 dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.81822.2381

Prioritization of Surface Runoff Management Scenarios Using TOPSIS Method in Different Weighting Conditions (Case Study: Bojnord City)

R. Izanloo[1], V. B. Sheikh [2]

1. Former Graduate Student of Watershed Management,
Faculty of Rangeland and Watershed Management,
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Assoc. Prof. of Watershed Management,
Faculty of Rangeland and Watershed Management,
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
(Corresponding Author) v.sheikh@yahoo.com

(Received Apr. 11, 2017 Accepted Oct. 28, 2017)

To cite this article :
Izanloo, R., Sheikh, V. B., 2018, "Prioritization of surface runoff management scenarios using TOPSIS method in different weighting conditions (Case study: Bojnourd City)" Journal of Water and Wastewater, 29(6), 15-26.
Doi: 10.22093/wwj.2017. 81822.2381 (In Persian)

Abstract

In the past decades, urban development and the increase in densely populated urban areas have led to expansion of the impervious surfaces. This resulted in an increase in the volume and peak discharge of runoff. To face the intensified urban floods problems worldwide, many management practices have been proposed and implemented. This study attempted to investigate and prioritize suitable urban runoff management scenarios for Bojnord city. Based on a thorough literature review on international experiences and examples, local experts' opinions, and operational feasibility, a total of six management alternatives including Bio-retention, Infiltration Trench, Pervious Asphalt, Pervious Paver Blocks, Green Roof, and Rain Barrels were chosen. The hydrological, social and economic implications were then assessed for these alternatives for the Bojnord city. A total of 60 questionnaires were filled out by face to face interviews with citizens. Likewise, an extra set of 30 questionnaires was filled out by the relevant experts and authorities. The cost of each management alternative along with their potential to reduce the runoff volume resulting from a rainfall with a five-year return period was analyzed using SWMM. The Multi Criteria Decision Making Method (MCDM) was used for prioritizing these alternatives. Then MCDM in this study used TOPSIS technics and was performed using different weighting conditions (equal weighting, Delphi, Shannon entropy, emphasizing on hydrologic, social and economic criteria).The result of this study indicated that when applying equal weighting method, Delphi and social criteria, Infiltration Trench scenario were considered as the most compatible option to ideal solution. While Rain Barrels scenario was considered as the top priority when Shannon entropy and economic criteria were emphasized. And finally, applying a hydrologic criterion put the Green Roof scenario on top priority

Keywords: Surface Runoff, Urban Management Scenarios, Weighting Methods, TOPSIS Method.

اولویت‌بندی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی با استفاده از روش TOPSIS در حالت‌های مختلف وزن‌دهی (مطالعه موردی: شهر بجنورد)

راضیه ایزانلو[۱]، واحد بردی شیخ[۲]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۲- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
v.sheikh@yahoo.com (نویسنده مسئول)

(دریافت ۹۶/۱/۲۲ پذیرش ۹۶/۸/۶)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
ایزانلو، ر.، شیخ، و. ب.، ۱۳۹۷، "اولویت‌بندی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی با استفاده از روش TOPSIS در حالت‌های مختلف وزن‌دهی (مطالعه موردی: شهر بجنورد)" مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۶)، ۲۶-۱۵. Doi: 10.22093/wwj.2017. 81822.2381

چکیده

در دهه‌های گذشته، توسعه شهری و افزایش فضاهای متراکم شهری باعث افزایش سطوح نفوذناپذیر و در نتیجه افزایش حجم و اوج رواناب شده است. با توجه به گسترش مشکلات متأثر از سیلاب شهری در سراسر جهان، اقدامات مدیریتی متعددی به‌منظور کنترل رواناب معرفی شده است. در این پژوهش، تعدادی سناریوی مناسب برای مدیریت رواناب سطحی در شهر بجنورد انتخاب و اولویت‌بندی شد. ابتدا با مطالعه و مرور منابع علمی در مورد نتایج حاصل از اجرای این اقدامات در سایر کشورها، بررسی شرایط اجرایی هر کدام و استفاده از نظر کارشناسان محلی، شش اقدام مدیریتی شامل سیستم نگهداشت زیستی، ترانشه نفوذ، آسفالت نفوذپذیر، پیاده‌رو نفوذپذیر، پشت‌بام سبز و مخازن جمع‌آوری آب باران برای اجرا در سطح شهر بجنورد انتخاب شد و اثرات اجرایی هر سناریو، از سه جنبه هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی بررسی شد. به‌منظور ارزیابی سطح پذیرش مردمی تعداد ۶۰ پرسشنامه توسط جامعه شهروندان عادی و همچنین تعداد ۳۰ پرسشنامه توسط کارشناسان و مسئولان ذی‌ربط تکمیل شد. بعد از محاسبه هزینه هر کدام از اقدامات مدیریتی و همچنین برآورد حجم رواناب تولیدی در هر سناریو با کمک مدل SWMM برای دوره بازگشت ۵ ساله، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای اولویت‌بندی این اقدامات استفاده شد. تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده در این پژوهش TOPSIS بود که در حالت‌های مختلف وزن‌دهی (وزن‌دهی یکسان، دلفی، آنتروپی شانون، تأکید بر معیار هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با تأکید بر روش وزن‌دهی یکسان، دلفی و با تأکید بر معیار اجتماعی سناریوی ترانشه نفوذ که سازگارترین گزینه به راه‌حل ایده‌آل است، در اولویت اوّل قرار گرفت. همچنین در این روش با تأکید بر معیار اقتصادی و آنتروپی شانون سناریوی مخازن آب باران و با تأکید بر معیار هیدرولوژیکی سناریو پشت بام سبز در اولویت اول قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: رواناب سطحی، سناریوهای مدیریت شهری، روش‌های وزن دهی، روش TOPSIS

۱- مقدمه

امروزه رشد سریع جمعیت و توسعه مستمر محیط‌های شهری، تأثیرات نامطلوبی در هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز می‌گذارد که در بستر زمان باعث تشدید سیلاب، افزایش آلودگی در قسمت‌های پایاب، کاهش جریان‌های پایه و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود. در کشور ایران به‌دلیل بعضی محدودیت‌ها و نبود داده‌های دقیق به‌طور سنتی، سیلاب‌های رودخانه‌ای و ناگهانی در سیلاب

دشت‌ها بسیار بیشتر از سیل گرفتگی در مناطق شهری مورد توجه قرار گرفته است. این پدیده می‌تواند به تمام و یا بخش قابل توجهی از زیرساخت‌های اقتصادی و اجتماعی شهرها صدمات زیادی وارد نماید و با توجه به وابستگی‌های اقتصادی، اجتماعی و غیره سایر مناطق به منطقه سیل زده، خسارات قابل توجهی به بخش‌های مختلف این مناطق وارد آید (Nickandam, 2013). در راستای مدیریت رواناب سطحی و کاهش آبگرفتگی معابر شهری می‌توان از روش‌های توسعه کم اثر استفاده نمود و توسعه را با کمترین اثرات منفی بر روی مناطق در حال توسعه پیش برد.

