نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۱، شماره ۲، ۱۳۹۸، صفحات ۴۰۸-۴۲۶

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 11, Issue 2, 2019, Pages 408-426
DOI: 10.22092/ijwmse.2017.107022.1158

ارایه سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در شهر نیشابور و انتخاب بهترین گزینه‌ها با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره

رضا لگزیان[۱]، امیر سعدالدین[*۲]، مجید اونق[۳] و اکبر علی‌پور[۴]

[۱] کارشناس ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]دانشیار، دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳] استاد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و [۴] دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۰

چکیده

یکی از مشکلات عمده در جوامع و مراکز صنعتی و شهری، رواناب ناشی از بارندگی در این مناطق و به تبع آن ایجاد آب گرفتگی می‌باشد. این تحقیق، به‌منظور حل مشکل آب گرفتگی معابر شهری و کمبود منابع آب در شهر نیشابور صورت گرفته است. پس از مشخص شدن اقدامات قابل اجرا و تدوین ۳۲ سناریوی مدیریتی برای این شهر، اثرات حاصل از اجرای سناریوهای تدوین شده با توجه به معیارهای فنی، محیط زیستی، هیدرولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی پیش‌بینی شده و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره، اولویت‌بندی سناریوها صورت گرفت. با وزن‌دهی بر اساس نتایج استخراج شده به روش دلفی در بین شرکت کنندگان دارای تحصیلات دانشگاهی شهر نیشابور، سناریوی ۲۴ (ترکیب بایوریتنشن، حوضچه نفوذ و مخزن زیرزمینی) و در بین شرکت کنندگان بدون تحصیلات دانشگاهی، سناریوی ۲۸ (ترکیب بایوریتنشن، ترانشه، چاهک، پیاده‌رو، حوضچه نفوذ و مخزن زیرزمینی) در اولویت اول اجرایی قرار می‌گیرند. یافته‌های تحقیق اخیر، به‌طور خاص راهنمای مدیران و برنامه‌ریزان شهر نیشابور در مدیریت موثرتر رواناب شهری است. همچنین، این نتایج به‌طور عمومی می‌تواند الگوی تحقیقاتی مناسبی برای سایر آبخیزهای شهری در اختیار محققان و کارشناسان قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: آب گرفتگی، بایوریتنشن، مدیریت یکپارچه، معابر شهری، منابع آب

مقدمه

جاذبه شهرنشینی، رشد سریع آن و تمایل به سکونت و سرمایه‌گذاری در شهرها و مناطق اطراف آن، باعث دگرگون شدن سیمای طبیعی یک منطقه و در نتیجه، تغییر شکل حوضه‌ها از حالت طبیعی به شهری شده است. این تغییر، برهم خوردن مسیل‌ها و زهکش‌های طبیعی و تغییر کاربری اراضی را به‌دنبال داشته است که در نتیجه آن سطوح غیر قابل نفوذ و یا با نفوذپذیری کم، افزایش یافته است که این امر موجب تشکیل سریع رواناب سطحی است (Taheri Behbahani، ۱۹۹۶).

مسئله قابل توجه این است که ماندآب‌های شهری مشکلات عدیده‌ای را سبب می‌شوند. به‌عنوان مثال، باقی‌ماندن آب باران در بین درز و ترک آسفالت موجب تخریب آسفالت در سطح خیابان می‌شود. علاوه بر این، آب جمع شده در سطح خیابان‌ها مانع عبور و مرور

[*] مسئول مکاتبات: amir.sadoddin@gmail.com

وسایل نقیله شده و بر حجم ترافیک می‌افزاید. این در حالی است که علم جمع‌آوری آب در سطوح شهرها به سرعت در حال پیشرفت است و بیشتر کشورهای پیشرفته دنیا به‌خاطر منافع عاید شده از آن مانند کاهش مصرف آب آشامیدنی و هزینه‌های مربوطه، کاهش آب گرفتگی معابر شهری و امکان نفوذ عمقی و تغذیه آب‌های زیرزمینی به این مهم می‌پردازند (Parekar و Moravej، ۲۰۰۹). بنابراین لازم است، نگرش مدیریت سنتی رواناب شهری (هر چه سریع‌تر خارج کردن رواناب از شهر) به نقطه نظر استفاده از رواناب برای تصفیه و ذخیره، تغییر یابد. در نتیجه، باید در مناطق شهری به تولید رواناب به‌عنوان یک منبع، نه به‌عنوان یک زائده، نگریسته شود (Bahri، ۲۰۱۲).

در همین زمینه Tabatabayii و همکاران (۲۰۰۹)، به طراحی و اجرای یک مخزن زیرزمینی ذخیره آب در شهر مشهد پرداختند. نتایج این طرح نشان می‌دهد که می‌توان با اجرای طرح‌های مشابه در نقاط مختلف شهر از خروج و آلودگی رواناب ناشی از بارندگی جلوگیری کرده و ضمن استفاده موثر از آن، مانع از افزایش پیامدهای منفی حاصل از آب گرفتگی شد. Fanghong و همکاران (۲۰۱۲)، با هدف استفاده از مزیت‌های رواناب‌های ناشی از بارندگی بعد از شهری شدن شهر شیجیاژوانگ[1]، به محاسبه و تجزیه و تحلیل پتانسیل استفاده از این منبع آب پرداختند و به این نتیجه رسیدند که جمع‌آوری، استفاده و همچنین، مدیریت یکپارچه رواناب‌های سطحی، تبدیل به موضوع مهمی شده است که در شهر خشکی مانند شیجیاژوانگ، درآمدها را افزایش و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و این امر با مفهوم توسعه پایدار مطابقت دارد. Jia و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی در دهکده المپیک چین (که اقدامات مدیریت رواناب سطحی مانند آسفالت نفوذپذیر[2]، مخازن نگه‌داشت زیستی (بایوریتنشن[3])، ترانشه نفوذ[4]، بام سبز[5] و مخازن ذخیره آب باران[6] در آنجا اجرا شده) به ارزیابی این اقدامات پرداختند و دریافتند که اقدامات پیشنهاد شده می‌تواند به‌ترتیب باعث کاهش ۲۷ و ۲۱ درصدی در حجم و پیک رواناب شود. در تحقیقی، Sun و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی کارایی بهترین اقدامات مدیریت رواناب سطحی و مقایسه آن‌ها تحت شرایط کنونی و تغییر اقلیم و کاربری اراضی پرداختند. در این مقایسه، از مدل SUSTAIN[7] استفاده شد و نتایج، کاهش نه درصدی در رواناب سطحی را با به‌کارگیری راه‌کار حوضچه‌های نفوذ نشان می‌دهد که این مقدار در کاهش رواناب با توجه به تغییرات اقلیم و کاربری اراضی در آینده کافی نخواهد بود. همچنین، به‌منظور کمک به منابع آبی منطقه و کاهش بیشتر رواناب به کمک بهترین اقدامات مدیریتی (مانند ترانشه‌های نفوذ) بررسی شد. با مقایسه پنج سناریوی اجرایی، بهترین اقدامات مدیریتی مشخص شدند که افزودن سناریو ترکیبی حوضچه و ترانشه نفوذ به حوضچه‌های نفوذ موجود در پایین‌دست آبخیز، اقتصادی‌ترین روش برای کنترل رواناب سطحی در مواجهه با تغییر اقلیم و گسترش شهر است و بسته به منطقه به‌کارگیری حوضچه و ترانشه نفوذ پیشنهادی می‌تواند منجر به کاهش ۲۷ تا ۳۱ درصدی در حجم رواناب شود.

روش تصمیم‌گیری چند معیاره[8] شامل یک سری از تکنیک‌ها است که اجازه می‌دهد، طیفی از معیارهای وابسته به یک مبحث امتیازدهی و وزن‌دهی شده و سپس به‌وسیله کارشناسان و گروه‌های ذی‌نفع، رتبه‌بندی شوند (Valikhani و همکاران، ۲۰۱۱). با این رویکرد، به‌جای ارائه نسخه مدیریتی از قبل تعیین شده، سعی می‌شود، علاوه بر در نظر گرفتن اجزای مورد مطالعه در سامانه، امکان اضافه کردن سایر عوامل و پارامترها، به کاربر داده شود که این خود تضمین کننده پویایی و انعطاف‌پذیری روش مورد مطالعه است (Sadoddin و همکاران، ۲۰۱۰). در این زمینه Abrishamchi و همکاران (۲۰۰۵)، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره به‌منظور کمک به

[1] Shijiazhuang
[2] Porous concrete
[3] Bioretention
[4] Infiltration trench
[5] Green roof
[6] Water storage tanks
[7] System for Urban Stormwater Treatment and Analysis Integration
[8] MCDM: Multi Criteria Decision Making

تصمیم‌گیران در انتخاب بهترین راه‌کارها برای توزیع آب موجود و آب انتقال یافته به شهر زاهدان برای تأمین نیازهای آینده این شهر استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش به‌کار گرفته شده می‌تواند برای مطالعات جامع مدیریت آب در شهر استفاده شود. Sadoddin و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی با عنوان رویکرد سناریوسازی در تصمیم‌گیری چند معیاره برای مدیریت یکپارچه آبخیز قارسیان، به بررسی اثرات مختلف فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیک اجرای سناریوهای مدیریت بیولوژیک پرداختند و پس از انتخاب گزینه‌های مدیریتی، مقادیر نشان‌گرها محاسبه و سپس استانداردسازی و وزن‌دهی با تأکید بر معیارهای مختلف انجام شد. در نهایت با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره، اولویت-بندی سناریوها صورت پذیرفت. Yang و همکاران (۲۰۱۲)، در تحقیق دیگری با تدوین سناریوهای تغییرات اقلیمی و گسترش شهر آنیانگچئون[1]، به کمی کردن تغییرات کارایی گزینه‌های مدیریتی آبخیز پرداختند، سپس گزینه مدیریتی ممکن با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره اولویت‌بندی شد. Hamidi و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی با هدف ارزیابی خطر سیلاب شهری در شهر نور استان مازندران، اقدام به تهیه نقشه پتانسیل سیل‌خیزی کردند. همچنین در این تحقیق، به‌منظور اتخاذ تصمیمات دقیق‌تر در مدیریت رواناب شهری از تلفیق روش تصمیم‌گیری چند معیاره با سامانه اطلاعات جغرافیایی در قالب یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده شده است. Morales و همکاران (۲۰۱۶) با هدف پر نمودن شکاف موجود بین استفاده از سامانه‌های پایدار زهکشی و تصمیم‌گیران محلی و منطقه‌ای به استفاده و معرفی یک سامانه پشتیبان تصمیم پرداخته و ضمن استفاده از این ابزار، به تحلیل اثرات مدیریت رواناب سطحی در محیط شهری و معرفی معیارهای سنجش و مزیت‌های استفاده از ابزارهای تصمیم‌گیری در مدیریت رواناب شهری اقدام کردند.

