تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال یازدهم، شماره ۲، پائیز ۱۳۹۴
Volume 11, No. 2, Fall 2015 (IR-WRR)
۵۷-۶۹

انتخاب نوع لوله مناسب در ساخت شبکه‌های آبرسانی به مناطق کم جمعیت با روش OWA-TOPSIS و لحاظ اجماع گروهی

مهدی ضرغامی[۱]، سمیه باغبانی[۲*] و علی نیکجوفر[۳]

چکیده

انتخاب نوع لوله مناسب برای شبکه انتقال و توزیع آب باعث صرفه‌جویی در هزینه وکاهش هدر رفت آب می‌شود. لذا هدف این مقاله تعیین نوع لوله مناسب برای شبکه انتقال و توزیع آب در مناطق کم جمعیت، از جمله روستایی استان آذربایجان شرقی می‌باشد. ابتدا ۲۲ معیار اولیه ارزیابی لوله‌ها بر اساس تجربیات بین‌المللی و ملی تعیین شده و وزن نسبی آنها از ۱۹ نفر خبره سوال شده است. سپس درجه اجماع تصمیم‌گیران روی وزن معیارها به کمک روش‌های اجماع سخت، روش انحراف معیار، محاسبه شده و با کمک یک شاخص تلفیقی جدید ۸ معیار مهم انتخاب گردیده است. سپس با استفاده از روش TOPSIS گزینه نهایی از میان چهار نوع لوله پلی‌اتیلن، فولای، داکتیل چدنی و پی وی سی، براساس اجماع سخت انتخاب شده است. بار دیگر برای بررسی اجماع نرم بر روی ۸ معیار مرحله قبل پرسشنامه‌ای طراحی و ۷ نفر از افراد خبره که در مرحله‌ی قبل همکاری داشتند به امتیازدهی معیارها پرداخته‌اند. برای تجمیع نظرات تصمیم‌گیران روی این ۸ معیار از روش میانگین وزنی مرتب (OWA) استفاده شده و در نهایت اولویت‌بندی گزینه‌ها با روش TOPSIS انجام شده است. همچنین حساسیت امتیاز گزینه‌ها با استفاده از نرم‌افزار GFDM روی تغییرات بعضی پارامترها بررسی شده است. در نهایت لوله نوع پلی‌اتیلن به عنوان گزینه نهایی توصیه شده است.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری گروهی فازی، تحلیل حساسیت، نوع لوله آبرسانی، اجماع نرم و سخت، TOPSIS، OWA .

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۵/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۲/۲۱

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز.

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران دانشگاه تبریز.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران دانشگاه تبریز.

*- نویسنده مسئول

Selecting the Proper Type of Pipe for Less Populated Area Water Distribution Networks Using OWA-TOPSIS Considering Group Consensus

M. Zarghami[1] , S. Baghbani[2] and A. Nikjoufar[3]*

Abstract

The right water pipe selection would save the cost and minimize the wasted water in the water conveyance and distribution systems. The aim of this study is to determine the proper pipe for water networks in less populated areas. Villages of East Azerbaijan, Iran is studied in detail as the case study to this research. To evaluate different types of the pipes, 22 effective criteria are initially proposed through questioning nineteen experts. The degrees of consensus of decision-makers on the weights of these criteria are calculated by a rigid consensus way; standard deviation method. With the help of a rigid consensus degree, 8 of the criteria with higher consensus were then selected. The final choice for pipe type among the four types of Polyethylene, Steel, Ductile Cast Iron, and PVC is then made based on the rigid method using TOPSIS. Again, to check the consensus on criteria using soft methods, a questionnaire is designed. Seven experts, who worked on the previous part, evaluated the criteria in a pairwise approach. The weights for the eight criteria have been calculated with the Orderd Weighted Averaging method (OWA) and finally the alternatives are ranked with TOPSIS method. Using GFDM software a more detailed sensitivity analysis has been also performed. Finally the polyethylene pipe is recommended as a most robust and effective option.