در اغلب تصمیم‌گیری‌ها مدیران به جای یک معیار، خواستار بهینه کردن چندین معیار هستند. طبیعی است که حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره دارای پیچیدگی است و به راحتی امکان‌پذیر نیست، به‌همین دلیل روش‌هایی با عنوان تصمیم‌گیری چند معیاره و به‌ویژه تصمیم‌گیری چند شاخصه توسعه داده شده‌اند که به حل مسائل مزبور کمک می‌کند. تصمیم‌گیری چند معیاره به‌عنوان یک علم دارای مفاهیم، رویکردها و روش‌های خاص خود است و به تصمیم‌گیرنده در شناسایی، توصیف و ارزیابی گزینه‌ها کمک می‌کند و گزینه‌ها را رتبه‌بندی و یا انتخاب می‌نماید. در این تصمیم‌گیری‌ها به جای استفاده از یک معیار از چندین معیار سنجش استفاده می‌شود.

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به دو دسته عمده مدل‌های چند هدفه[1] و مدل‌های چند شاخصه[2] تقسیم می‌شوند. مدل‌های چند هدفه به‌منظور طراحی به‌کار گرفته می‌شوند در حالی‌که مدل‌های چند شاخصه به‌منظور انتخاب گزینه برتر از بین m گزینه موجود استفاده می‌شوند. مدل‌های چند شاخصه در ابتدا در سال ۱۹۵۷ توسط چرچمن[3]، اکاف[4] و آرنوف[5] مطرح شد (De Montis, 2000).

هدف تصمیم‌گیری چند شاخصه ارائه کمک و راهنمایی به تصمیم‌گیرندگان در دسترسی به مطلوب‌ترین جواب برای مسائل است. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از دهه ۱۹۸۰ به بعد کاربرد وسیعی در زمینه‌های مختلف مهندسی و مدیریت داشته‌اند. از آن جمله می‌توان کاربرد آن در مدیریت جامع آبخیز (Duckstein,1980)، برنامه‌ریزی سیستم جامع منابع آب (Benedini, 1988) و مدیریت منابع آب (Stewart and Scot, 1995) نام برد. عاملی و همکاران در سال ۲۰۰۵ روش‌های مناسب تصمیم‌گیری چند شاخصه برای حل مسئله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه را معرفی کردند. آنها در پژوهش خود به استفاده از روش TOPSIS[6] به‌عنوان یک رویکرد در رتبه‌بندی ریسک‌های یک پروژه واقعی صنعت انرژی در کشور ایران پرداختند (Jebel Ameli et al., 2005). پژوهشگران در سال ۲۰۰۷ در حوزه آبخیز رامیان، اثرات مختلف فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیک را بر روی سناریوهای مدیریت بیولوژیک (آگروفارستری، بذرکاری، بذرپاشی و درختکاری) بررسی کردند. آنها پس از انتخاب گزینه‌های مدیریتی و وزن‌دهی معیارهای مختلف، اولویت‌بندی سناریوها را با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره انجام دادند (Sadoddin et al., 2007).

لگزیان در سال ۲۰۱۴ تعدادی سناریوی مدیریت رواناب سطحی را برای اجرا در شهر نیشابور شناسایی کرد. ایشان با در نظر گرفتن پنج معیار اجتماعی، اقتصادی، هیدرولوژیکی، فنی و زیست‌محیطی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره به اولویت‌بندی سناریوهای مدیریتی پرداخت و در حالت‌های مختلف وزن‌دهی نتایج متفاوتی به دست آورد (Lagzian, 2014).

پژوهش حاضر نیز با هدف اولویت‌بندی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در شهر بجنورد با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS به‌منظور مدیریت رواناب شهری انجام شد. دلیل انتخاب این منطقه برای مطالعه و اولویت‌بندی سناریوهای مدیریتی، واقع شدن شهر بجنورد در یک گودی کاسه مانند و سرازیر شدن رواناب‌های مناطق اطراف به‌سمت شهر و نیاز مبرم آن به اجرای اقدامات مدیریت رواناب سطحی است. در مصاحبه انجام شده با کارشناسان شهر از اقدامات انجام شده برای مدیریت رواناب شهری در سال‌های اخیر سوال شد که به مواردی از قبیل پروژه احداث کانال برای جمع‌آوری آبهای سطحی میدان دفاع مقدس تا پارک آفرینش، اصلاح جوی‌های سطر شهر با افزایش ابعاد کانال و سرپوشیده نمودن آنها اشاره شد. با توجه به کافی نبودن اقدامات ذکر شده و همچنین قابل وضوح بودن مشکلات ناشی از آبگرفتگی در

[1] Multi-objective Decision
[2] Multi-attribute Decision
[3] Churchman
[4] Acoff
[5] Arnoff
[6] Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.81822.2381

سطح شهر، در این پژوهش سعی شد تا با شناسایی روش‌های نوین مدیریت رواناب سطحی، پیشنهاداتی برای کمک به حل این مشکل ارائه شود. از آنجایی که اعتبارات نیز محدود است، لذا انتخاب یک اولویت‌بندی بهینه برای اجرای اقدامات لازم است. از بین روش‌های چند معیاره، روش TOPSIS انتخاب شد.

۲- منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز مورد مطالعه، محدوده شهری بجنورد با مساحت بالغ بر ۲۶ کیلومتر مربع است که از نظر جغرافیایی بین عرض‌های ″۳۳ ′۲۴ °۳۷ تا ″۱۹ ′۳۵ °۳۷ شمالی و طول‌های ″۲۸ ′۹ °۵۷ تا ″۲۱ ′۲۴ °۵۷ شرقی واقع شده است. بر اساس آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهر بجنورد (۱۳۹۳-۱۳۶۴) میانگین بارندگی سالانه در این شهر ۲۱۶/۲۵ میلی‌متر است. بیشترین بارندگی در ماه فروردین با میانگین ۳۳/۹۱ میلی‌متر و کمترین بارندگی در ماه شهریور با میانگین ۵/۲۱ میلی‌متر رخ داده است. به‌طور کلی سهم متوسط فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان از بارش سالانه به‌ترتیب حدود ۳۵، ۹/۵، ۲۱/۴ و ۳۴/۱ درصد است. در سال‌های اخیر با توجه به توسعه شهری و افزایش مناطق نفوذناپذیر، به دنبال وقوع رگبارهای نسبتاً شدید، بخش‌های زیادی از شهر دچار آبگرفتگی شدید معابر و بعضی از پاساژهای خرید و فروش می‌شود و آسیب‌های مالی، تأسیساتی، روانی، بهداشتی و حتی تلفات جانی ایجاد می‌کند. به‌عنوان مثال به گزارش خبرنگار مهر، در یکی از نادرترین اتفاقات آبگرفتگی معابر بارش شدید باران در خیابان شهید بهشتی جنوبی بجنورد (حد فاصل میدان کارگر تا میدان شهید) موجب سقوط یک شهروند و فرزندش در جوی آب شده و جریان شدید سیل آنان را به کام مرگ فرستاد (Mehr Newspaper, 2012).