با توجه به جمعیت رو به رشد و توسعه روز افزون شهرک‌های مسکونی در قسمت شمالی شهر نیشابور و همچنین، گسترش تراکم ساختمانی در مرکز و مناطق جنوبی شهر، مشکلات ناشی از جریان هرزآب‌ها و آب گرفتگی شهری رو به افزایش است. برنامه‌ریزی‌ها و فعالیت‌های شهرداری نیشابور تا کنون فقط بر کنترل سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا تمرکز داشته، برای مدیریت و کنترل آب گرفتگی، راه‌کاری جز احداث چاهک نفوذ و استفاده از پمپ کف‌کش، برای مناطق با شیب منفی آن هم فقط در مواقع بحرانی، اندیشیده نشده است. با توجه به موارد فوق و همچنین، با مد نظر قرار دادن قابلیت بالای استحصال و بهره‌گیری از رواناب‌های سطحی برای جبران اضافه برداشت‌های منابع آب زیرزمینی، معرفی و ارزیابی راه‌کارهای مدیریت رواناب‌های سطحی برای این شهر از اهمیت و ضرورت به‌سزایی برخوردار است. بنابراین، این تحقیق با هدف به‌گزینی اقدامات کنترلی مدیریت رواناب سطحی در شهر نیشابور و اولویت‌بندی سناریوهای تدوین‌شده، به‌منظور کمک به حل مشکل آب گرفتگی معابر شهری و کمبود منابع آب، انجام شده است.

مواد و روش‌ها

شهر نیشابور با مساحتی حدود ۳۴۸۹ هکتار تقریباً در مرکز دشت نیشابور قرار دارد. این شهر در محدوده ″۰۹ ′۱۰ °۳۶ تا ″۰۰ ′۱۵ °۳۶ عرض شمالی و ′۴۵ °۵۸ تا ″۰۵ ′۵۰ °۵۸ طول شرقی قرار گرفته است. این شهر با شیب حدود دو درصد روی مخروط افکنه قرار دارد، به‌طوری که پست‌ترین نقطه شهر ارتفاعی حدود ۱۱۵۶ متر و بالاترین رقم ارتفاعی ۱۲۶۸ متر می‌باشد (Amirahmadi و همکاران، ۲۰۱۱). منطقه مورد مطالعه، طبق طبقه‌بندی آمبرژه، دارای اقلیم خشک سرد تا نیمه‌خشک سرد است و بر اساس تقسیم‌بندی دومارتن جزء اقلیم خشک تا نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Neyshabour Water Authority، ۲۰۱۱). بر اساس آمار ۲۲ ساله ایستگاه هواشناسی شهر نیشابور (۱۳۹۱-۱۳۷۰) میانگین بارندگی در این شهر ۲۳۳/۷۶ میلی‌متر بوده است. به‌طور کلی، سهم متوسط فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان از بارش سالانه به‌ترتیب حدود ۳۱، دو، ۲۰ و ۴۷ درصد می‌باشد. جمعیت شهر نیشابور حدود ۲۷۰

[1] Anyangcheon

هزار نفر و بعد خانوار در شهر نیشابور در حدود ۳/۵ نفر است (Statistical Center Of Iran، ۲۰۱۱). در دهه‌های اخیر، برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور رشد چشمگیری داشته، به‌طوری که متوسط افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از آمار ۵۲ حلقه چاه مشاهده‌ای طی یک دوره نه ساله آبی به میزان هفت متر گزارش شده است که افت متوسط سالیانه حدود ۰/۸ متر است (Lashkaripour و همکاران، ۲۰۰۹).

تدوین سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در شهر نیشابور: به‌منظور تدوین سناریوهای مدیریت رواناب سطحی، ابتدا هفت راه‌کار کنترل رواناب‌های شهری از بین ۱۴ راه‌کار ذکر شده در منابع علمی انتخاب شد (Lagzian و همکاران، ۲۰۱۲). راه‌کارهای انتخابی به پنج دسته (شامل بایوریتنشن؛ ترانشه نفوذ، چاهک نفوذ[1] و پیاده‌رو نفوذپذیر[2]؛ حوضچه نفوذ[3]؛ کانال علفی[4] و مخزن زیرزمینی[5]) تقسیم‌بندی شدند و هر دسته به‌عنوان یک گزینه مدیریتی مستقل در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که اقدامات مدیریتی معمولاً در ترکیب با یکدیگر اجرا می‌شوند، به‌منظور بررسی و ارزیابی تمامی حالت‌های توأم و ترکیبی اقدامات مدیریتی (2^n حالت، که n بیانگر تعداد گزینه‌های مدیریتی است)، ۳۲ سناریو مدیریتی مختلف برای مدیریت رواناب‌های شهری نیشابور تدوین و ارزیابی شد. این سناریوها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در این جدول، سناریوی یک نماینده شرایط موجود (عدم اجرای هیچ یک از اقدامات مدیریتی) است که مبنای مقایسه سایر سناریوها را فراهم می‌کند و سناریوی ۳۲ نماینده اجرای هم‌زمان همه اقدامات مدیریتی است. مناطق مناسب برای اجرای هر یک از سناریوها با در نظر گرفتن معیارهای مربوطه در محیط GIS تعیین شد و ۱۰۰ درصد مناطق مستعد برای اجرای هر سناریو مدیریت رواناب سطحی به سناریو مورد نظر اختصاص یافت.

بررسی اثرات اجتماعی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی شهر نیشابور: برای ارزیابی سطح پذیرش مردمی اقدامات انتخاب شده برای مدیریت رواناب سطحی، دو جامعه مردم بدون تحصیلات دانشگاهی و مردم دارای تحصیلات دانشگاهی در نظر گرفته شده است. برای مطالعه دقیق طی یک بررسی میدانی-اجتماعی از هر جامعه، تعداد ۳۰ پرسشنامه تکمیل شد و به‌منظور استخراج احتمال پذیرش فعالیت‌های مدیریتی، از توزیع احتمالاتی دو جمله‌ای استفاده شد. در توزیع دو جمله‌ای برای سعی‌های هر آزمایش مقدار احتمال پذیرش (P) یکسان بوده، همچنین، سعی‌ها مستقل از یکدیگر و احتمال عدم پذیرش برای هر سعی آزمایش q=1-p می‌باشد. احتمال y پذیرش در n سعی از آزمایش، از احتمال دو جمله‌ای است با رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

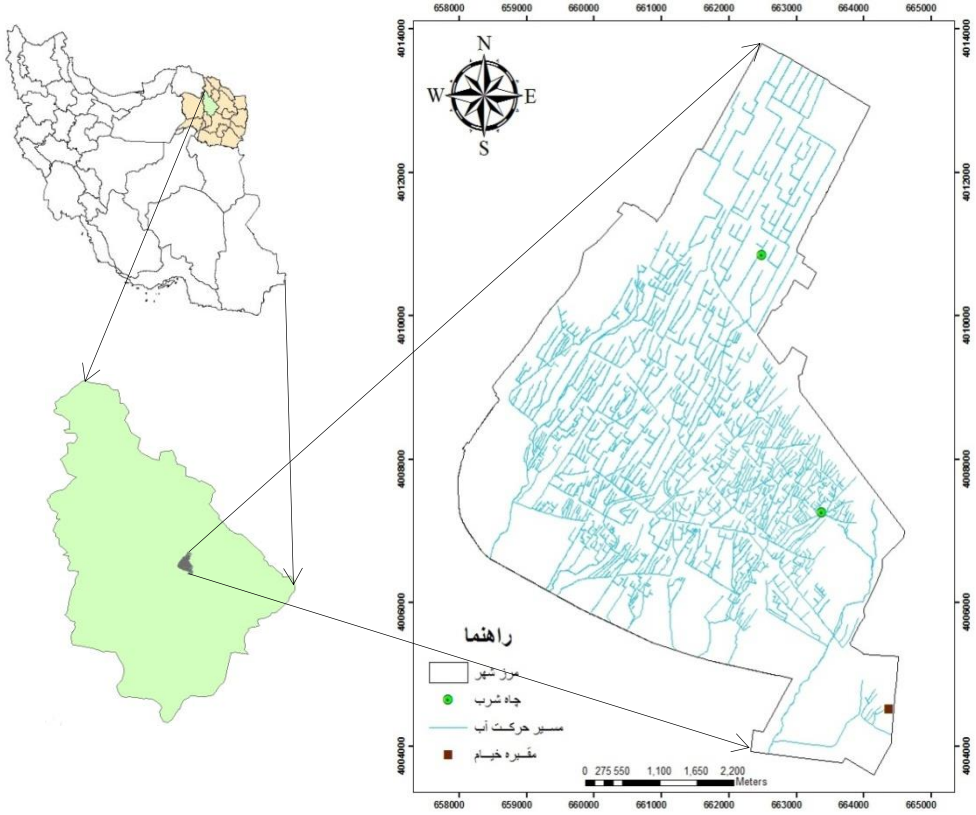
$$Pr(Yi) = \frac{n}{Yi(n-Yi)} \times Pi^{yi} \times qi^{n-yi} \qquad (۱)$$

که در آن، $Y_i = 0,1,2,...n$ و n تعداد سعی‌ها در آزمایش دو جمله‌ای (تعداد شرکت کننده)، Pi احتمال پذیرش (پاسخ مثبت) سناریوی i در هر سعی، qi احتمال عدم پذیرش سناریوی i در هر سعی، yi تعداد موارد پذیرش سناریو i در n سعی، $Pr(yi)$ احتمال پاسخ مثبت در n سعی و I شماره سناریو (۱، ۲، ۳، ...) است (Sadoddin، ۲۰۱۰).

در تجزیه و تحلیل پذیرش اجتماعی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی، چهار سطح (عدم پذیرش، پذیرش کم، پذیرش متوسط و پذیرش زیاد) در نظر گرفته شد. در ارتباط با این چهار سطح پذیرش، پیش فرض‌هایی برای تبدیل تعداد پذیرش سناریوی I در n سعی به مقیاس کیفی به شرح زیر در نظر گرفته شده است.

اگر در بالاترین حد، سه سعی از ۳۰ سعی آزمایش مثبت باشد، به‌عنوان عدم پذیرش تلقی شده است. در صورتی‌که تعداد سه سعی از ۱۰ سعی آزمایش مثبت باشد، به‌عنوان پذیرش کم، تعداد ۱۱ سعی از ۲۰ سعی، مثبت باشد به‌عنوان پذیرش متوسط و بالاخره ۲۱ سعی از ۳۰ سعی، مثبت باشد، به‌عنوان پذیرش زیاد تلقی می‌شوند. با توجه به این پیش‌فرض‌ها برای هر یک از اقدامات، احتمال وقوع بر حسب درصد برای چهار سطح پذیرش محاسبه شد.

[1] Soak-away
[2] Porous pavement
[3] Infiltration basin
[4] Grass channel
[5] Underground detention



شکل ۱- نقشه موقعیت شهرستان نیشابور در ایران و استان خراسان رضوی و مسیرهای حرکت آب در شهر نیشابور

جدول ۱- سناریوهای تدوین شده برای مدیریت رواناب سطحی در شهر نیشابور

سناریو / گزینه مدیریتی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲
بایوریتنشن	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱
ترانشه نفوذ- چاهک نفوذ- پیاده‌رو نفوذپذیر	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱
حوضچه نفوذ	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
کانال علفی	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱
مخزن زیرزمینی	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱

*عدد صفر نماینده عدم وجود فعالیت و عدد یک نماینده وجود فعالیت می‌باشد.