Keywords: Fuzzy group decision making, Sensitivity analysis, Water pipe type, Hard and soft consensus, TOPSIS, OWA.

Received:

Accepted:

1-Associate Professor, Civil Engineering Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran

2-M.Sc. Graduate, Civil Engineering Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran, baghbani.somayeh@yahoo.com

3-M.Sc. Graduate, Civil Engineering Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran

*- Corresponding Author

۱- مقدمه

با توجه به اثر متقابل لوله و آب عبوری بر هم و شرایط محیطی و همچنین مسائل فنی و بهداشتی و اقتصادی مطرح در پروژه‌های آبرسانی نوع لوله مورد استفاده، همواره مورد بررسی قرار گرفته است. انتخاب دقیق معیارها قبل از انجام هرگونه تحلیلی، اساسی‌ترین قسمت تصمیم‌گیری می‌باشد. در انتخاب جنس لوله معیارهای مختلف اقتصادی، فنی و بهداشتی مطرح می‌باشد. بنابراین برای تصمیم‌گیری صحیح در مـــورد انواع لوله‌ها، نیاز بـــه استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در جنبه‌های مختلف مسائل مدیریت و برنامه‌ریزی کاربرد دارد. در انتخاب نوع لوله افراد مختلفی تصمیم‌گیر و ذینفع می‌باشند که هر یک با توجه به تخصص خویش برخی معیارها را مهم‌تر می‌دانند. لذا باید اجماع تصمیم‌گیران در مورد معیارهای مهم و تأثیرگذار در انتخاب نوع لوله بررسی شود، تا پس از تصمیم‌گیری، نوع لوله انتخابی مورد تایید افراد باشد و نظر تمامی افراد جلب گردد. از طرفی وجود معیارهای زیاد تصمیم‌گیری را پیچیده کرده و باعث همپوشانی بین معیارها و نیز دشواری و حتی عدم امکان تهیه داده‌های رفتار گزینه‌ها از دید معیارها می‌شود. بررسی اجماع برروی معیارها تعداد معیارها را کاهش داده و معیارهای تاثیرگذار و مهم از نظر افراد را مشخص می‌کند. در اینجا درجه اجماع افراد روی معیارها از روش اجماع سخت (روش انحراف معیار) و روش‌های اجماع نرم محاسبه و بررسی گردیده است.

Herrera et al. (2014) از روش اجماع نرم در محیط فازی استفاده کردند. اجماع نرم دلالت بر وجود توافق میان اکثریت فازی تصمیم‌گیران روی مجموعه معیارها دارد. Perez et al. (2013) مدل اجماعی براساس ماهیت فازی جهت افزایش دقت و نرمی در سناریوهای تصمیم ارائه دادند. هدف اصلی تصمیم‌گیری گروهی رسیدن هر چه سریعتر به راه حل مورد اجماع و رضایت تصمیم‌گیران می‌باشد بطوریکه فاصله بین اطلاعات و دید افراد به موضوع را کاهش دهد. طبق نظر آنها با استفاده از منطق فازی می‌توان اطلاعات ناقص و مشکوک را مدل‌سازی نمود. همچنین تغییرات در نظر افراد را می‌توان با کمک این ماهیت به طور دینامیک مدل نمود.

Shafiqul Islam et al. (2013) مدلی برای بررسی کاهش کیفیت آب در داخل لوله بر اساس محاسبات فازی – OWA– TOPSIS ارائه دادند. اساس کار این مدل بررسی رفتار متقابل دلیل و نتیجه‌ی کاهش کیفیت آب می‌باشد. این مدل قابلیت محاسبه پتانسیل کاهش کیفیت آب، محاسبه محتمل‌ترین دلایل بـرای کاهش کیفیت آب (با استفاده از خصوصیات روش TOPSIS) و محاسبه رابطه پیچده‌ی (شیمیایی و میکروبی) دلیل و نتیجه، با ادغام نظر افراد (با استفاده از خصوصیات روش OWA) را دارا می‌باشد. مدل پیشنهادی این تحقیق روشی نو برای محاسبه شرایط کیفیت آب در نقاط و یا لوله‌های مختلف ارائه می‌دهد.