در شکل ۱ نقشه ماهواره‌ای شهر بجنورد ارائه شده است.

Fig. 1. Satellite map of Bojnord City

شکل ۱- نقشه ماهواره‌ای شهر بجنورد

۳- روش پژوهش

در این پژوهش تلاش شد تا با اعمال چند روش شناخته شده و مناسب رویکرد توسعه کم اثر، مناسب‌ترین اقدامات به‌منظور کنترل رواناب شهری برای منطقه مورد مطالعه شناسایی شود. بعد از مطالعه و مرور منابع علمی در مورد استفاده از جدیدترین روش‌های مدیریت رواناب سطحی با بررسی هر کدام از این روش‌ها و مشورت و مصاحبه با کارشناسان شهر، روش‌هایی مانند سیستم نگهداشت زیستی[1]، ترانشه نفوذ[2]، آسفالت نفوذپذیر[3]، پیاده‌رو نفوذپذیر[4]، پشت بام سبز[5] و مخازن جمع‌آوری آب باران[6] به‌عنوان اقدامات مناسب در شهر بجنورد انتخاب شده و در منطقه مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از ارزیابی اجتماعی روش‌های مذکور از نظر مردم و مسئولان و محاسبه هزینه هر کدام، اثرات آن‌ها بر روی حجم رواناب سطحی تولیدی محدوده مورد مطالعه بررسی شد. استفاده از روش‌های فوق علاوه بر کاهش رواناب، آلودگی و خطر سیلاب، در برخی موارد باعث کاهش هزینه‌های عمومی تحمیل شده به دولت یا شهرداری‌ها برای کنترل رواناب شهری می‌شود. هدف این پژوهش اولویت‌بندی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی به منظور جلوگیری از آبگرفتگی معابر در شهر بجنورد بود که به‌منظور دستیابی به این هدف از روش تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شد.

محدوده مورد مطالعه به ۲۶۲ زیرحوضه تقسیم شده است. برای این منظور از نقشه کاربری اراضی منطقه و پیمایش میدانی استفاده شد. هر زیرحوضه دارای یک گره خروجی است که رواناب حاصل از خود را به آن گره منتقل می‌کند و رواناب تولید شده در هر

[1] Bio-retention
[2] Infiltration Trench
[3] Pervious Asphalt
[4] Pervious Paver Blocks
[5] Green Roof
[6] Rain Barrel

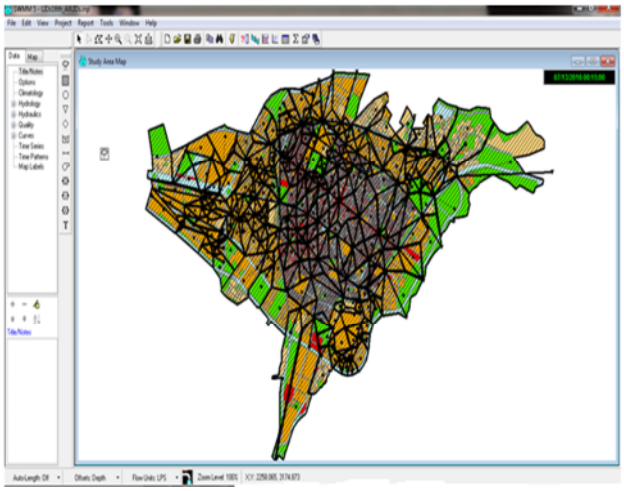

Fig. 2. A view of sub-watersheds of the study area in SWMM

شکل ۲- نمایی از زیرحوضه بندی محدوده مورد مطالعه در نرم‌افزار SWMM

زیرحوضه به گره بالادست آن اختصاص می‌یابد و تا گره بعدی در پایین‌دست روندیابی می‌شود. در شکل ۲ نمایی از زیرحوضه‌بندی محدوده مورد مطالعه در نرم‌افزار SWMM[1] ارائه شده است.

۳-۱- شاخص‌های انتخابی

۳-۱-۱- شاخص حجم رواناب

ابتدا منطقه مورد مطالعه در وضعیت فعلی و بدون اعمال روش‌های توسعه کم اثر مورد بررسی قرار گرفت. بعد از وارد کردن مشخصات هر زیرحوزه (شامل مساحت، ضریب‌زبری، ارتفاع ذخیره، نفوذ و غیره)، مشخصات کانال‌ها، اطلاعات بارش و دیگر ورودی‌های مورد نیاز مدل، حجم رواناب در هر زیرحوضه با استفاده از مدل SWMM برآورد شد.

موقعیت اجرایی برای هر سناریو با توجه به نقشه کاربری موجود، بازدیدهای میدانی در سطح شهر، نظرخواهی از کارشناسان و طبقه‌بندی حوضه به مناطق مسکونی با تراکم بالا، تراکم متوسط، تراکم کم و زمین‌های خالی یا فضای سبز تعیین شد. سپس هر یک از سناریوها با توجه به شرایط لازم برای اجرا در زیرحوضه‌های مورد نظر اعمال شد (James et al., 2010, Anonymous, 2013).

در نهایت میزان حجم رواناب در صورت اجرای هر یک از سناریوها با استفاده از مدل SWMM محاسبه شد.

[1] Storm Water Management Model

۳-۱-۲- شاخص پذیرش اجتماعی

بارش‌های رگباری و بهاری سال‌های گذشته که منجر به آبگرفتگی شدید معابر و بزرگراه‌ها در شهرهای کوچک و بزرگ شده، بیانگر وجود ابهامات گسترده در مسائل مرتبط به مدیریت کمّی و کیفی سیلاب‌های شهری است.

برای موفقیت در هر نوع برنامه مدیریتی رواناب‌ها، لازم است که یک رویکرد گروهی جامع شامل جوامع یا شوراهای محلی و شهری، سازمان‌ها و ارگان‌های شهری، استانی و کشوری به کار گرفته شوند که بر حسب قانون، بر مبنای ارتباط درونی، همکاری، خلاقیت و بیش از همه تعهد افراد، استوار باشد (Hunter, 1999, Goonetilleke et al., 2005).