بررسی اثرات هیدرولوژیکی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی: پس از شناسایی اقدامات ممکن برای مدیریت رواناب سطحی در شهر نیشابور و دانستن کمینه شرایط لازم برای استقرار هر طرح اجرایی که از منابع علمی موجود در این زمینه استخراج شده است، طی بازدیدهای میدانی که ۱۰ روز به‌طول انجامید، به مکان‌یابی اقدامات انتخاب شده در سطح شهر پرداخته شد، تا بدین ترتیب با دانستن سطح و مکان اجرای روش‌های مدیریت رواناب سطحی، محاسبات هیدرولوژیکی و برآورد تأثیر آن‌ها در کاهش حجم رواناب خروجی از شهر و کاهش آب گرفتگی معابر شهری، ممکن شود. در این تحقیق، به‌منظور برآورد وضعیت موجود از نظر رواناب خروجی، از بارش طرح برابر با زمان تمرکز و میانگین وزنی ضریب رواناب

برای کاربری‌های مختلف شهری استفاده شده است. پس از برآورد زمان تمرکز و محاسبه مقدار بارندگی و ضرب این مقادیر در مساحت شهر با اعمال ضریب رواناب، حجم رواناب تولیدی در دوره بازگشت دو ساله به‌دست آمد. دلیل انتخاب این دوره بازگشت، این بود که بر اساس نظریه مقادیر حدی در هیدرولوژی، دوره بازگشت محتمل‌ترین سیل سالانه، تقریباً حدود دو سال است (Gumbel، ۲۰۰۴).

برآورد زمان تمرکز: به‌منظور برآورد زمان تمرکز حوزه آبخیز شهری نیشابور از هشت روش کالیفرنیا[1]، کرپیچ[2]، کارتر[3]، زمان تاخیر SCS[4]، کربای-هاتاوی[5]، اداره هوانوردی آمریکا[6]، اسپی-وینسلو[7] و برانسبی-ویلیامز[8] استفاده شد. با توجه به مساحت، شیب و موقعیت شهر، فرمول کارتر منطقی‌ترین سرعت را برای حرکت آب در کانال (یک متر بر ثانیه) ارائه داد. بنابراین، در نهایت این فرمول انتخاب شد و زمان تمرکز به‌دست آمده از روش کارتر (۲/۳۶ ساعت) مبنای محاسبات هیدرولوژیکی قرار گرفت. مدت زمان بارش طرح نیز برابر با ۲/۳۶ ساعت لحاظ شد. در این تحقیق، به‌منظور به‌دست آوردن شدت بارندگی در دوره بازگشت مورد نظر (دو ساله)، به‌علت موجود نبودن منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در ایستگاه هواشناسی شهر نیشابور، ناگزیر از رابطه تجربی (۲) که برای نقاط مختلف ایران در بارندگی‌هایی بین ۱۵ دقیقه تا ۲۰ ساعت ارائه شده، استفاده شد (Alizadeh، ۲۰۰۶).

$$P_T^t = [0.4524 + 0.2471\,ln(T - 0.6)] \times (0.3710 + 0.6184t^{0.4484}) \times P_{10}^{60} \quad (۲)$$

که در آن، P_T^t مقدار بارندگی در دوره بازگشت و مدت بارندگی مورد نظر (میلی‌متر)، t مدت بارش طرح (ساعت)، T دوره برگشت مورد نظر (سال) و P_{10}^{60} مقدار باران یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله (میلی‌متر) است که برای ایران از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{P}_{10}^{60} = 2.26\,(\mathrm{P}_{24\mathrm{th}})^{1.1374} \times (\mathrm{P}_{\mathrm{year}})^{-0.3072} \quad (۳)$$

که در آن، P_{24th} متوسط بیشینه بارش‌های ۲۴ ساعته (میلی‌متر) و P_{year} متوسط بارندگی سالانه منطقه (میلی‌متر) می‌باشد. انواع کاربری اراضی شهر نیشابور به همراه ضریب رواناب و شماره منحنی در نظر گرفته شده برای هر یک از آن‌ها (Wanielista، ۱۹۹۹) در جدول ۲ مشخص شده است.

محاسبه ظرفیت نفوذ و نگه‌داشت آب اقدامات انتخاب شده به‌منظور برآورد تأثیر آن‌ها در کاهش حجم رواناب سطحی: از بین هفت اقدام کنترلی انتخاب شده، چاهک‌های نفوذ آب باران از سال‌های گذشته تا کنون در شهر نیشابور اجرا شده است. بنابراین، به‌منظور برآورد تأثیر هیدرولوژیکی این اقدامات، ابتدا به بررسی وضع موجود در شهر نیشابور پرداخته می‌شود. به‌علت نبود آمار و اطلاعات دقیقی از تعداد و عمق چاهک‌های نفوذ موجود، از مشورت کارشناسان مسئول این امر در شهرداری نیشابور استفاده شد. به گفته آن‌ها حدود ۵۰۰ حلقه چاهک در شهر مذکور موجود است که عمق متوسط آن‌ها شش متر، به‌صورت استوانه‌ای با شعاع ۸۰ سانتی‌متر است و تعداد بیشتر این چاهک‌ها در قسمت‌های پایینی و وسط شهر که بافت اولیه شهر را تشکیل می-دهد، وجود دارند. برای محاسبه ظرفیت نگهداری این چاهک‌ها، اقدام به محاسبه حجم استوانه شده است، همچنین، برای محاسبه ظرفیت نفوذ آن‌ها در مدت بارش طرح با داشتن کمینه نرخ نفوذپذیری خاک، سطح مقطع و تعداد چاهک‌ها می‌توان تلفات از طریق این چاهک‌ها را محاسبه نمود.

[1] California
[2] Kirpich
[3] Carter
[4] SCS lag
[5] Kerby-Hathaway
[6] Federal Aviation Agency
[7] Espey-Winslo
[8] Bransby-Wiliams

جدول ۲- مساحت، ضریب رواناب و شماره منحنی کاربری‌های مختلف شهری در دوره بازگشت دو ساله

ردیف	کاربری	مساحت (هکتار)	ضریب رواناب	شماره منحنی
۱	فضای سبز عمومی	۳۱/۸۵	۰/۲۸	۷۴
۲	پارکینگ	۱/۹۶	۰/۷۳	۹۸
۳	اداری	۶۹/۴۳	۰/۷۳	۸۵
۴	آموزشی	۱۱/۴۶	۰/۷۳	۷۵
۵	مسکونی	۱۱۵۵/۶۲	۰/۷۳	۸۵
۶	تاسیسات عمومی	۱۴۲/۰۳	۰/۷۳	۸۵
۷	درمانی	۸۹/۴۲	۰/۷۳	۷۵
۸	مذهبی	۵/۵	۰/۷۳	۷۵
۹	تجاری	۵۶/۸۳	۰/۷۳	۹۲
۱۰	ورزشی	۳۵/۷۱	۰/۷۳	۶۸
۱۱	توریستی	۶۵/۳۷	۰/۷۳	۸۵
۱۲	ورزشگاه انقلاب	۲۰/۲۷	۰/۳۳	۷۷
۱۳	استادیوم تختی	۲/۸۵	۰/۲۸	۶۹
۱۴	باغداری	۱۶/۳۹	۰/۳۱	۶۵
۱۵	کشاورزی	۴۵۷/۷۷	۰/۳۱	۷۲
۱۶	پیاده‌رو	۱۳۱/۶۵	۰/۷۳	۸۹
۱۷	خیابان آسفالته	۱۰۷۳/۳۵	۰/۷۳	۹۸
	مساحت کل	۳۴۸۹/۱۹	۰/۶۶	۸۶/۴۸

به‌منظور تعیین کمینه نرخ نفوذپذیری خاک پس از تعیین بافت خاک، سه ترانشه ساختمانی در بالا، وسط و پایین شهر، نرخ نفوذ هر نمونه خاک از جدول مربوطه که در آن کمینه نرخ نفوذ خاک با توجه به بافت خاک ارایه شده است (Wanelista، ۱۹۹۹)، استخراج شد. با بررسی اجمالی، فرض بر این گذاشته شد که تعداد ۵۰ حلقه از چاهک‌ها نرخ نفوذی برابر با نمونه خاک بخش بالایی شهر، تعداد ۱۰۰ حلقه از آن-ها نرخ نفوذی برابر با نمونه خاک بخش وسط شهر و تعداد ۳۵۰ حلقه باقی‌مانده نرخ نفوذی برابر با نمونه خاک بخش پایینی شهر دارند. علاوه بر این، ۵۰۰ حلقه چاهک موجود در شهر نیشابور، از بازدیدهای میدانی احداث هفت چاهک دیگر نیز پیشنهاد شد. همچنین، از بین اقدامات کنترلی اشاره شده در بالا، چاهک نفوذ، حوضچه نفوذ و مخزن نگه‌داشت زیستی توانایی نگه‌داشت آب را دارند که در حوضچه نفوذ این مقدار برابر با ۲۰ سانتی‌متر لحاظ شده، در مخزن نگه‌داشت زیستی به میزان شش سانتی‌متر گزارش شده است (Georgia Stormwater Management Manual، ۲۰۰۱). بنابراین با داشتن سطح حوضچه نفوذ و سطح مقطع مخزن نگه‌داشت زیستی و بیشینه ارتفاع قابل نگهداری در آن‌ها، می‌توان حجم نگه‌داشت را نیز محاسبه کرد. همچنین، اقدامات مخازن نگه-داشت زیستی، ترانشه نفوذ، کانال علفی، پیاده‌رو نفوذپذیر و حوضچه نفوذ در هنگام طراحی در منطقه باید کمینه نرخ نفوذپذیری را داشته باشند. با داشتن این کمینه نرخ نفوذ که برای سامانه‌های نگه‌داشت زیستی، ترانشه نفوذ و حوضچه نفوذ برابر با ۱۲/۷ میلی‌متر بر ساعت، کانال علفی ۶/۸۵ میلی‌متر بر ساعت و پیاده‌رو نفوذپذیر ۱۰/۱۶ میلی‌متر بر ساعت در نظر گرفته می‌شود (Stormwater Georgia Management Manual، ۲۰۰۱)، همچنین، با داشتن سطح مقطع هر کدام از آن‌ها و مدت بارش طرح می-توان کاهش حجم رواناب ناشی از نفوذ در مدت بارش طرح را به‌وسیله این اقدامات کنترلی محاسبه کرد. آخرین اقدام انتخاب شده استفاده از مخازن زیرزمینی برای ذخیره و استفاده از رواناب سطحی است. به‌منظور حصول اطمینان از پر شدن مخزن در طول

سال، حجم مخزن یک‌بار با بیشترین میانه بارندگی ماهانه و یک‌بار با کمترین آن برآورد شده و سپس از دو مقدار به‌دست آمده میانگین گرفته می‌شود. بیشترین میانه بارندگی در شهر نیشابور مربوط به بهمن ماه با ۳۵/۷۵ و کمترین میانه مربوط به مرداد ماه با صفر میلی‌متر می‌باشد، لذا حجم به‌دست آمده برای بهمن ماه بر دو تقسیم و حجم نهایی مخزن محاسبه می‌شود.

نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی و موقعیت چاه‌های شرب: سطح پایینی اقدامات انتخاب شده برای مدیریت رواناب سطحی باید کمینه فاصله‌ای را تا سطح آب زیرزمینی منطقه داشته باشند تا موجب انتقال آلاینده‌های همراه با رواناب سطحی به سفره آب زیرزمینی نشوند. بیشینه این فاصله مربوط به اقدام ترانشه نفوذ، به میزان ۱/۲ متر بیان شده است. همچنین، مکان اجرایی اقدامات کنترلی انتخاب شده باید دست‌کم ۳۰ متر با چاه‌های شرب عمومی فاصله داشته باشند تا از سلامت آب شرب اطمینان حاصل کرد (Stormwater Management Manual Georgia، ۲۰۰۱). برای بررسی وجود محدودیت از نظر سطح آب زیرزمینی، نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی، بر اساس آمار پیزومترهای شهرستان نیشابور در سال ۱۳۹۰ تهیه شد. همچنین، در محدوده شهر نیشابور دو عدد چاه شرب برای مصرف عمومی وجود دارد، بدین منظور مکان چاه‌های شرب در شهر مشخص شد و پس از ترسیم حریم مورد نظر (۳۰ متر) در اطراف آن، اقداماتی که در این محدوده قرار گرفته بودند، حذف شدند. موقعیت چاه‌های شرب واقع در محدوده شهری در شکل ۱ مشخص شده است.

