همچنین، رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس میزان ضریب  $C_i^*$  از رابطه ۵ صورت می‌گیرد.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (3)$$

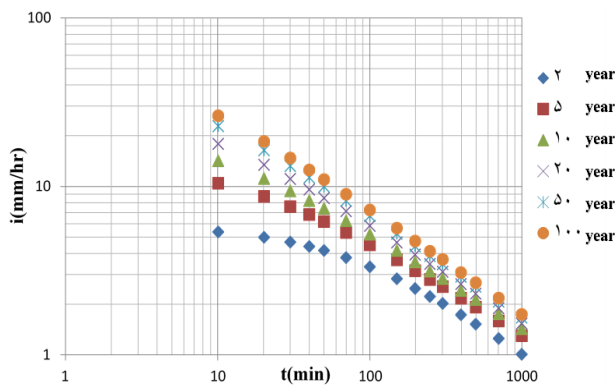
$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (4)$$

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (5)$$

ماتریس (v) در واقع حاصل ضرب مقادیر استاندارد هر شاخص در اوزان مربوط به خود است و میزان رابطه ۵، بین  $C_i^* \leq 10 \leq$  در نوسان است که  $C_i^* = 1$  نشان‌دهنده بالاترین رتبه و  $C_i^* = 0$  نیز نشان‌دهنده کمترین رتبه



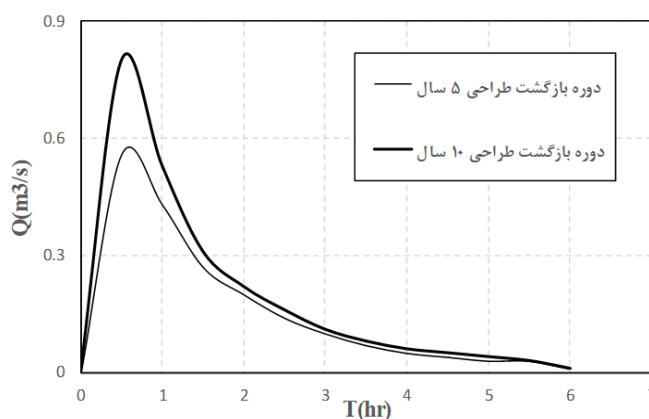
شکل ۳. مدل ساخته‌شده در نرم‌افزار SWMM



شکل ۴. منحنی شدت-مدت- فراوانی ایستگاه سینوپتیک سمان

جدول ۱. دبی اوج سیلاب در نقطه خروجی محدوده مطالعاتی در حالت عدم استفاده از تأسیسات LID

دوره بازگشت	حجم کل سیلاب (10 <sup>6</sup> Lit)	حداکثر دبی خروجی حوضه (m <sup>3</sup> /s)
۵ ساله	۳/۴۴۶	۰/۵۵۹
۱۰ ساله	۴/۳۰۹	۰/۸۰۶



شکل ۵. هیدروگراف خروجی در حالت عدم استفاده از تأسیسات LID- BMPS

از گزینه‌های موجود در جدول ۲ استفاده شده است.

جدول ۲. گزینه‌های استفاده‌شده برای کنترل دبی پیک سیلاب

شماره	گزینه‌های استفاده‌شده
۱	اصلاح ابعاد مجاری
۲	طراحی مخزن
۳	روسازی نفوذپذیر (استفاده از ۱۰۰ درصد سطح پیاده‌روها)
۴	بشکه‌های باران (استفاده از ۱۰۰ درصد سطح پشت‌بام)
۵	بشکه‌های باران (استفاده از ۵۰ درصد سطح پشت‌بام)

روش اصلاح ابعاد کانال به منظور رفع مشکل آب‌گرفتگی، تغییراتی در ابعاد شبکه رواناب صورت گرفته است که در جدول ۳ آورده شده است. ابعاد مجاری ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۱۲ در شبکه رواناب سطحی موجود به ترتیب

با توجه به اینکه ایستگاه هیدرومتری در منطقه وجود نداشته است، کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل فقط با دبی نهایی برآوردشده در هر یک از زیرحوضه‌ها به روش منطقی مقایسه شد. ضریب  $R^2$  بین مقادیر دبی پیک محاسبه‌شده با فرمول منطقی و شبیه‌سازی‌شده با مدل برای دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰ سال به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۷۲ به دست آمد. بنابراین، براساس مطابقت نتایج شبیه‌سازی با SWMM و نتایج مشاهداتی در موارد مشابه نیز صحت مدل‌سازی تأیید می‌شود.