با توجه به ماهیت موضوع پژوهش، روش مطالعه منابع موجود و پیمایش میدانی که مهم‌ترین ابزار سنجش آن پرسشنامه می‌باشد، انجام گرفت.

به‌منظور ارزیابی سطح پذیرش مردمی تعداد ۶۰ پرسشنامه به‌صورت مصاحبه چهره به چهره توسط جامعه شهروندان عادی با در نظر گرفتن گروه‌های سنی مختلف و در نقاط مختلف شهر با تحصیلات دانشگاهی و غیر دانشگاهی و همچنین تعداد ۳۰ پرسشنامه توسط کارشناسان و مسئولان ذیربط تکمیل شد.

شایان ذکر است که به‌منظور آشنایی کامل شهروندان با روش‌های نوین مدیریت رواناب شهری و سهولت در امر تصمیم‌گیری و ارتقای کیفیت پاسخگویی، قبل از شروع مصاحبه و تکمیل پرسشنامه، اطلاعات و جزئیات سناریوها در قالب بروشور مصور و کلیپ صوتی و تصویری (نمونه‌هایی از اقدامات استفاده شده) تهیه و به پاسخ دهندگان ارائه شد تا مصاحبه شوندگان با آگاهی کافی نسبت به پاسخگویی اقدام نمایند.

به منظور استخراج احتمال پذیرش اقدامات مدیریتی از توزیع احتمالاتی دو جمله‌ای استفاده شد. در آزمایش‌های توزیع دوجمله‌ای، مقدار احتمال پذیرش (p) هر یک از سعی‌های آزمایش یکسان می‌باشد و سعی‌ها مستقل از یکدیگر هستند و احتمال شکست (عدم پذیرش) برای هر سعی آزمایش q=1-p است. احتمال Y پذیرش در n سعی از آزمایش، یک احتمال دو جمله‌ای است که با رابطه زیر به‌دست می‌آید

$$\Pr(Yi) = \frac{n!}{Yi!(n-Yi)!} p_i^{Yi} q_i^{n-Yi} \qquad (۱)$$

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.81822.2381

که در آن

$Pr(Yi)$ احتمال پذیرش در n سعی، n تعداد سعی‌ها در آزمایش دوجمله‌ای (تعداد شرکت کننده)، Yi تعداد پذیرش سناریوی i در n سعی، pi احتمال پذیرش سناریوی i در هر سعی، q_i احتمال عدم پذیرش سناریوی i درهر سعی و i شماره سناریو است.

در تجزیه و تحلیل پذیرش اجتماعی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی، چهار سطح پذیرش اجتماعی (عدم پذیرش، پذیرش کم، پذیرش متوسط و پذیرش زیاد) در نظر گرفته شد. در ارتباط با این چهار سطح پذیرش، فرضیاتی برای تبدیل تعداد پذیرش سناریوی i در n سعی به مقیاس کیفی در نظر گرفته شد. در این فرضیات اگر کمتر از ۶ درصد ذینفعان سناریویی را بپذیرند، میزان پذیرش آن ناچیز (عدم پذیرش) فرض می‌شود. اگر ۷ تا ۳۳ درصد ذینفعان سناریویی را بپذیرند، میزان پذیرش آن کم است و در صورتی که ۳۴ تا ۶۶ درصد بپذیرند، سناریوی مذکور در کلاس متوسط قرار می‌گیرد. در صورتی که بالاتر از ۶۷ درصد ذینفعان سناریویی را بپذیرند، آن سناریو دارای پذیرش مردمی بالا است (Sadoddin et al., 2010).

۳-۱-۳- شاخص هزینه

در مدیریت یکپارچه یک سیستم هیدرولوژیکی توجه به سلامت اقتصادی افراد و جوامع آبخیز نشین ضروری است. لذا مطالعه اثرات اقتصادی فعالیت‌های مدیریتی از جمله بخش‌های مهم در این نوع مطالعات تلقی می‌شود.

مراحل انجام کار به صورت زیر بود

- محاسبه مساحت مربوط به فعالیت‌های مدیریتی پیشنهادی در هر سناریو با استفاده از نرم افزار GIS؛
- محاسبه هزینه یک واحد از فعالیت‌های مورد نظر (قیمت‌ها بر اساس فهرست بهای آبخیزداری و ابنیه سال ۱۳۹۴ و فهرست بهای فضای سبز تعیین گردیده است)؛
- محاسبه هزینه کل هر کدام از فعالیت‌های مدیریتی.

۳-۲- مدل TOPSIS

با توجه به این که هدف اصلی پژوهش حاضر اولویت‌بندی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در شهر بجنورد بود، به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا از پنج روش آنتروپی شانون، وزن‌دهی یکسان، دلفی (با مراجعه به ۱۵ نفر کارشناس) و تأکید بر هر یک از معیارهای هیدرولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی برای تعیین وزن شاخص‌ها استفاده شد. سپس به‌منظور رتبه‌بندی سناریوها از روش TOPSIS که از روش‌های جبرانی تصمیم‌گیری چند شاخصه است، استفاده شد.

TOPSIS یکی از معروف‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که به‌طور گسترده‌ای در موقعیت‌های تصمیم واقعی به‌کار گرفته شده است (Yang and Hung, 2007). TOSIS یکی از مدل‌های زیرگروه سازشی است که زیر گروه سازشی نیز خود زیرگروه مدل جبرانی است و ضعف یک شاخص ممکن است توسط امتیاز شاخص دیگری جبران شود (Asgharpur, 1998). مدل مذکور توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱، پیشنهاد شد (Hwang and Yoon, 1981). در این روش m گزینه به وسیله n شاخص، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. این روش، بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی، باید کمترین فاصله را با راه حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد(Momeni, 2006).

مراحل حل مسئله با استفاده از این روش عبارت است از:

۱- محاسبه ماتریس بی مقیاس شده به روش نُرم N

۲- محاسبه ماتریس اوزان با یکی از روش‌های وزن‌دهی W

۳- محاسبه ماتریس بی مقیاس وزن دار V: ماتریس بی مقیاس شده (N) که در واقع اعضای آن همان اعضای ماتریس تصمیم‌گیری می‌باشند که هم مقیاس شده‌اند، در ماتریس قطری وزن‌ها (W_{n*n}) که فقط اعضا و عناصر قطر اصلی آن غیر صفر بوده و برابر با وزن‌های مربوط به شاخص‌ها می‌باشند ضرب می‌شود

$$V = N * W_{n*n} = \begin{vmatrix} W_1N_{11} & W_2N_{12} & \dots & W_nN_{1n} \\ W_1N_{21} & W_2N_{22} & \dots & W_nN_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ W_1N_{m1} & W_2N_{m2} & \dots & W_nN_{mn} \end{vmatrix} \quad (۲)$$

۴- راه حل ایده آل مثبت V_j^+: بزرگ‌ترین مقدار برای شاخص‌های مثبت و کوچک‌ترین مقدار برای شاخص‌های منفی. به‌عبارتی برداری متشکل از بهترین مقادیر برای هر شاخص تشکیل می‌شود.