بررسی اثرات اقتصادی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در شهر نیشابور: در این تحقیق، اثرات اقتصادی هر سناریو با توجه به هزینه‌های استقرار و نگهداری به‌منظور برآورد هزینه کاهش یک متر مکعب رواناب سطحی برای هر سناریو، پیش‌بینی شده است. تمامی هزینه‌های مذکور، برای اقدامات انتخابی بر اساس فهرست‌بهای آبخیزداری، ابنیه و فضای سبز سال ۱۳۹۲ لحاظ شده است. برای به‌دست آوردن هزینه‌های آتی از میانگین نرخ تورم ۲۰ سال گذشته که برابر با ۲۲ درصد می‌باشد، استفاده شد و برای ایجاد امکان مقایسه هزینه‌های هر اقدام کنترلی در این پژوهش، پس از در نظر گرفتن دوره مشترک۲۰ سال (بیشینه عمر مفید در نظر گرفته شده برای اقدامات مدیریت رواناب سطحی مربوط به مخزن زیرزمینی) تمام هزینه‌های آتی با نرخ بهره ۲۰ درصد به ارزش کنونی تبدیل شد.

بررسی اثرات فنی و زیست محیطی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در شهر نیشابور: از بین معیارهای کیفی در نظر گرفته شده، دو شاخص عمر مفید و کاهش بار آلودگی مرتبط با هر اقدام از منابع کتابخانه‌ای و دو شاخص سهولت اجرا و زیبایی منظر با استفاده از قضاوت کارشناسی بر مبنای روش دلفی، تعیین شدند. در این تحقیق، برای تعیین اولویت اقدامات از نظر شاخص‌های سهولت اجرا و زیبایی منظر از نظرات هفت نفر متخصص استفاده شده است و پس از دستیابی به اجماع نسبی در اولویت‌ها، به هر اقدام امتیاز یک تا هفت داده شده، به‌طوری که اولویت اول امتیاز هفت و اولویت آخر امتیاز یک را می‌گیرد. اولویت‌بندی در هر سناریو هم بر اساس میانگین امتیازات اقدامات موجود در آن سناریو مشخص می‌شود.

فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره برای تعیین اولویت سناریوهای مدیریت رواناب سطحی: به‌دلیل این‌که معیارهای مورد استفاده در این تحقیق دارای ماهیت یکسان نیستند، باید شرایطی برای مقایسه معیارها فراهم شود. بنابراین، با استفاده از استانداردسازی یا بی‌بعد کردن مقادیر معیارها به روش بیشینه، معیارها در محدوده صفر تا یک استاندارد شدند و در مرحله بعد هر یک از مقادیر استاندارد شده، در وزن متناظر با آن ضرب شده، جمع وزنی نمرات همه معیارها محاسبه می‌شوند، که در نهایت امتیاز حاصل‌جمع، اساس تعیین دسته سناریوهای برتر به‌منظور اولویت‌های اجرایی است. در روش استانداردسازی، معیارها در نهایت به دو گروه از نوع منفعت و یا هزینه تقسیم شده و از روابط (۴) و (۵) به‌ترتیب متناسب با هر گروه برای استانداردسازی مقادیر معیارها، بهره گرفته می‌شود (Sharifi، ۲۰۰۴). برای گروه منفعت از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

(۴) (حداکثر امتیاز معیار در بین سناریوها/امتیاز معیار

در هر سناریو) =مقدار استاندارد شده معیار برای هر سناریو

و برای گروه هزینه از رابطه (۵) استفاده می‌شود.

(۵) حداکثر امتیاز معیار در بین سناریوها/(امتیاز معیار در هر سناریو-حداقل امتیاز معیار در بین سناریو)-۱=مقدار استاندارد شده معیار برای هر سناریو

پس از انجام تحقیق، بر اساس روش و مراحل مختلفی که در بخش قبل به آن‌ها پرداخته شده است، در این قسمت، نتایج حاصل از تحقیق ارائه می‌شود.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه و تحلیل اجتماعی: در جدول ۳ مقادیر پارامترهای ورودی در تجزیه و تحلیل اجتماعی مربوط به دو جامعه دارای تحصیلات دانشگاهی و بدون آن برای ۳۲ سناریوی مدیریت رواناب سطحی در شهر نیشابور ارائه شده است.

برای هر یک از سناریوها به‌طور مستقل احتمال وقوع بر حسب درصد برای چهار سطح پذیرش محاسبه شد که نتایج آن به‌صورت هیستوگرام در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

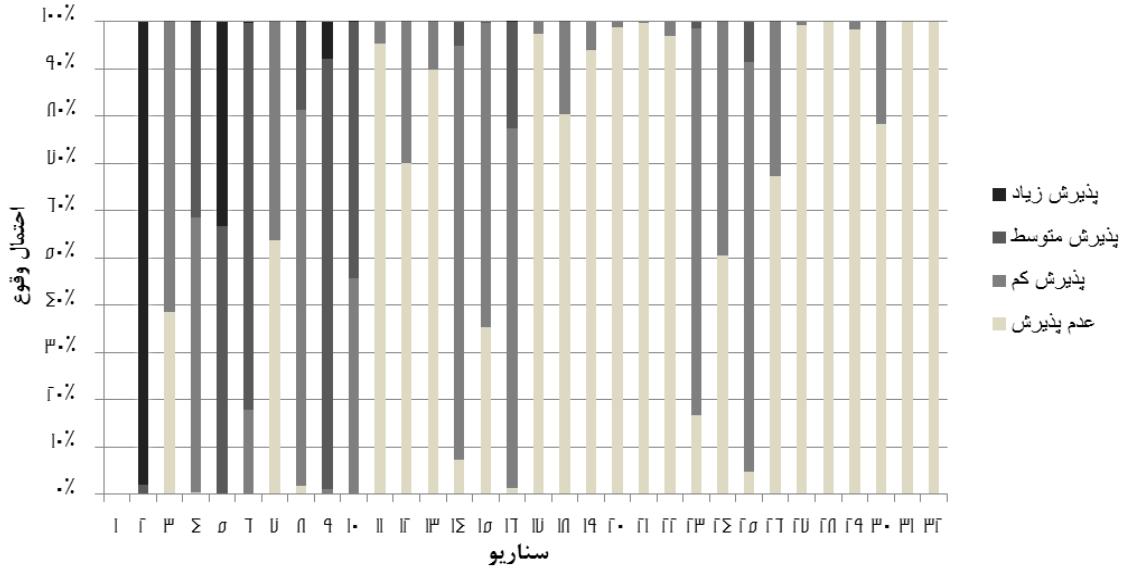
همان‌طور که از شکل‌های ۲ و ۳ مشخص است، سناریوهای مختلف مدیریت رواناب سطحی احتمالات وقوع متفاوتی در هر یک از سطوح پذیرش را دارا می‌باشند. به‌طوری که در هر دو جامعه دارای تحصیلات دانشگاهی و نیز بدون تحصیلات دانشگاهی، سناریوی ۲ (احداث مخزن نگه‌داشت زیستی) بیشترین احتمال وقوع برای سطح پذیرش زیاد را دارا است، در برابر آن در هر دو جامعه، سناریوهای ۳۱ و ۳۲ با کمترین پذیرش مردمی همراه هستند. دلیل انتخاب دو جامعه دانشگاهی و غیر دانشگاهی، سنجش آگاهی و نظرات مردم این دو جامعه نسبت به روش‌های نوین مدیریت رواناب سطحی و در اختیار قرار دادن این اطلاعات به مدیر شهری برای تصمیم‌گیری است.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای ورودی در تجزیه و تحلیل اجتماعی برای سناریوهای مدیریت رواناب سطحی

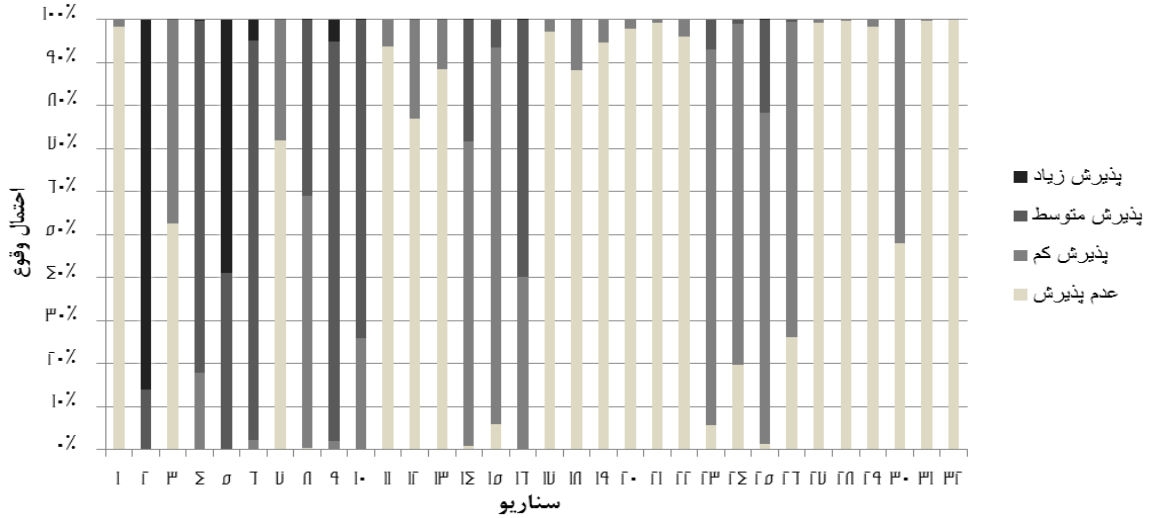
جامعه دارای تحصیلات دانشگاهی			جامعه بدون تحصیلات دانشگاهی		
سناریو	احتمال پذیرش	سناریو	احتمال پذیرش	سناریو	احتمال پذیرش
۱	۰/۰۳	۱۷	۰/۰۳	۱	۰/۰۶	۱۷	۰/۰۳
۲	۰/۸۳	۱۸	۰/۰۷	۲	۰/۷۶	۱۸	۰/۰۶
۳	۰/۱۳	۱۹	۰/۰۵	۳	۰/۱۱	۱۹	۰/۰۴
۴	۰/۳۳	۲۰	۰/۰۳	۴	۰/۴۳	۲۰	۰/۰۳
۵	۰/۶۶	۲۱	۰/۰۲	۵	۰/۷	۲۱	۰/۰۲
۶	۰/۴۳	۲۲	۰/۰۴	۶	۰/۵۳	۲۲	۰/۰۴
۷	۰/۱۱	۲۳	۰/۱۸	۷	۰/۰۸	۲۳	۰/۲۳
۸	۰/۲۷	۲۴	۰/۱۲	۸	۰/۳۳	۲۴	۰/۱۷
۹	۰/۵۵	۲۵	۰/۲۴	۹	۰/۵۳	۲۵	۰/۲۸
۱۰	۰/۳۶	۲۶	۰/۰۹	۱۰	۰/۴	۲۶	۰/۱۶
۱۱	۰/۰۴	۲۷	۰/۰۲	۱۱	۰/۰۵	۲۷	۰/۰۲
۱۲	۰/۰۹	۲۸	۰/۰۱	۱۲	۰/۰۸	۲۸	۰/۰۲
۱۳	۰/۰۶	۲۹	۰/۰۳	۱۳	۰/۰۶	۲۹	۰/۰۳
۱۴	۰/۲۲	۳۰	۰/۰۸	۱۴	۰/۳	۳۰	۰/۱۲
۱۵	۰/۱۴	۳۱	۰/۰۱	۱۵	۰/۲۳	۳۱	۰/۰۱
۱۶	۰/۲۸	۳۲	۰/۰۱	۱۶	۰/۳۷	۳۲	۰/۰۱