نتایج شبیه‌سازی‌ها با استفاده از روش‌های LID- BMPS و اصلاح مقاطع کانال‌های موجود برای انتخاب راه‌کار مناسب برای کنترل دبی پیک سیلاب،

۳۵/۱۶ مگاپاسکال، ضریب نفوذپذیری ۰/۸۹۷ میلی‌متر بر ثانیه و درصد تخلخل ۶/۳ در روسازی نفوذپذیر برای کاهش حجم رواناب و جلوگیری از وقوع سیلاب به کار برده شد.

در راه‌کار جمع‌آوری باران از سطح پشت‌بام نیز با توجه به حجم رواناب و مساحت پشت‌بام هر زیرحوضه از مخازن پلی‌اتیلن استفاده می‌شود.

همان‌طور که در شکل‌های ۶ و ۷ دیده می‌شود، بشکه‌های باران (استفاده از ۱۰۰ درصد سطح پشت‌بام) با مقدار دبی اوج ۰/۱۱۴ متر مکعب بر ثانیه برای دوره بازگشت طراحی ۵ سال، ۸۳/۳ درصد کاهش دبی پیک داشته است و مقدار دبی اوج برای دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال، ۰/۱۷۸ مترمکعب بر ثانیه با کاهش ۸۰/۷ درصدی است. همچنین، بشکه‌های باران (استفاده از ۵۰ درصد سطح پشت‌بام) با حدود ۸۱ درصد کاهش دبی پیک سیلاب برای دوره بازگشت طراحی ۵ سال و ۷۸ درصد کاهش دبی پیک سیلاب برای دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال عملکرد مطلوبی در مقایسه با سایر راه‌کارها داشته‌اند.

با توجه به جدول ۴، با اصلاح ابعاد مجاری و ایجاد ظرفیت عبور جریان، حجم رواناب جریان‌یافته روی معابر به درون کانال هدایت می‌شود. بنابراین با افزایش حجم سیلاب در مقایسه با شرایط اولیه، کاهش حجم جریان منفی خواهد شد.

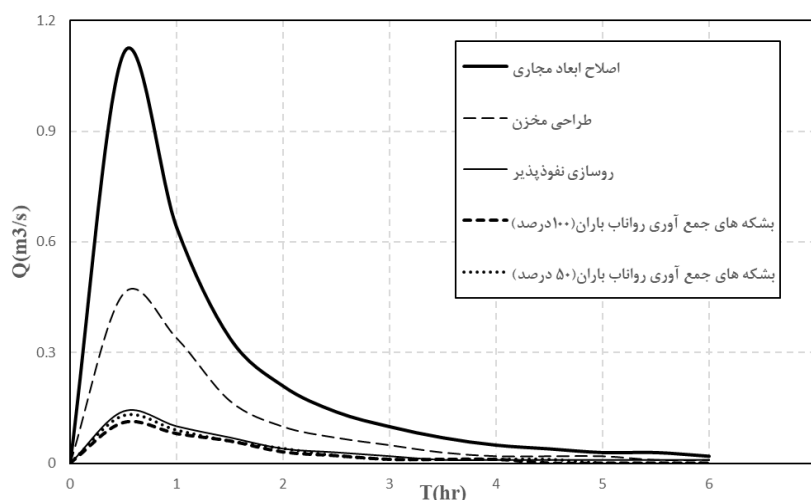
۲۰×۴۰، ۳۰×۷۰، ۴۰×۲۰ و ۵۰×۱۱۰ سانتی‌متر است. با توجه به هزینه زیاد و عدم سهولت اجرایی در بیشتر موارد، اصلاح ابعاد مجاری با مشکل روبه‌رو می‌شود.