۵- راه حل ایده آل منفی V_j^-: بزرگ‌ترین مقدار برای شاخص‌های

منفی و کوچکترین مقدار برای شاخص‌های مثبت. به‌عبارتی برداری متشکل از بدترین مقادیر برای هر شاخص تشکیل می‌شود.

۶- محاسبه فاصله اقلیدسی هر گزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^+\right)^2} \quad , \; i = 1,2,\dots,m \qquad (۳)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^-\right)^2} \quad , \; i = 1,2,\dots,m \qquad (۴)$$

۷- تعیین نزدیکی نسبی یک گزینه به راه حل ایده آل: CL ضریبی بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، راهکار به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر است و راهکار بهتری است.

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \qquad (۵)$$

۸- رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس CL بزرگ‌تر (هر چه شاخص به‌دست آمده از روش TOPSIS بزرگ‌تر باشد، گزینه ایده‌آل‌تر است) (Momeni, 2006).

۴- نتایج و بحث

۴-۱- نتایج تجزیه و تحلیل هیدرولوژیکی

با اجرای سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در حوضه مورد مطالعه، می‌توان حجم رواناب خروجی از حوضه را برای بارش با دوره بازگشت‌های مختلف بررسی کرد.

در این پژوهش دوره بازگشت رگبار بارش برابر ۵ سال در نظر گرفته شد. شکل ۳ نتایج هیدرولوژیکی اجرای هر یک از اقدامات کنترلی پیشنهادی را با در نظر گرفتن دوره بازگشت ۵ ساله نشان می‌دهد.

اقدامات کنترلی مختلف تأثیر متفاوتی در کاهش حجم رواناب سطحی دارند (شکل ۳) که می‌تواند دلایل متفاوتی داشته باشد. از جمله این دلایل می‌توان تفاوت در سطح و اندازه پیشنهادی هر اقدام کنترلی،

مکان متفاوت برای اجرای هر سناریو، تفاوت در ظرفیت نگهداشت رواناب توسط هر اقدام و بازدهی متفاوت هر کدام از آنها را ذکر کرد. به‌طور مثال سناریو ۵ (پشت بام سبز) که در ۷/۷

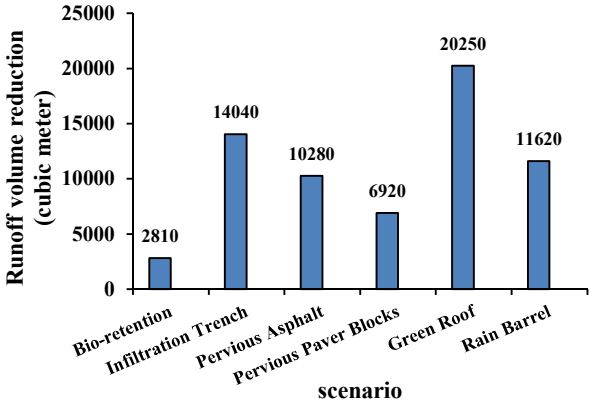

Fig. 3. Comparison of runoff volume reduction in each scenario

شکل ۳- مقایسه میزان کاهش حجم رواناب در هر سناریو

درصد از کل مساحت حوضه برای اجرا پیشنهاد و بررسی شده است، بیشترین میزان کاهش حجم رواناب سطحی (به میزان ۹ درصد) را دارا می‌باشد و سناریوی ۱ (سیستم نگهداشت زیستی) که در ۰/۶ درصد از کل حوضه برای اجرا در منطقه پیشنهاد و مورد بررسی قرار گرفت، کمترین کاهش حجم رواناب سطحی با میزان ۱/۲ درصد کاهش را در بین سناریوهای در نظر گرفته شده به خود اختصاص داد. با توجه به این که طراحی‌های شهری در ایران طوری است که فضای کافی برای پیاده‌سازی سیستم نگهداشت زیستی وجود ندارد، بنابراین به‌دلیل مساحت کم این سناریو، اثرات اجرای آن در کل سیستم خیلی مشهود نیست.

۴-۲- نتایج تجزیه و تحلیل اجتماعی

در جداول ۱ و ۲ مقادیر پارامترهای ورودی در تجزیه و تحلیل اجتماعی مربوط به هر جامعه برای سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در شهر بجنورد به‌ترتیب برای دو جامعه آماری مردم و مسئولان ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای ورودی در تجزیه و تحلیل اجتماعی مربوط به جامعه آماری مردم

Table 1. Values of input parameters in social analysis of the statistical community of citizens

Scenario	1	2	3	4	5	6
Acceptance probability	0.67	0.66	0.65	0.65	0.75	0.64

جدول ۲- مقادیر پارامترهای ورودی در تجزیه و تحلیل اجتماعی مربوط به جامعه آماری مسئولان

Table 2. Input parameters values in social analysis of the statistical community of authorities and experts

Scenario	1	2	3	4	5	6
Acceptance Probability	0.71	0.67	0.73	0.72	0.68	0.63

برای هر یک از سناریوها به‌طور مستقل احتمال وقوع بر حسب درصد برای چهار سطح پذیرش در دو جامعه آماری مردم و مسئولان محاسبه شد که نتایج آن به‌صورت هیستوگرام در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشخص است، سناریوهای مختلف مدیریت رواناب سطحی احتمالات وقوع متفاوتی در هر یک از سطوح پذیرش را دارا می‌باشند. به‌طوری که پشت بام سبز و آسفالت نفوذپذیر به‌ترتیب در جامعه آماری مردم و مسئولان بیشترین احتمال وقوع را برای سطح پذیرش زیاد به خود اختصاص داده‌اند.

نکته جالب توجه دیگر این است که برای تمام سناریوها و از نظر هر دو گروه مصاحبه شونده، احتمال وقوع سطوح پذیرش کم و عدم پذیرش بسیار پایین است. به‌عبارتی چه مردم و چه مسئولان آمادگی خوبی برای پذیرش سناریوهای مدیریت رواناب شهری دارند. بنابراین دلایل عدم نمود واقعی چنین اقداماتی در برنامه‌های مدیریتی گذشته و کنونی در سطح شهر نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد.