Mortezania and Othman (2012) تحقیقی در زمینه تاثیر جنس لوله در کاهش هزینه‌های اجرایی شبکه انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که با پوشش بتنی طول عمر مفید شبکه افزایش یافته و مقاومت آن در برابر عوامل خورنده افزایش می‌یابد. البته از لحاظ اقتصادی، هزینه استفاده از لوله‌های پوشش‌دار بیشتر خواهد بود که در اقطار بزرگتر از ۶۰۰ میلیمتر تفاوت هزینه بیشتر نمایان خواهد بود. پورزنگی آبادی و بارانی (۱۳۸۹) در تحقیقی که در زمینه اهمیت انتخاب لوله در شبکه‌های توزیع آب انجام دادند اشاره کرده‌اند که اهمیت انتخاب نوع لوله از لحاظ قطر و ضخامت بسیار بالا بوده و تاثیر زیادی در کاهش هزینه‌ها خواهد داشت. با انتخاب جنس مناسب لوله درشبکه توزیع آب می‌توان به شبکه‌ای با قیمت ارزان و حداقل افت رسید. آنها در تحلیل شبکه توزیع آب معیارهای طول، قطر و ضریب اصطکاک لوله‌ها را در نظر گرفتند.

Cabrerizo et al. (2010) بیان نمودند که دو مرحله مهم در تصمیم‌گیری وجود دارد : مرحله اجماع و مرحله تصمیم، که مرحله اجماع به توافق بین معیارهای مطرح می‌پردازد و مرحله تصمیم که گزینه نهایی را انتخاب می‌کند. آنها در تحقیق خود که در فضای فازی انجام می‌گرفت از اجماع سخت (با مقداری بین ۱ و ۰) و درجه اجماع نرم (درجه اجماع با انعطاف بیشتر) استفاده نمودند.

Zarghami et al. (2008) نیز از عملگر میانگین وزنی مرتب (OWA) در تصمیم‌گیری چند معیاره برای اولویت‌بندی تخصیص آب برای ۱۳ پروژه با در نظر گرفتن ۷ معیار در حوضه آبریز سفیدرود استفاده کردند. اجرای روش عملگر میانگین وزنی مرتب (OWA) در این تحقیق نظر گروه تصمیم‌گیر برای وزن هر یک از معیارها، را تأمین نمود. ابتدا وزن معیارها را با در نظر گرفتن نظر تصمیم‌گیران محاسبه نمودند. در این تحقیق اکثر معیارها بصورت بیانی می‌باشند که برای تبدیل متغیرهای بیانی به مقادیر عددی از روشهای فازی استفاده گردیده است. سپس با به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بهترین سیستم تخصیص منابع آب در حوضه مذکور انتخاب شده است. میان‌آبادی و افشار (۱۳۸۶) طرح‌های تأمین آب

شهری زاهدان را با سه روش مختلف تحلیل چندمعیاره شامل میانگین وزن مرتب شده استقرایی، تخصیص خطی و TOPSIS رتبه‌بندی نمودند. آنها نتیجه گرفتند که هر چند به طور قطع نمی‌توان روشی خاص برای مسائل منابع آب پیشنهاد کرد ولی در مطالعه موردی انجام شده به نظر می‌آید روش میانگین وزن مرتب شده استقرایی عدم قطعیت کمتری در انتخاب گزینه نهایی ایجاد می‌کند.