در راه‌کار طراحی مخزن با برآورد کل نیاز آبی فضای سبز منطقه در یک روز، می‌توان از حجم آب ذخیره‌شده در مخزن برای آبیاری کل فضای سبز منطقه به مساحت ۴۹۴۷۶۶ مترمربع منطقه استفاده کرد. هیدرومدول ۲۴ ساعته به روش کالیفرنیا برابر ۰/۵۱ lit/s/ha است. با توجه به محاسبات صورت‌گرفته، کل نیاز آبی منطقه در یک روز برابر ۲۱۷۳۸۲۴ لیتر و تقریباً معادل ۲۱۷۴ مترمکعب است که می‌توان براساس حجم ۲۵۰۰ مترمکعب آب ذخیره‌شده در مخزن برای دوره بازگشت طراحی ۵ سال حدود ۸۷ درصد و حجم ۳۳۰۰ مترمکعب آب ذخیره‌شده در مخزن برای دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال حدود ۶۶ درصد نیاز آبیاری منطقه را تأمین کرد.

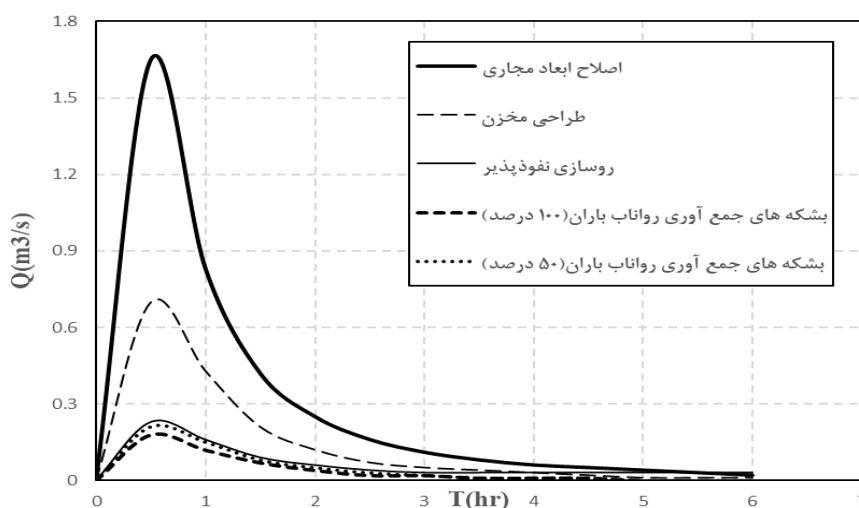
در روش روسازی نفوذپذیر، نتایج کمی حاصل از کاربرد بتن متخلخل به همراه افزودنی در معابر شهری در نظر گرفته شده است [۲۵]. به علت عبور سریع رواناب، تأثیرگذاری کم جاذب‌ها و کاهش خلل و فرج، از مقدار ریزدانه ۲۰ درصد استفاده شده است. همچنین، با توجه به عملکرد بهتر و میزان مناسب جاذب زئولیت<sup>۱</sup> در بهبود پارامترهای کیفی رواناب از تیمار حاوی ۱۰ درصد جاذب زئولیت و ۲۰ درصد ریزدانه (Z10-20) با مقاومت فشاری

جدول ۳. اصلاح ابعاد شبکه رواناب

دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال				دوره بازگشت طراحی ۵ سال				شماره کانال
۱۲	۲۰	۱۹	۱۸	۱۲	۲۰	۱۹	۱۸	
۱۸۰	۲۶۵	۱۲۷	۱۳۹	۱۸۰	۲۶۵	۱۲۷	۱۳۹	طول کانال (متر)
۱۱۰×۸۰	۶۵×۶۵	۷۰×۷۰	۷۰×۷۰	۱۱۰×۶۰	۵۰×۵۰	۶۰×۶۰	۶۰×۶۰	مقطع کانال (سانتی‌متر)



شکل ۶. هیدروگراف خروجی در حالت‌های مختلف برای دوره بازگشت طراحی ۵ سال



شکل ۷. هیدروگراف خروجی در حالت‌های مختلف برای دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال