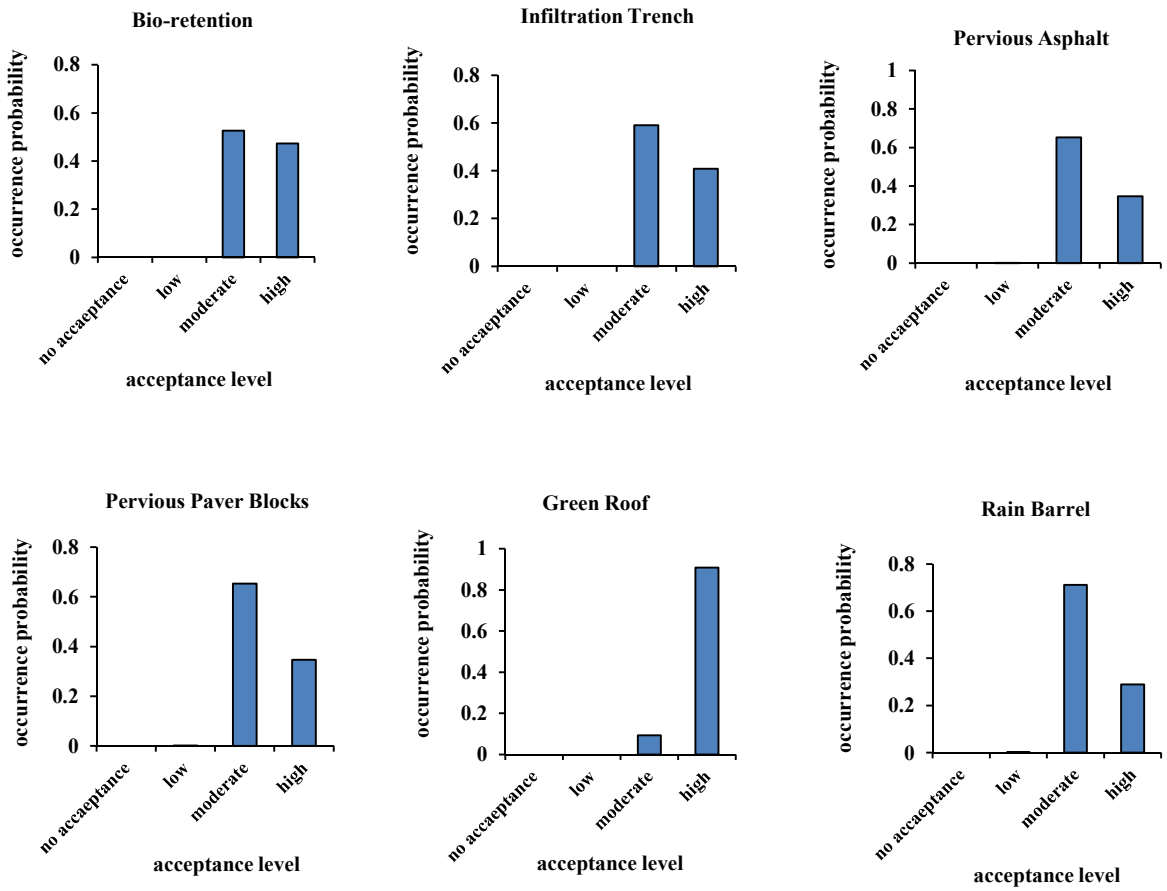

Fig. 4. Acceptance probability graphs of urban runoff management scenarios in society of citizens

شکل ۴- نمودارهای احتمال وقوع پذیرش سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در جامعه مردم

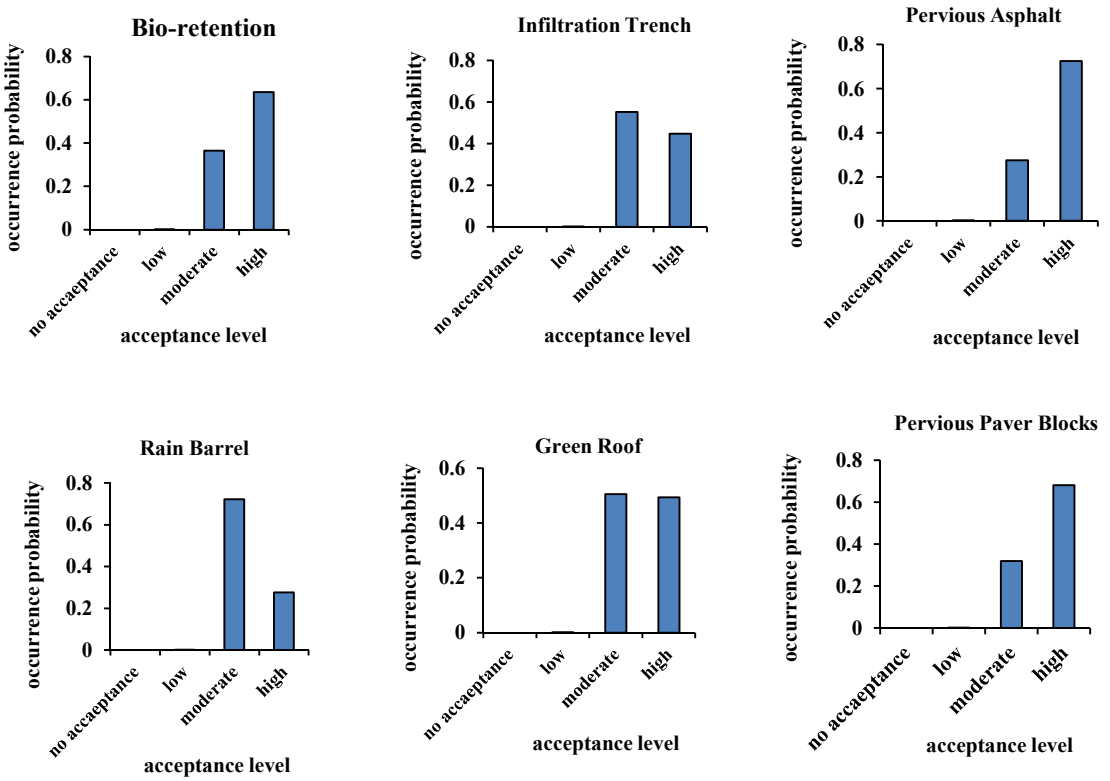

Fig. 5. Acceptance probability graphs of urban runoff management scenarios in society of authorities and experts

شکل ۵- نمودارهای احتمال وقوع پذیرش سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در جامعه مسئولان و متخصصان

۴-۳- نتایج تجزیه و تحلیل اقتصادی

هزینه اجرای هر یک از سناریوها در شکل ۶ و هزینه اجرای هر سناریو به ازای هر متر مکعب کاهش رواناب در شکل ۷ آورده شده است.