نتایج تجزیه و تحلیل اقتصادی: برای مقایسه سناریوها از نظر اقتصادی، هزینه استقرار و نگهداری هر سناریو برای کاهش حجم یک متر مکعب رواناب سطحی مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به شکل ۴، می‌توان مشاهده کرد که سناریوی ۶ (مخزن زیرزمینی) و سناریوی ۱۵ (حوضچه نفوذ-مخزن زیرزمینی) به‌ترتیب هر کدام با ۱/۹۳ و ۱/۹۴ میلیون ریال برای کاهش یک متر مکعب رواناب سطحی

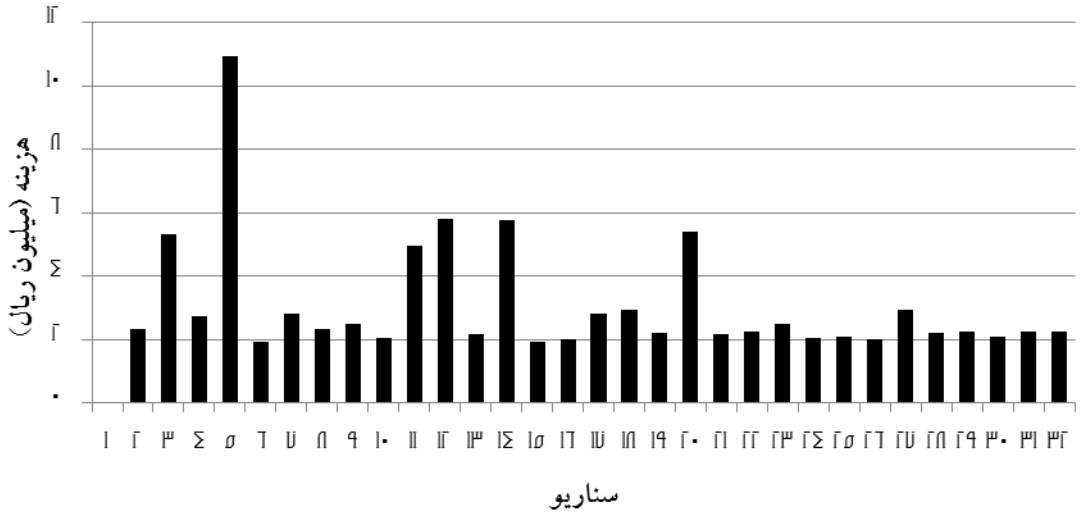
ارزان‌ترین سناریو هستند. این در حالی است که قیمت اجرای هر کدام از مخازن زیرزمینی بسیار بالاست، اما با توجه به حجم زیادی از رواناب سطحی که در این مخازن ذخیره می‌شود، ارزان‌ترین سناریوی ممکن برای کاهش حجم مشخصی از رواناب در شهر نیشابور است. همچنین، سناریوی ۵ (کانال علفی) و ۱۲ (ترانشه، چاهک، پیاده‌رو نفوذپذیر-کانال علفی) به‌ترتیب با ۱۰/۹۴ و ۵/۷۹ میلیون ریال برای کاهش یک متر مکعب رواناب سطحی گران‌ترین سناریوهای ممکن برای اجرا و کاهش حجم رواناب سطحی در شهر نیشابور هستند. زیرا اقدامات موجود در این سناریوها علاوه بر نرخ نفوذ پایین نسبت به سایر سناریوها، توانایی نگه‌داشت و ذخیره رواناب سطحی را ندارند.



شکل ۲- هیستوگرام احتمال وقوع پذیرش سناریوهای مدیریت رواناب سطحی برای چهار سطح پذیرش در جامعه مردم دارای تحصیلات دانشگاهی



شکل ۳- هیستوگرام احتمال وقوع پذیرش سناریوهای مدیریت رواناب سطحی برای چهار سطح پذیرش در جامعه مردم بدون تحصیلات دانشگاهی

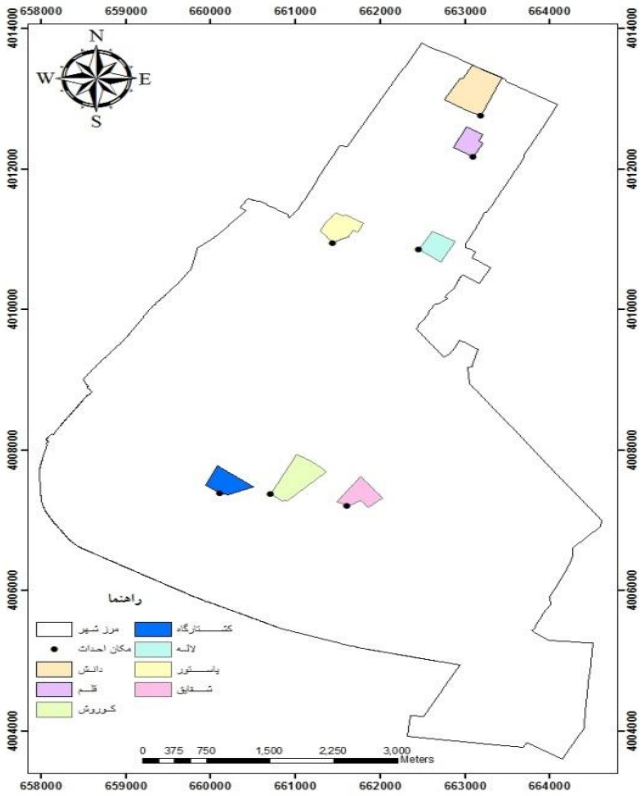


شکل ۴- مقایسه هزینه‌های اجرا و نگهداری سناریوهای مختلف برای کاهش یک متر مکعب رواناب سطحی در شهر نیشابور

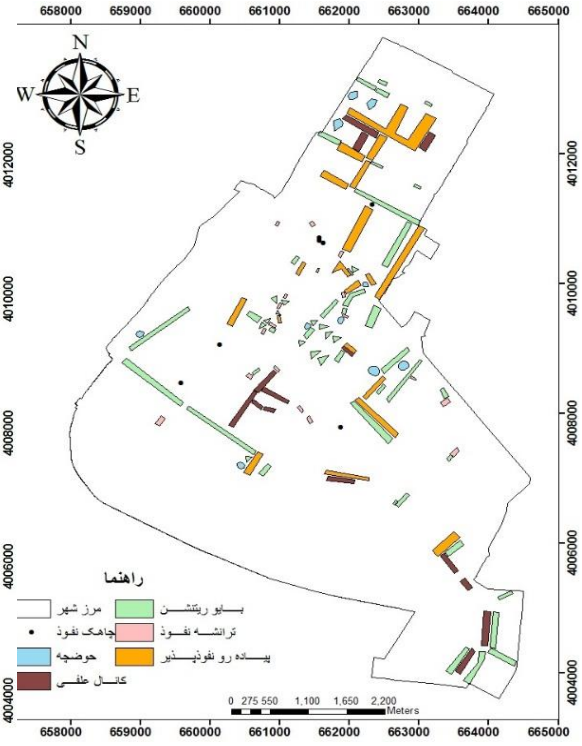
نتایج تجزیه و تحلیل هیدرولوژیکی: در این بخش، ابتدا نقشه‌های موقعیت مکانی اقدامات کنترلی پیشنهادی در سطح شهر و نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی ارائه شده است. همان‌گونه که از شکل ۷ مشخص است، کمینه عمق آب زیرزمینی در بالاترین سطح خود حدود ۱۸ متر است که از این لحاظ محدودیتی برای اجرای روش‌های مدیریت رواناب سطحی در شهر وجود ندارد.

جدول ۴ پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه و شدت بارندگی در مدت بارش طرح را نشان می‌دهد.

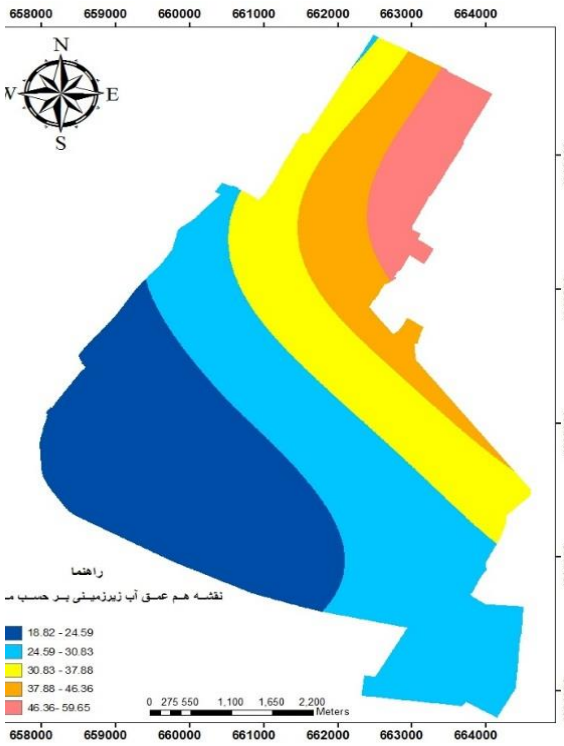
در جدول ۵ اطلاعات مربوط به نمونه‌برداری خاک برای تعیین بافت و کمینه ظرفیت نفوذ آن ارایه شده است.



شکل ۵- نقشه موقعیت مکانی و آبخیز بالادست مخازن در نظر گرفته شده برای شهر نیشابور



شکل ۶- نقشه پراکنش شماتیک اقدامات انتخاب شده برای مدیریت رواناب در سطح شهر نیشابور



شکل ۷- نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی در شهر نیشابور

جدول ۴- شدت بارندگی و حجم رواناب تولیدی در دوره بازگشت دو ساله در شهر نیشابور

مدت بارش طرح (ساعت)	دوره بازگشت (سال)	متوسط بارندگی سالانه منطقه (میلی‌متر)	شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت)	ارتفاع بارندگی در دوره بازگشت دو ساله (میلی‌متر)	حجم رواناب تولیدی (هزار متر مکعب)
۲/۳۶	۲	۲۳۳/۷۶	۴/۳۳	۱۰/۲۴	۲۳۸

جدول ۵- بافت خاک و حداقل ظرفیت نفوذ برای نمونه‌های برداشت شده در شهر نیشابور

شماره نمونه	مقطع نمونه‌برداری	بافت خاک	حداقل ظرفیت نفوذ (میلی‌متر بر ساعت)*
۱	۱	کلی لوم	۲/۲۸
	۲	شن	۲۱۰/۰۵
	۳	لوم	۱۳/۲
	۴	شنی لومی	۲۵/۹
	کف	سیلتی لومی	۶/۸۵
۲	۱	سیلتی لومی	۶/۸۵
	۲	سیلتی کلی لوم	۱/۵۲
	۳	شنی رسی لومی	۴/۳۱
	۴	شنی لومی	۲۵/۹
	کف	لوم	۱۳/۲
۳	۱	سیلتی لوم	۶/۸۵
	۲	لوم	۱۳/۲
	۳	لوم	۱۳/۲
	۴	شنی رسی لومی	۴/۳۱

* اقتباس از Wanielista (۱۹۹۹)