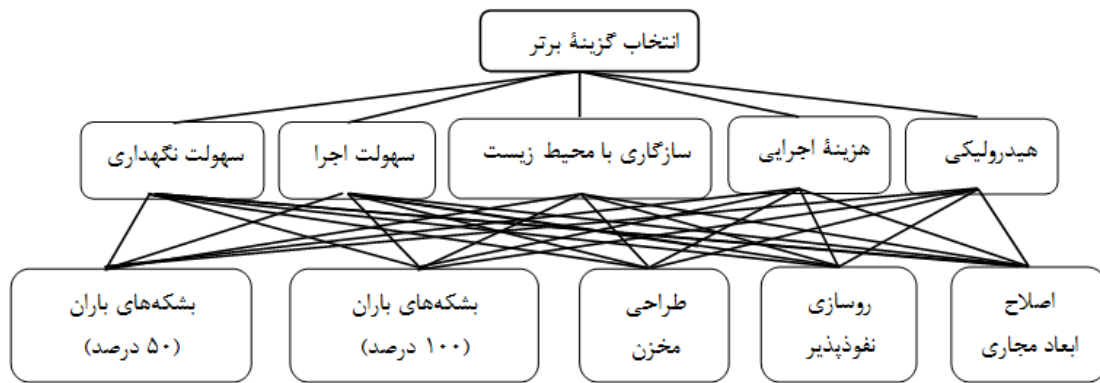
جدول ۴. عملکرد راه کارهای ارائه شده برای دوره بازگشت طراحی ۵ سال و ۱۰ سال

دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال		دوره بازگشت طراحی ۵ سال		راه کار
درصد کاهش	حجم جریان 10 <sup>6</sup> Lit	درصد کاهش	حجم جریان 10 <sup>6</sup> Lit	
-	۴/۳۰۹	-	۳/۴۴۶	عدم استفاده از تأسیسات LID
-۴۷/۷	۶/۳۵۳	-۳۷/۶	۴/۷۲۴	اصلاح ابعاد مجاری
۲۸/۵	۳/۰۸۲	۳۳/۳	۲/۲۸۷	طراحی مخزن ذخیره و تعدیل سیلاب
۶۹/۴	۱/۳۱۲	۷۶/۵	۰/۷۹۶	روسازی نفوذپذیر
۸۰/۷	۰/۸۲۳	۸۳/۳	۰/۵۷۱	بشکه‌های باران (استفاده از ۱۰۰ درصد سطح پشت‌بام)
۷۷/۸	۰/۹۵۹	۸۰/۸	۰/۶۵۵	بشکه‌های باران (استفاده از ۵۰ درصد سطح پشت‌بام)



بنابراین قضاوت‌ها قابل قبول است. در تصمیم‌گیری گروهی با بهره بردن از خرد جمعی خطای تصمیم کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه اکزل و ساعتی نشان دادند میانگین هندسی بهترین روش برای تلفیق قضاوت‌ها در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی گروهی است، بنابراین با تبدیل قضاوت‌های فردی به قضاوت گروهی به روش میانگین هندسی، وزن نهایی به کمک تکنیک AHP تعیین می‌شود. ضریب وزن نهایی برای راه‌کارهای مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. در ادامه، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها، از روش AHP- TOPSIS به شرح جدول ۶ است.

رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از AHP- TOPSIS علاوه بر خصوصیات هیدرولیکی، عواملی مانند هزینه اجرا، سازگاری با محیط زیست، سهولت اجرا و سهولت نگهداری تأثیر زیادی بر انتخاب گزینه برتر در کنترل رواناب سطحی دارند. برای انجام بهینه‌سازی چندهدفه، از تکنیک AHP استفاده شده است که ساختار آن در شکل ۸ نمایش داده شده است. در پژوهش حاضر با توزیع ۶ جدول مقایسه زوجی بین ۱۵ نفر از اساتید دانشگاهی و کارشناسان حوزه مهندسی آب تعیین اولویت و محاسبه وزن نهایی معیارها با نرم‌افزار Expert Choice انجام شده است. میزان ناسازگاری‌های محاسبه‌شده کمتر از حد مجاز (۰/۱) است،



شکل ۸. ساختار سلسله‌مراتبی

جدول ۵. ضریب وزنی نهایی حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای روش‌های مختلف

شماره	گزینه‌ها	وزن نهایی
۱	اصلاح ابعاد مجاری	۰/۱۰۸
۲	طراحی مخزن	۰/۳۰۲
۳	روسازی نفوذپذیر	۰/۱۴۴
۴	بشکه‌های باران (استفاده از ۱۰۰ درصد سطح پشت‌بام)	۰/۲۱۴
۵	بشکه‌های باران (استفاده از ۵۰ درصد سطح پشت‌بام)	۰/۲۳۰