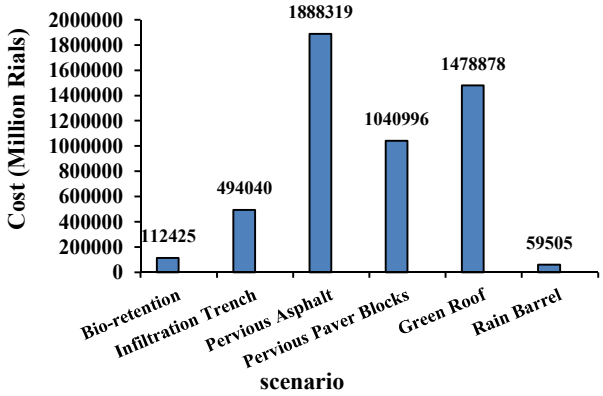

Fig. 6. Comparing the implementing costs of each scenario

شکل ۶- نمودار مقایسه هزینه‌های اجرای هر سناریو

همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، سناریو ۳ (آسفالت نفوذپذیر) با ۴/۶ درصد کاهش حجم رواناب سطحی و ۱۸۸۸۳۱۹ میلیون ریال هزینه اجرا، گران‌ترین سناریو است و سناریو ششم (مخازن آب باران) با ۵ درصد کاهش حجم رواناب و هزینه اجرایی ۵۹۵۰۵ میلیون ریال، ارزان‌ترین سناریوی ممکن برای اجرا است.

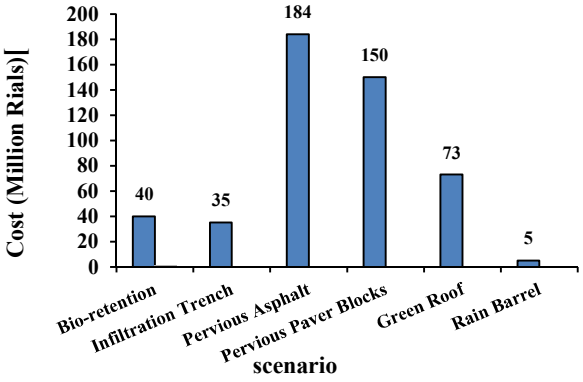

Fig. 7. Comparing the implementing cost of each scenario per cubic meter reduction in surface runoff

شکل ۷- نمودار مقایسه هزینه اجرای هر سناریو به ازای هر یک مترمکعب کاهش رواناب سطحی

ایـن در حـالی اسـت کـه از نظـر پـذیرش اجتمـاعی، سـناریوهای پشت بـام سبز (از نظر مـردم) و آسفـالت نفـوذپـذیـر (از نظـر کارشناسان و مسئولان) بالاترین سطح پـذیرش و سـناریوی بشـکه بـاران (هـم از نظـر مـردم و هـم از نظـر کارشناسـان و مسـئولان) پایین‌ترین سطح پذیرش را دارند. با توجه به وجود تفاوت در سـطح و اندازه پیشنهادی هر یک از سناریوهای مـدیریتی، مکـان متفـاوت برای اجرای هر کدام، تفاوت آن‌ها در ظرفیت نگهداشـت روانـاب و بازدهی متفاوت هر یک، علاوه بر محاسبه کل هزینـه‌هـای اجـرا، در شکل ۷ به بررسی هزینه اجرای هر کدام از سناریوها به ازای هر متـر مکعب کاهش حجم رواناب سطحی نیز پرداخته شده است کـه نتـایج این بررسـی نشـان داد آسـفالت نفـوذپـذیر بـا ۱۸۳۶۸۸۶۴۱ ریـال هزینه و بشـکه بـاران بـا ۵۱۲۰۹۱۲ ریـال هزینـه بـه ازای هـر متـر مکعب کاهش حجم رواناب به ازای یک رگبـار بـا دوره بازگشـت ۵ ساله به‌ترتیب بیشترین و کمترین هزینه اجرایی را دارند.

۴-۴- تعیین سناریوی برتر با استفاده از روش TOPSIS

در ایـن پـژوهش بـه‌منظـور ارزیـابی اثـرات مختلـف سـناریوهای مـدیریت روانـاب سـطحی و انتخـاب بهتـرین گزینـه از مـدل تصمیم‌گیری TOPSIS استفاده شد.

از آنالیز حساسیت می‌توان برای تعیین میزان صحت و استواری نتـایج اسـتفاده نمـود کـه در ایـن پـژوهش از حالـت‌هـای مختلـف وزن‌دهی به‌منظور تعیین اولویت‌های متفاوت سناریوها استفاده شد. در جـدول ۳ مقـادیر مختلـف وزن‌دهـی بـه معیارهـا بـه‌منظـور اولویت‌بندی سناریوها در حالت‌های مختلف ارائه شده است.

به‌منظور استانداردسـازی شـاخص‌هـای مـورد مقایسـه در مـدل تاپسیس از روش نرم استفاده شده است. در جدول ۴ ارزیابی اثرات اجرای سناریوهای مدیریتی با سه معیار ارزیابی شامل کاهش حجم روانـاب، درصـد پـذیرش و هـزینه اجـرای هر یـک از اقـدامات (بـا در نظر گرفتن طول عمر هر کدام) ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر مختلف وزن‌دهی به معیارها به منظور اولویت‌بندی سناریوها در حالت‌های مختلف

Table 3. Different values of weightings for the criteria in order to prioritize scenarios in different conditions

Weighting criteria / Indicator	Runoff volume reduction	Social acceptance	Cost
Equal weighting	33.33	33.33	33.33
Delphi	26	35	39
Shannon entropy	22.48	0.13	77.39
Emphasizing on hydrologic criteria	50	25	25
Emphasizing on social criteria	25	50	25
Emphasizing on economic criteria	25	25	50

جدول ۴- ارزیابی اثرات اجرای سناریوهای مدیریتی با سه معیار ارزیابی

Table 4. Evaluation of effects for management scenarios with three evaluation criteria

Criteria / Scenario	Runoff volume reduction (cubic meter)	Social acceptance	Cost (Million Rials)
Bio-retention	2810	68.22	4497
Infiltration trench	14040	66.00	9881
Pervious asphalt	10280	67.56	75533
Pervious paver blocks	6920	67.11	34700
Green roof	20250	72.44	36972
Rain barrel	11620	63.78	1488

جدول ۵- مقادیر نرمال شده معیارهای ارزیابی

Table 5. Normalized values of evaluation criteria

Criteria / Scenario	Runoff volume reduction	Social Acceptance	Cost
Bio-retention	0.09	0.41	0.05
Infiltration trench	0.47	0.40	0.11
Pervious asphalt	0.34	0.41	0.82
Pervious paver blocks	0.23	0.41	0.38
Green roof	0.67	0.44	0.40
Rain barrel	0.39	0.39	0.02