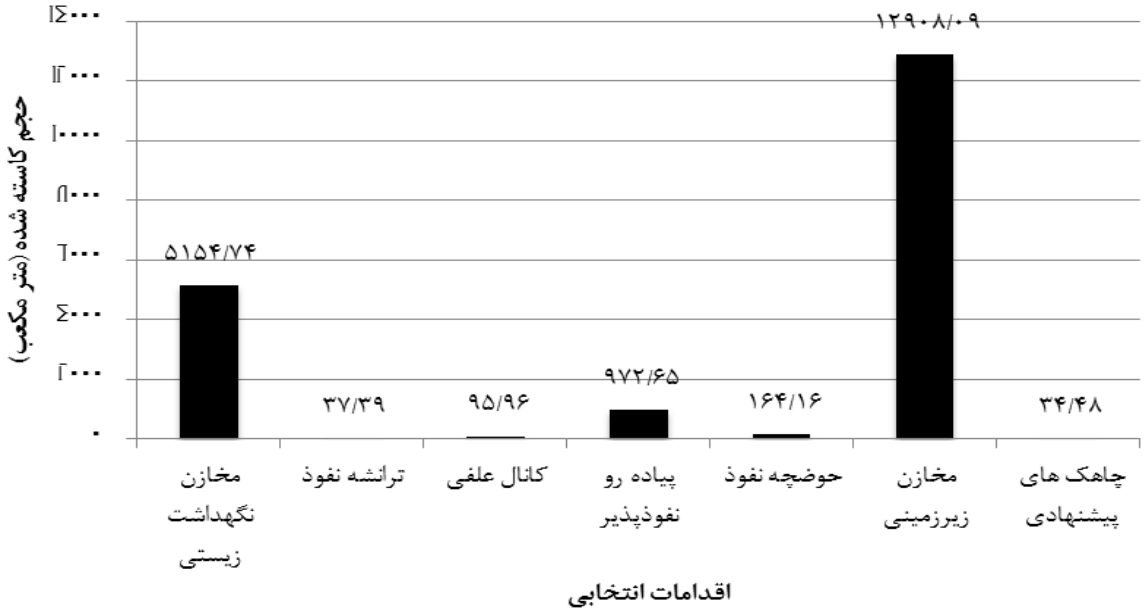
طبق جدول ۵، بیشترین نرخ نفوذ مربوط به بافت شنی و کمترین نرخ نفوذ مربوط به بافت سیلتی کلی لوم می‌باشد. در ادامه، مساحت مربوط به سطح بالادست مخازن زیرزمینی و ضریب رواناب وزنی محاسبه شده برای هر کدام از آن‌ها در جدول ۶ ارائه خواهد شد تا محاسبه حجم ذخیره در هر مخزن امکان پذیر شود.

شکل ۸ میزان کل حجم رواناب کاهش یافته (شامل ظرفیت نفوذ و نگه‌داشت) را برای اقدامات پیشنهاد شده نشان می‌دهد. شکل ۹ نشان دهنده میزان حجم کاهش یافته رواناب سطحی پس از اجرای هر سناریوی مدیریتی است، همان‌گونه که مشخص است، بیشترین حجم کاهشی مربوط به سناریوی ۳۲ است که اجرای تمام اقدامات پیشنهادی برای مدیریت رواناب سطحی را در بر می‌گیرد.

تفاوت در میزان نرخ نفوذپذیری، تفاوت در ظرفیت نگه‌داشت رواناب سطحی و تفاوت در سطح و اندازه پیشنهادی هر اقدام کنترلی برای شهر نیشابور، دلایل تفاوت کاهش حجم در تکنیک‌های پیشنهادی می‌باشد.

جدول ۶- ضریب رواناب وزنی و حجم محاسبه شده برای مخازن زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در شهر نیشابور

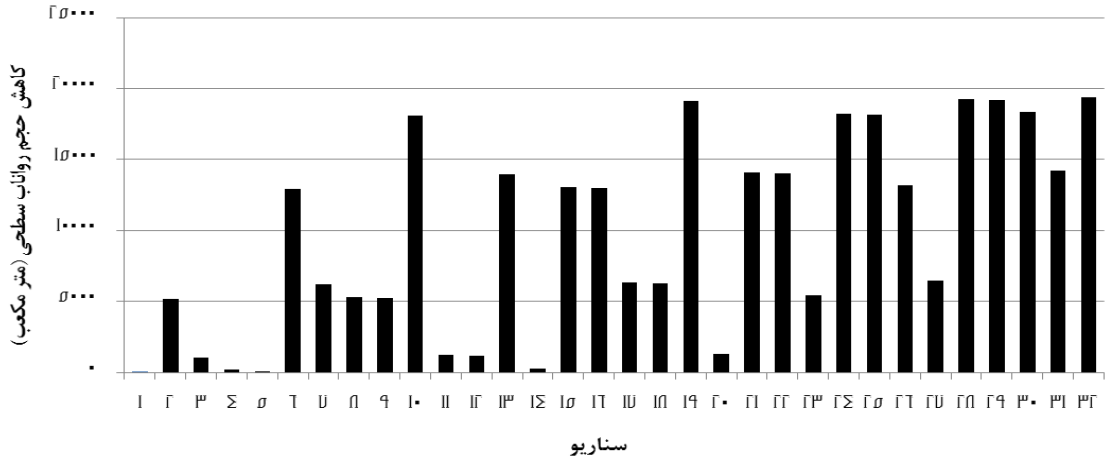
مخزن	انتهای بلوار دانش	پارک قلم	پارک کوروش	پارک کشتارگاه	پارک لاله	پارک پاستور	پارک شقایق
مساحت بالادست (هکتار)	۲۶/۷۱	۸/۷۷	۲۰/۹۴	۱۲	۹/۹۴	۱۲/۳۷	۱۱/۵۵
ضریب رواناب	۰/۷۲	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۳
حجم (متر مکعب)	۳۴۷۷/۹۶	۱۰۱۹/۹۸	۲۴۴۳/۴۲	۱۵۴۶/۷۸	۱۲۹۷/۸۴	۱۶۱۴/۹۲	۱۵۰۷/۱۸



شکل ۸- مقایسه کاهش حجم رواناب سطحی در راه‌کارهای مختلف مدیریتی در شهر نیشابور

از میان اقدامات پیشنهادی، تنها مخازن زیرزمینی می‌توانند میزان حجم قابل توجهی آب را در خود ذخیره کرده، برای آبیاری فضای سبز و حتی شست و شوی خیابان‌ها از آب ذخیره شده در آن‌ها استفاده کرد و بدین‌ترتیب علاوه بر کاهش مشکل آب گرفتگی معابر شهری، می‌توان به کاهش فشار بر منابع آبی منطقه اثر گذاشت و از منابع موجود به‌طور بهینه استفاده کرد که این موضوع با یافته‌های Tabatabayii و همکاران (۲۰۰۹) هم‌خوانی دارد. اجرای این اقدامات کنترلی در مناطق مختلف شهر می‌تواند تأثیر زیادی بر

کاهش آب گرفتگی معابر داشته باشد، زیرا علاوه بر این‌که از درصد نفوذناپذیری شهری و تولید رواناب در منطقه می‌کاهد، می‌تواند رواناب ایجاد شده از مناطق و محله‌های شهری را دریافت و بدین ترتیب از جاری شدن و پیوستن رواناب ایجاد شده به یکدیگر در مناطق مختلف شهر بکاهد و بدین ترتیب دبی اوج خروجی از شهر را کاهش دهد. در کل از حجم ۲۳۸ هزار متر مکعبی ایجاد شده در مدت بارش طرح می‌توان حدود ۱۹/۵ هزار متر مکعب از آن را به‌وسیله اقدامات پیشنهادی مهار و یا به زمین نفوذ داد که این مقدار حدود نه درصد از کل رواناب تولیدی می‌باشد و با توجه به این مسئله که این حجم به‌طور مستقیم از سطح شهر و خیابان‌ها گرفته می‌شود؛ بنابراین، می‌توان انتظار داشت که تأثیر قابل توجهی در کاهش آب گرفتگی معابر شهری و کمک به حفظ ظرفیت کانال‌های زهکشی و سرریز نشدن آن‌ها داشته باشد که این نتایج با یافته‌های Jia و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر اثرگذاری اقدامات پیشنهادی در کاهش حجم و پیک رواناب هم‌خوانی دارد.



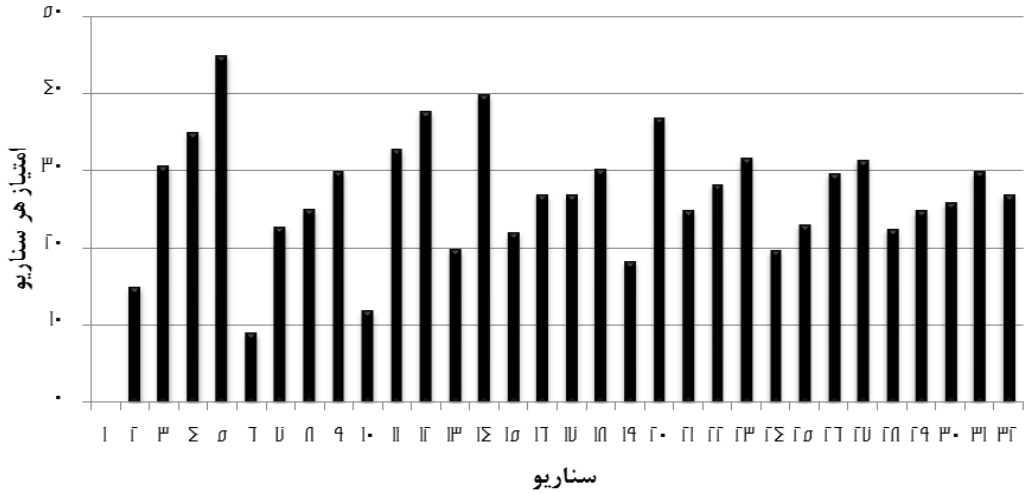
شکل ۹- مقایسه میزان کاهش حجم رواناب سطحی در هر سناریو مدیریتی در شهر نیشابور

نتایج تجزیه و تحلیل معیار فنی: اولویت هر اقدام در دیدگاه کارشناسان از نظر شاخص‌های سهولت اجرا و عمر مفید در جدول‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشخص است، سناریوی ۵ بیشترین نمره و سناریوی ۶ (بعد از وضع موجود) کمترین نمره را از نظر شاخص سهولت اجرا در نگاه کارشناسان کسب کرده‌اند. همچنین، در بین سناریوهای موجود (شکل ۱۱)؛ سناریوی ۶ دارای بیشترین و سناریوی ۴، ۵ و ۱۴ دارای کمترین عمر مفید متوسط هستند.