جدول ۶. ضریب نزدیکی و رتبه‌بندی نهایی حاصل از روش AHP- TOPSIS برای راه‌کارهای مختلف

رتبه‌بندی	ضریب نزدیکی	گزینه‌ها
۱	۱	بشکه‌های باران (استفاده از ۵۰ درصد سطح پشت‌بام)
۲	۰/۹۷۳	طراحی مخزن
۳	۰/۶۱۰	بشکه‌های باران (استفاده از ۱۰۰ درصد سطح پشت‌بام)
۴	۰/۳۱۷	روسازی نفوذپذیر
۵	۰	اصلاح ابعاد مجاری

### بحث و نتیجه‌گیری

- [4]. Khaleghi M.R. The influence of deforestation and anthropogenic activities on runoff generation. *Journal of Forest Science*. 2017; 63(6): 245–253.
- [5]. Semadeni -Davies A, Hernebring C, Svensson G, Gustafsson L. The impacts of climate change and urbanization on drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater. *Journal of Hydrology*. 2008; 350(1-2): 114-125.
- [6]. Tajbakhsh M, Khodashenas, S. Revision of Surface- Runoff Drainage System by Simulation and Application of Retention Basins (Case Study: East Eghbal Catchment, Mashhad). *Water and Soil Science*. 2012; 22(1): 109-123.
- [7]. HSU M, Chen S, Chang T. Inundation simulation for urban drainage basin with storm drainage system. *Journal of Hydrology*. 2000; 234: 21-37.
- [8]. Taehwa K, Sungchul H, Jongtae L. Sensitivity Analysis of the Parameters of SWMM Based on Design Rainfall Conditions. 10. 2005.
- [9]. Karimi A, Mehrdadi N, Hashemian S, Nabi Bidhendi G, Tavakkoli-Moghaddam R. Using AHP for Selecting the Best Wastewater Treatment Process. *Journal of Water and Wastewater (parallel title ); Ab va Fazilab (in persian)*. 2011; 21(4): 2-12. [Persian]
- [10]. Hua Q, Zhuo L, Guangtao Fu. The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *Journal of Environmental Management*. 2013; 129: 577-585.
- [11]. Jiang L, Chen Y, Wang H. Urban flood simulation based on the SWMM model. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*. 2015; 368: 186-191.
- [12]. Movahedinia M, Mohammad vali samani J, Barakhasi F. Flooded areas reduction analysis by means of low impact development, rain barrel. *Water and Irrigation Management*. 2017; 7(1): 1-16. [Persian]
- [13]. Kobarfard M, Fazloulou R, Zarghami M, Akbarpour A. Efficient Assessment LID and Determining the BMP Quantitative of Urban Flooding Using at the Time Events. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*. 2018; 12(1): 40-52. [Persian]
- [14]. Shafiei M, Ghanbarzadeh Lak M. Modeling Artificial Groundwater Nourishing (through Flood Spreading) Site Selection Process based on GIS Technique and AHP Method (Case Study: Khoy Plain Aquifer). *Iran Water Resources Research*. 2019; 14(5): 253-264. [Persian]