جدول ۶- اولویت‌بندی سناریوها به روش TOPSIS در حالت‌های مختلف وزن‌دهی

Table 6. Prioritization of scenarios in different weighting conditions using TOPSIS method

Weighting method / Scenario	Equal weighting	Delphi	Shannon entropy	Emphasizing on hydrologic criteria	Emphasizing on social criteria	Emphasizing on economic criteria
Bio-retention	4	3	3	4	4	3
Infiltration trench	1	1	2	2	1	2
Pervious asphalt	6	6	6	6	6	6
Pervious paver blocks	5	5	5	5	5	5
Green roof	3	4	4	1	3	4
Rain barrel	2	2	1	3	2	1

در جدول ۵ مقادیر نرمال شده معیارهای ارزیابی به روش نرم آورده شده است. اولویت‌بندی سناریوها به روش TOPSIS در حالت‌های مختلف وزن‌دهی در جدول ۶ آورده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با داشتن سه شاخص ارزیابی (کاهش حجم رواناب، پذیرش اجتماعی و هزینه)، اولویت‌بندی بر مبنای روش تصمیم‌گیری TOPSIS مدنظر قرار گرفت.

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که این روش تصمیم‌گیری در حالت‌های مختلف وزن‌دهی نتایج متفاوتی در اولویت‌بندی سناریوها دارد. در روش تصمیم‌گیری TOPSIS که از نظر قابلیت اعتماد نتایج آن ایده‌آل است،

با تأکید بر روش وزن‌دهی یکسان، دلفی و با تأکید بر معیار اجتماعی، سناریو دوم (ترانشه نفوذ) که سازگارترین گزینه به راه‌حل ایده‌آل بود، در اولویت اول قرار گرفتند. همچنین در این روش با تأکید بر معیار اقتصادی و آنتروپی شانون، سناریوی ششم (مخازن آب باران)، و با تأکید بر معیار هیدرولوژیکی، سناریوی پنجم (پشت بام سبز) در اولویت اول قرار گرفتند.

نتایج این پژوهش می‌تواند به مسئولان شهر در راستای کسب شناخت از تمایلات دیدگاه‌های مردم و کارشناسان و آمادگی و پشتیبانی استقبال مردم از تصمیمات مسئولان در مورد رفع مشکلات سیلاب‌های شهری از طریق اجرای سناریوهای گوناگون توسعه کم اثر، کمک کند.

برای تسهیل در استفاده از نتایج اولویت‌بندی سناریوها در حالت‌های مختلف وزن‌دهی باید اشاره کرد که مدیران دستگاه های اجرایی می‌توانند با توجه به دیدگاه‌ها و اهداف مختلف مدیریتی، با تأکید بر یکی از معیارها به انتخاب خود، مستقیماً به نتایج مراجعه نموده و سناریوهای مربوطه را انتخاب و به‌کار گیرند.

به این ترتیب نتایج حاصل می‌تواند در منطقه مطالعاتی و در راستای مدیریت یکپارچه باعث تسهیل در امر تصمیم‌گیری برای انتخاب سناریوهای مدیریتی مناسب پیش از اجرای هر عملیاتی باشد.

۶- قدردانی

از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌دلیل حمایت مالی انجام این تحقیق در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد سپاسگزاری می‌شود. همچنین از داوران این مقاله به خاطر بیان نقطه نظرات ارزشمند اصلاحی که باعث ارتقای کیفی مقاله شده است، قدردانی می‌شود.

References

Asgharpur, M. 1998. *Multi-criteria decision making*, University of Tehran Press, Iran. (In Persian)

Boston Water and Sewer Commission. 2013. *Stormwater best management practices, proposal and guidance document*, Massachusetts, USA.

Benedini, M. 1988. Developments and possibilities of optimization models. *Agricultural Water Management*, 13**,** 329-358.

De Montis, A., De Toro, P., Frank, B.D., Omann, I. & Stagl, S. 2000. Criteria for quality assessment of MCDA methods. *3rd Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics*, Vienna.

Duckstein, L.S.O. 1980. Multi-objective optimization in river basin development. *Water Resources Research*, 16(1)**,** 14-20.

Goonetilleke, A., Thomas, E., Ginn, S. & Gillbert, D. 2005. Understanding the role of land use in urban stormwater quality management. *Journal of Environmental Management*, 74 (1)**,** 31-42.

Hunter, G. 1999. Stormwater quality improvement devices; Issues for consideration. *International Conference on Urban Storm Drainage*, Sydney, Stormwater Industry Association, NSW.

Hwang, C. & Yoon, K. 1981. *Multiple attribute decision making methods and applications: A state of the art survey*, Springer-Verlag, Berlin, New York.

Jebel Ameli, M.S., Rezaeifar, A. & Chaeibaaksh Langroudi, A. 2005. Risk ranking of projects using multi-criteria decision-making process. *Journal of Faculty of Engineering*, Vol. 41, No. 7(109)**,** 863-871. (In Persian)

James, W., Rossman, L.A. & James, W.R. 2010. *User's guide to SWMM 5*, Computational Hydraulics International, Guelph, Ontario, Canada.

Lagzian, R. 2014. Identifying and prioritizing surface runoff management scenarios using multi-ctiteria decision making techniques for Neishabour city. MSc Thesis, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)

Momeni, M. 2006. *New topics operations research*, University of Tehran Press, Tehran. (In Persian)

Mehr Newspaper. 2012. Tabnak online, viewed 12 April 2015, <http://www.tabnak.ir/fa/news/245005/>

Nickandam, M.H. 2013. Urban surface water management using ecological sustainable measures. MSc Thesis, Khajeh Nasir University of Technology, Tehran, Iran. (In Persian)

Sadoddin, A., Halili, M.Gh., Mostafazadeh, R. & Razavi, A. 2007. Multiple-attribute decision making method for Integrated Management in the Ramian watershed, Golestan, Iran. *4th National Conference of Watershed Management Science and Engineering*, Karaj, Iran. (In Persian)

Sadoddin, A., Sheikh, V., Mostafazadeh, R. & Halili, M. 2010. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian watershed, Golestan, Iran. *Journal of Plant Production*, 4 (1)**,** 51-62.

Stewart, T.L. & Scott, H. 1995. A scenario-based framework for multi-criterion decision analysis in water resources planning. *Water Resources Research*, 31 (11)**,** 2835-2843.

Yang, T. & Hung, Ch.Ch. 2007. Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 23 (1)**,** 126-137.