نتایج تجزیه و تحلیل معیار محیط زیستی: اولویت هر اقدام در دیدگاه کارشناسان (نتایج حاصل از فرایند دلفی) از نظر شاخص‌های زیبایی منظر و کاهش بار آلودگی در جدول‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. همچنین، در بین سناریوها از نظر نمره مرتبط با زیبایی منظر از دیدگاه کارشناسان؛ سناریوهای ۲ و ۶ (بعد از وضع موجود) به‌ترتیب بیشترین و کمترین نمره را کسب کرده‌اند و سناریوی ۴ با حدود ۸۴ درصد و سناریوی ۶ (بعد از وضع موجود) با ۲۵ درصد کاهش در میزان بار آلودگی بیشترین و کمترین درصد را در بین سایر سناریوها دارا هستند (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

جدول ۷- اولویت‌بندی هر اقدام مدیریتی از نظر شاخص سهولت اجرا در منطقه مورد مطالعه

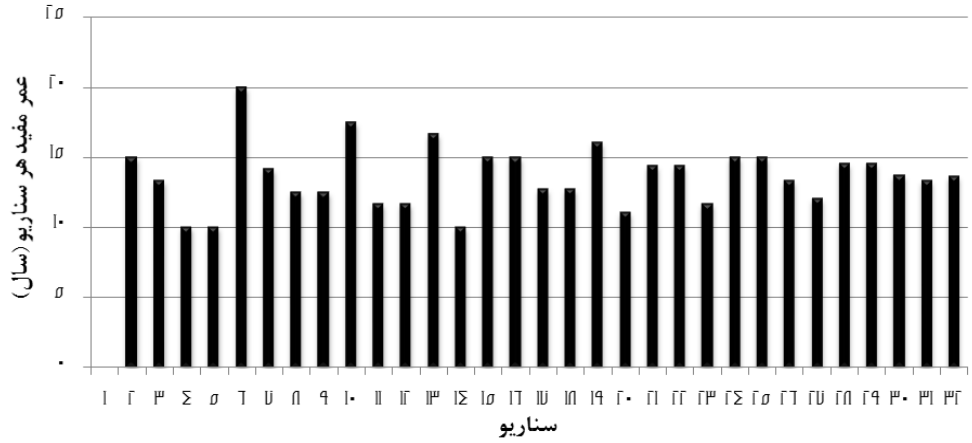
نام اقدام	بایوریتنشن	ترانشه نفوذ	کانال علفی	پیاده‌رو نفوذپذیر	حوضچه نفوذ	چاهک نفوذ	مخزن زیرزمینی
اولویت	۶	۴	۱	۲	۳	۵	۷



شکل ۱۰- متوسط امتیاز مربوط به هر سناریو در معیار سهولت اجرا

جدول ۸- عمر مفید اقدامات پیشنهادی

نام اقدام	بایوریتنشن	ترانشه نفوذ	کانال علفی	پیاده‌رو نفوذپذیر	حوضچه نفوذ	چاهک نفوذ	مخزن زیرزمینی
عمر مفید (سال)	۱۵	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰	۱۰	۲۰

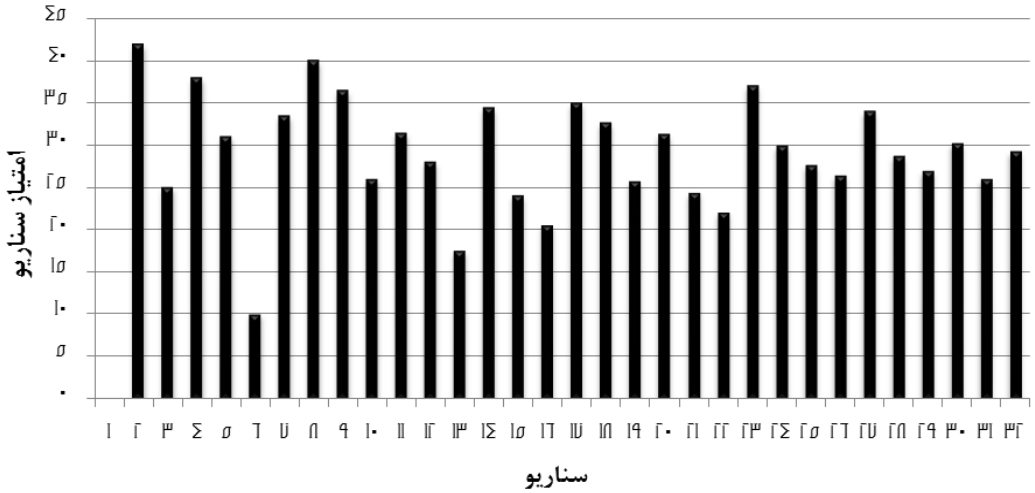


شکل ۱۱- عمر مفید متوسط در هر سناریو مدیریتی در شهر نیشابور

جدول ۹- اولویت‌بندی هر اقدام از نظر شاخص زیبایی منظر

نام اقدام	بایوریتنشن	ترانشه نفوذ	کانال علفی	پیاده‌رو نفوذپذیر	حوضچه نفوذ	چاهک نفوذ	مخزن زیرزمینی
اولویت	۱	۵	۴	۲	۳	۶	۷

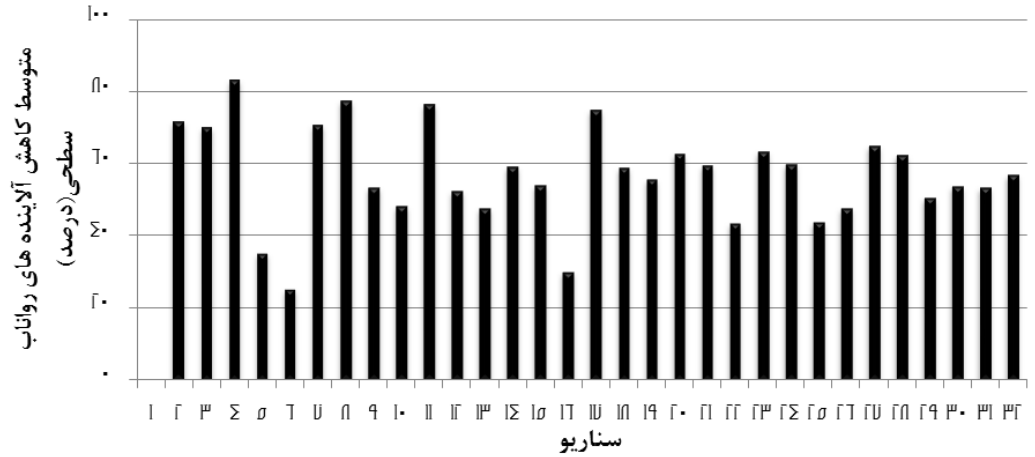
موازنه نتایج با روش تصمیم‌گیری چند معیاره به‌منظور اولویت‌بندی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در شهر نیشابور: پس از پیش‌بینی اثرات مختلف، با استفاده از روش دلفی با مراجعه به هفت نفر کارشناس، وزن متناظر با هر شاخص تعیین شد (جدول۱۱).



شکل ۱۲- متوسط امتیاز مربوط به هر سناریو در معیار زیبایی منظر

جدول ۱۰- میانگین تاثیر هر اقدام مدیریتی در کاهش بار آلودگی در منطقه مورد مطالعه

نام اقدام	بایوریتنشن	ترانشه نفوذ	کانال علفی	پیاده‌رو نفوذپذیر	حوضچه نفوذ	چاهک نفوذ	مخزن زیرزمینی
کاهش در بار آلودگی (درصد)	۷۱/۶۶	۷۶/۶۶	۳۵	۵۶/۶۶	۸۳/۳۳	۷۶/۶۶	۲۵



شکل ۱۳- نمودار درصد متوسط کاهش آلاینده‌های رواناب سطحی هر سناریو در شهر نیشابور

جدول ۱۱- مقادیر مختلف وزن‌دهی به معیارها (درصد) به‌منظور اولویت‌بندی سناریوها در حالت‌های مختلف در شهر نیشابور

		شاخص						
	معیار وزن‌دهی	حجم رواناب	هزینه استقرار	درصد پذیرش	سهولت اجرا	عمر مفید	زیبایی منظر	کاهش آلاینده
۱	دلفی	۲۶/۵۷	۱۹/۱۴	۱۸	۹/۵۷	۹/۲۸	۶	۱۱/۴۲
۲	وزن‌دهی یکسان	۱۴/۲۸	۱۴/۲۸	۱۴/۲۸	۱۴/۲۸	۱۴/۲۸	۱۴/۲۸	۱۴/۲۸
۳	تأکید بر معیار هیدرولوژی	۳۵/۷۱	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲
۴	تأکید بر معیار اقتصادی	۱۰/۷۲	۳۵/۷۱	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲
۵	تأکید بر معیار اجتماعی	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲	۳۵/۷۱	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲	۱۰/۷۲
۶	تأکید بر معیار فنی	۱۲/۸۶	۱۲/۸۶	۱۲/۸۶	۱۷/۸۵	۱۷/۸۵	۱۲/۸۶	۱۲/۸۶
۷	تأکید بر معیار زیست محیطی	۱۲/۸۶	۱۲/۸۶	۱۲/۸۶	۱۲/۸۶	۱۲/۸۶	۱۷/۸۵	۱۷/۸۵

در مرحله بعد هر یک از مقادیر استاندارد شده در وزن متناظر ضرب شده و حاصل جمع وزنی امتیاز همه شاخص‌ها محاسبه شد که اساس تعیین سناریو یا سناریوهای برتر محسوب می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به انتخاب‌های متفاوت در جامعه دارای تحصیلات دانشگاهی و جامعه بدون تحصیلات دانشگاهی اولویت‌های نهایی هم با در نظر گرفتن جداگانه هر جامعه متفاوت خواهد بود.

جدول ۱۲- اولویت‌بندی سناریوهای مختلف مدیریت رواناب سطحی در شهر نیشابور با جامعه دارای تحصیلات دانشگاهی

روش وزن‌دهی / سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲
دلفی	۱۹	۱۰	۲	۱۲	۵	۲	۱۴	۳	۷	۲	۱۵	۴	۱	۵	۹	۱۴	۳	۷	۲	۱۵	۲۹	۲۴	۳۱	۱۳	۳۲	۲۰	۱۸	۱۲	۱۱	۲۷	۱۶	۳۰	۲۸
وزن‌دهی یکسان	۲۰	۱۸	۱۴	۲۹	۱۰	۲۵	۲۲	۱۷	۱۵	۲۶	۱۹	۳۱	۲۷	۳	۱۱	۱۶	۲۳	۲۱	۳۰	۹	۲۸	۱	۳۲	۲	۲۴	۱۳	۷	۲	۱۲	۵	۸	۴	۶
تأکید بر معیار هیدرولوژی	۱۸	۱۹	۲۳	۱۶	۳۱	۲۰	۲۹	۱۷	۳۲	۲۲	۱۳	۱۰	۲۸	۷	۲۵	۲۱	۱۴	۱۲	۲۷	۱۵	۳۰	۲۶	۶	۲۴	۱۱	۸	۳	۲۲	۱	۹	۵	۴	۲	۲۴	۱۱	۸	۳	۲۲	۱	۹	۵	۴	۲	۱
تأکید بر معیار اقتصادی	۱۸	۱۹	۲۳	۱۶	۳۱	۲۰	۲۹	۱۷	۳۲	۲۲	۱۳	۱۰	۲۸	۷	۲۵	۲۱	۱۴	۱۲	۲۷	۱۵	۳۰	۲۶	۶	۲۴	۱۱	۸	۳	۲۲	۱	۹	۵	۴	۲	۲۴	۱۱	۸	۳	۲۲	۱	۹	۵	۴	۲	۱
تأکید بر معیار اجتماعی	۱۶	۲۰	۱۲	۱۸	۱۵	۲۸	۱۳	۶	۱۰	۱۴	۲۲	۱۹	۳۱	۱۷	۲۶	۲۵	۹	۱۱	۲۱	۲۴	۳۰	۲۹	۳	۲	۸	۲۳	۷	۴	۵	۲۷	۱	۳۲
تأکید بر معیار فنی	۳	۹	۴	۸	۶	۲۴	۱۱	۵	۲	۲۰	۱۸	۱۳	۳۰	۱۴	۲۵	۲۱	۱۶	۱۵	۲۶	۱۹	۳۱	۲۷	۷	۱۲	۱۷	۲۳	۲۲	۲۲	۹	۱۰	۲۸	۱	۳۲
تأکید بر معیار زیست محیطی	۵	۱۳	۷	۱۱	۴	۲۲	۱۵	۹	۳	۱۷	۱۹	۱۴	۲۹	۱۲	۲۴	۱۸	۲۰	۱۶	۲۶	۲۳	۳۳	۱۲۵	۸	۱۰	۶	۲۱	۲۷	۳۰	۲	۲۸	۱	۳۲