تحلیل نتایج بیان‌کننده برطرف کردن مشکل آب‌گرفتگی شبکه جمع‌آوری رواناب شهری با اصلاح ابعاد مجاری ۱۸، ۱۹ و ۲۰ است. مخزن پلی‌اتیلنی به ابعاد ۲۵۰۰ مترمکعب برای دوره بازگشت طراحی ۵ ساله و مخزن پلی‌اتیلنی با حجم ۳۳۰۰ متر مکعب برای دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال در نظر گرفته شده است. بهره‌گیری از روسازی نفوذپذیر به مساحت ۱۱۲۵۰۰ مترمربع در سطح حوضه مطالعاتی موجب کاهش ۷۷ درصدی حجم رواناب برای دوره بازگشت ۵ ساله و کاهش ۷۰ درصدی برای دوره بازگشت ۱۰ ساله شده است. همچنین، براساس تحلیل AHP- TOPSIS، روش استفاده از بشکه‌های باران (حالت دوم: استفاده از ۵۰ درصد سطح پشت‌بام)، با کاهش حدود ۸۱ درصدی دبی اوج سیلاب برای دوره بازگشت طراحی ۵ سال و ۷۸ درصد کاهش دبی پیک سیلاب برای دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال، رتبه نخست را به خود اختصاص داده است. در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها به روش AHP- TOPSIS علاوه بر معیار هیدرولیکی، به انجام تحلیل با معیار هزینه اجرایی، سازگاری با محیط زیست، سهولت اجرا و سهولت نگهداری نیز نیاز است. بنابراین، راه‌کار بشکه‌های باران (استفاده از ۵۰ درصد سطح پشت‌بام) رتبه نخست را کسب کرده است. راه‌کارهای طراحی مخزن، بشکه‌های باران (حالت نخست: استفاده از ۱۰۰ درصد سطح پشت‌بام) و روسازی نفوذپذیر به ترتیب رتبه‌های ۲، ۳ و ۴ کسب کردند. اصلاح ابعاد مجاری نیز در آخرین رتبه قرار گرفته است. بنابراین، نتایج بررسی‌های صورت‌گرفته بیان‌کننده عملکرد مطلوب استفاده از روش‌های LID- BMPS در مدیریت کمی سیلاب در حوضه‌های شهری است.

### منابع

- [1]. Yao L, Chen L, Wei W, Sun R. Potential reduction in urban runoff by green spaces in Beijing: A scenario analysis. *Urban For Urban Green*. 2015;14(2):300–8.
- [2]. Choi K, Ball J.E. Parameter estimation for urban runoff modelling. *Urban Water*. 2001; 4: 31–41.
- [3]. Dongquan Z, Jining C, Haozheng W, Qingyuan T, Shangbing C, Zheng S. GIS-based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach, (Case study in Macau). *Environ Earth Sci*. 2009; 59: 465-472.

- [15]. Taatpour F, Khorsandi Kouhanestani Z, Armin M. Evaluating the Performance of Collection and Disposal of Surface Runoff Network Using SWMM Model (Case Study: the City of Likak, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province). *Irrigation Sciences and Engineering*. 2019; 42(2): 33-48. [Persian]
- [16]. Yarahmadi Y, Yousefi H, Jahangir M, Sadatineghad S. Evaluation of the network performance of surface water collection and guidance using the SWMM Hydrological Model (Case Study: District 6 of Tehran Municipality). *Iranian journal of Ecohydrology*. 2019; 6(2): 415-429. [Persian]
- [17]. Chen J, Adams B. Integration of artificial neural networks with conceptual models in rainfall- runoff modeling. *Journal of Hydrology*. 2006; 329(1): 274-276.
- [18]. Nix S.J. *Urban Storm water Modeling and Simulation*. Lewis Publishers, Boca Raton. 212. 1994.
- [19]. Goodarzi M, Hoseini A. Numerical modeling of the flood routing and zoning by Saint-Venant in the river Bostanak. *Journal of Civil and Environmental Researches*. 2019; 4(2): 17-31. [Persian]
- [20]. Safavi H. *Hydrology Engineering*. Isfahan University of Technology, Iran. 2015. [Persian]
- [21]. Ahmadisharaf E, Tajrishy M. Siting detention basins using SWMM and spatial Multi-criteria decision making. *Journal of Water and Wastewater*. 2013; 25(6): 57-66.
- [22]. Razmjooi N, Magdavi M, Afkhami H, Mohseni Saravi M, Moetamed Vaziri B. Flood Control and Water Supply for Irrigation of Green Spaces Using Urban Runoff Harvesting Management Design (Case Study: Region 22 of Tehran). *Journal of Environmental Science and Technology*. 2018; 20(4): 95-109. [Persian]
- [23]. Teymouri E, Mousavi S.F, Karami H, Farzin S. Performance of Porous Concrete Containing Additive in Reduction of Urban Runoff. *Journal of Structural Engineering*. 2017; 13(1): 33-43. [Persian]
- [24]. Khatami Firoozabadi A, Hamza Junaghani, S. Multi-criteria decision making in management (concepts and applications) ,Industrial Management Organization, Tehran. 2013. [Persian]
- [25]. Teymouri E. Improvement of effluent quality from wastewater treatment plants and urban runoff using porous concrete and additives. Master's Thesis of Semnan University.2016. [Persian]