جدول ۱۳- اولویت‌بندی سناریوهای مختلف مدیریت رواناب سطحی در شهر نیشابور با جامعه بدون تحصیلات دانشگاهی

روش وزن‌دهی / سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲
دلفی	۲	۱۰	۳	۵	۱	۱۵	۱۱	۶	۴	۱۴	۱۸	۹	۲۷	۷	۲۱	۱۶	۱۳	۱۲	۲۹	۲۳	۰۲۵	۸	۲۳	۱۹	۲۰	۲۴	۳۱	۲۶	۲۸	۱۷	۳۲
وزن‌دهی یکسان	۸	۱۵	۵	۱۳	۷	۲۴	۱۰	۴	۳	۱۹	۱۸	۱۷	۳۰	۱۶	۲۶	۲۲	۱۴	۹	۲۵	۲۱	۳۱	۲۷	۲	۱۲	۱۱	۲۳	۲۰	۲۸	۶	۲۹	۱	۳۲
تأکید بر معیار هیدرولوژی	۱	۹	۵	۷	۲	۲۴	۱۲	۶	۳	۲۱	۱۴	۱۰	۲۸	۸	۲۵	۲۲	۱۳	۱۱	۲۷	۱۵	۳۱	۲۶	۴	۱۹	۱۸	۲۳	۱۶	۳۰	۲۰	۲۹	۱۷	۳۲
تأکید بر معیار اقتصادی	۱	۹	۵	۷	۲	۲۴	۱۲	۶	۳	۲۱	۱۴	۱۰	۲۸	۸	۲۵	۲۲	۱۳	۱۱	۲۷	۱۵	۳۱	۲۶	۴	۱۹	۱۸	۲۳	۱۶	۳۰	۲۰	۲۹	۱۷	۳۲
تأکید بر معیار اجتماعی	۱۷	۲۱	۱۱	۱۹	۲۷	۱۶	۲۵	۱۸	۲۶	۱۰	۱۵	۲۳	۳۰	۲۹	۳	۲	۹	۲۴	۵	۶	۴	۲۸	۱	۳۲	۱۴	۲۲	۰۳۱	۱۸	۲۶۲۵	۷	۱۱۱۴	۲۲	۲۰	۳۱	۱۲	۸	۱۷	۲۱	۱۱	۲۰	۱۹	۱۶	۲۷	۱۳
تأکید بر معیار فنی	۷	۱۴	۵	۱۳	۸	۲۵	۹	۴	۲	۱۹	۱۸	۱۶	۲۹	۱۷	۲۶	۲۲	۱۱	۱۰	۲۳	۲۱	۳۰	۲۷	۳	۱۲	۱۵	۲۴	۲۰	۲۸	۶	۳۰	۱	۳۲
تأکید بر معیار زیست محیطی	۹	۱۶	۶	۱۳	۷	۲۲	۱۲	۸	۳	۱۷	۲۰	۱۵	۲۸	۱۴	۲۵	۱۹	۱۸	۱۱	۲۴	۲۳	۳۱	۲۶	۵	۱۰	۴	۲۱	۲۷	۳۰	۲	۲۹	۱	۳۲

اولویت اختصاص یافته به هر سناریو بر اساس روش وزن‌دهی مورد استفاده متفاوت می‌باشد. به‌طوری که طبق جدول ۱۲ در جامعه دارای تحصیلات دانشگاهی و با روش وزن‌دهی دلفی، سناریوی ۲۴، در روش‌های وزن‌دهی یکسان و روش-های وزن‌دهی با تأکید بر معیار اجتماعی، فنی و محیط زیستی، سناریوی ۲، وزن‌دهی با تأکید بر معیارهای هیدرولوژی و اقتصادی، سناریوی ۳۲، در اولویت اول اجرایی قرار می‌گیرند. همچنین، مطابق جدول ۱۳، در جامعه بدون تحصیلات دانشگاهی و با روش‌های وزن‌دهی دلفی، سناریو ۲۸، وزن‌دهی یکسان و وزن‌دهی با تأکید بر معیار اجتماعی، فنی و محیط زیستی، سناریوی ۲، در روش‌های وزن‌دهی با تأکید بر معیارهای هیدرولوژی و اقتصادی، سناریوی ۳۲، در اولویت اول قرار می‌گیرند. به کمک این نتایج، برنامه‌ریزان و طراحان شهری و همچنین، بهره‌برداران از منابع آب قادر خواهند بود تا با آگاهی از نتایج سناریوهای مختلف و بر اساس اولویت‌ها و محدودیت‌های موجود، قبل از هرگونه فعالیت و تحمل هزینه‌ها و پیامدهای احتمالی ناخواسته، به انتخاب برترین سناریو یا سناریوها نائل شوند.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که در بخش نتایج این مقاله اظهار شد، بر اساس تجزیه وتحلیل انجام شده در این تحقیق، در جامعه دارای تحصیلات دانشگاهی، سناریو ۲۴ (ترکیب بایوریتنشن، حوضچه نفوذ و مخزن زیرزمینی) و در جامعه بدون تحصیلات دانشگاهی، سناریو ۲۸ (ترکیب

بایوریتنشن، ترانشه نفوذ، چاهک نفوذ، پیاده‌رو نفوذپذیر، حوضچه نفوذ و مخزن زیرزمینی) در اولویت نخست قرار می‌گیرند. البته، اولویت‌بندی سناریوها با تأکید بر معیارهای مختلف (هیدرولوژی، اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و فنی) نیز انجام شده و نتایج آن ارائه شده است که به مدیران و تصمیم‌گیران این امکان را می‌دهد که با توجه به معیارهای مهمتر از منظر تصمیم‌گیرندگان بر اساس ارزش‌ها و اولویت‌های آن‌ها، ارجح‌ترین سناریوها را انتخاب نمایند.

چارچوب استفاده شده در این تحقیق می‌تواند الگوی مناسبی برای تغییر در نحوه مدیریت رواناب سطحی در آبخیزهای شهری باشد و همچنین، نگرشی متفاوت و در عین حال منعطف برای مراکز مرتبط و مسئول در امر مدیریت رواناب سطحی و استفاده هر چه بیشتر از آب‌های غیر متعارف ایجاد کند. زیرا با استفاده از چارچوب پیشنهادی ابعاد متفاوت اثر بخشی اقدامات نوین مدیریت رواناب سطحی برای مردم و مسئولان محلی روشن خواهد شد و آن‌ها را قادر می‌سازد تا قبل از اجرای هر اقدام خاص و تقبل هزینه‌های اجرای اقدامات و بدون اتلاف منابع و زمان، به پیش‌بینی و موازنه اثرات اجرای آن‌ها از جنبه‌های گوناگون بپردازند و بهترین تصمیم را با توجه به اولویت‌های خود اتخاذ کنند.

منابع مورد استفاده

1. Abrishamchi, A., A. Ebrahimi, M. Tajrishi, A. Marino and M. Asce. 2005. Case study: application of multicriteria decision making to urban water supply. Journal of Water Resources Planning and Management, 131(4): 326-335.
2. Alizadeh, A. 2006. Principle of applied hydrology. Publication of Imam Reza, 870 pages (in Persian).
3. Amirahmadi, A., S. Keramati and T. Ahmadi. 2011. Flood hazard zoning in Neishabour City in order to urban development. Research and Urban Planning, 2(7): 91-110 (in Persian).
4. Bahri, A. 2012. Integrated urban water management. Global Water Partnership, Technical Committee, 89 pages.
5. Fanghong, L., G. Aifang and L. Duo. 2012. Utilization efficiency and potential analysis of urban storm flood resources. Energy Procedia, 16(2012): 1283–1287.
6. Gumbel, E.J. 2004. Statistics of extremes. Mineola, NY: Dover, 195 pages.
7. Jia, H., Y. Lu, S. Yu, and Y. Chu. 2012. Planning of LID-BMPs for urban runoff control: the case of Beijing Olympic village. Separation and Purification Technology, 84: 112-119.
8. Hamidi, N., M. Vafakhah and A. Najafi. 2012. Urban flood hazard mapping using GIS and spatial multi-criteria decision-making methods. 1st National Conference on Rainwater Harvesting Systems, Mashhad, 8 pages (in Persian).
9. Lagzian, R., A. Sadoddin, M. Ownagh and A. Alipour. 2012. Comprehensive management framework surface runoff in Neishabour city. 2nd National Conference on rainwater harvesting systems, Mashhad, 9 pages (in Persian).
10. Lashkaripour, Gh., M. Ghafouri and G. Kazemi. 2009. Check in Neishabour Plain land subsidence and its relation to groundwater level drops. Regional Water Company of Khorasan Razavi County, 21 pages (in Persian).
11. Morales-Torres, A., I. Escuder-Bueno, I. Andres-Domenech and S. Parales-Mompaeler. 2016. Decision support tool for energy-efficient, sustainable and integrated urban stormwater management. Environmental Modelling and Software, 84: 518-528.
12. Parekar, M. and A. Moravej. 2009. Urban watershed management application methods. The 1st Urban Watershed Management Conference, Tehran, 19 pages (in Persian).
13. Sadoddin, A., M. Nasiri, F. Yaghobi and A. Zare. 2009. Multi-criteria decision-making scenario approach in integrated watershed management in Qarsyan. The 4th Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management, Kerman, 11 pages (in Persian).
14. Sadoddin, A., V. Sheikh, R. Mostafazadeh and M. Halili. 2010. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian Watershed, Golestan, Iran. Plant Production, 4(1): 51-62.
15. Sadoddin, A., M. Bay and A. Naeimi. 2014. Placement the technical and economic feasibility of collecting rainwater from the roofs of buildings, case study: Natural Resources. Journal of Soil and Water Conservation, 21(8): 27-50 (in Persian).
16. Sharifi, A., M.V. Hervijnen and W.V.D. Toorn. 2004. Spatial decision support systems. International Inistitute for Geo-Information Science and Earth Observation, (ITC), 153 pages.

17. Sun, Y., S. Tong and J. Yang. 2016. Modeling the cost-effectiveness of stormwater best management practices in an urban watershed in Las Vegas Valley. Applied Geography, 76: 49-61.
18. Taheribehbahani, M. 1996. Urban floods. Press Center of Planning and Architecture Studies, 536 pages (in Persian).
19. Tabatabayii, J., H. Tavakoli, A.A. Abbasi and M. Abbasi. 2009. Rainwater harvesting, perspective of optimal urban runoff management, case study: Mashhad City. Urban Watershed Management Conference, Tehran, Iran.
20. Valikhani, N., A. Charkhabi, M. Kheirkhah and M. Soltani. 2011. Application of GIS and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) fit in the physical development of urban land zoning, case study: northern city of Karaj. Journal of Remote Sensing and GIS in Natural Resource Sciences, 2: 1-13 (in Persian).
21. Wanielista, M.P. 1999. Hydrology and water quantity control. University of Central Florida, 565 pages.
22. Yang, J., E. Chung, S. Kim and T. Kim. 2012. Prioritization of water management under climate change and urbanization using multi-criteria decision making methods. Hydrology and Earth System Sciences, 16: 801-814.