کلهری و عمارلوئی (۱۳۸۳) تحقیقی را در زمینه بررسی آلودگی و بهداشت آب ناشی از پوشش داخلی لوله‌ها انجام داده‌اند. در این مقاله توضیح داده شده که در اثر کاربرد مواد آلی در پوشش داخلی لوله‌ها و ایجاد واکنش‌های شیمیایی با آب، مواد سرطان‌زا (هیدروکربن‌های عطری) تولید شده و وارد شبکه توزیع آب می‌گردند. براساس این تحقیق می‌توان مقاومت لوله‌ها در محیط‌های خورنده را به عنوان معیاری مهم در انتخاب جنس لوله مصرفی در شبکه‌های توزیع و انتقال در نظرگرفت.

Kuncheva et al. (1996) یک عملگر اجماع فازی ارئه دادند که درجه اجماع بین تصمیم‌گیران در محاسبه ارزش نهایی را شامل می‌شود. که پذیرش یا رد با وجود توافق بین تصمیم‌گیران را در ارزیابی‌هایشان مورد توجه قرار می‌دهد.

با توجه به موارد مطرح شده انتخاب نوع لوله به‌صورت یک مسئله تصمیم گیری گروهی چند معیاره با بررسی درجه اجماع روی معیارها با تعداد معیارهای بیشتری بررسی می‌شود که به عنوان کاری نو در زمینه‌ی انتخاب لوله می‌باشد و در مطالعات صورت گرفته پیشین مربوطه به طور کامل بررسی نشده است. در این تحقیق ضمن طرح و بررسی تعداد زیاد و تقریبا جامعی از معیارهای فنی، اقتصادی و بهداشتی مطرح در انتخاب لوله (۲۲ معیار)، برای اولین بار در این زمینه درجه اجماع تصمیم‌گیران سخت و نرم بر روی معیارها بررسی شده و یک شاخص تلفیقی نیز تعریف شده است. در ادامه ابتدا به بررسی معیارها و بررسی درجه اجماع و سپس ماتریس تصمیم‌گیری پرداخته در نهایت با استفاده OWA-TOPSIS گزینه برتر معرفی می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

هدف این مقاله انتخاب لوله مناسب با استفاده از روش OWA-TOPSIS و نیز ارزیابی اجماع سخت و نرم بر روی معیارها و انتخاب معیارهای تاثیر گذار و جهت ارتقاء کیفیت عملکرد شبکه‌های توزیع آب می‌باشد. در نمودار ۱ مراحل انتخاب گزینه نهایی شرح داده شده است.

۲-۱- وزن‌دهی به معیارها

در محاسبات درجه اجماع سخت برای پی بردن به مقدار اهمیت معیارها و نحوه تاثیر هریک از معیارها بر گزینه‌های موجود پرسشنامه‌هایی شامل معیارهای مختلف تهیه گردیده و هر معیار با وزنهای خیلی زیاد، نسبتا زیاد، زیاد، متوسط، نسبتا کم، کم و خیلی‌کم وزن‌دهی شده است. سپس این پرسشنامه‌ها توسط ۱۹ تن از افراد مطلع دانشگاهی و کارشناسان فنی توزیع شد و با توجه به شرایط اقلیمی و اقتصادی و اجتماعی منطقه مورد بررسی (آذربایجان شرقی)، تکمیل گردیده است. پس از جمع‌آوری پرسشنامه در محاسبات مربوط به وزن دهی معیارها با کمک دو روش صورت گرفته است که به ترتیب زیر می‌باشند.

۲-۱-۱- روش میانگین وزنی

در محاسبات مربوط به وزن‌دهی معیارها در درجه اجماع سخت (با توجه به اینکه وزن‌دهی انجام یافته توسط افراد با کمیت‌های بیانی می‌باشد) برای تبدیل کمیتهای بیانی به عددی از مجموعه اعداد (۱،۲،۳،۴،۵،۶،۷) که معادل مجموعه‌ی زبانی (خیلی زیاد، زیاد، نسبتا زیاد، متوسط، نسبتاکم، کم، خیلی کم) می‌باشد استفاده شده است. سپس میانگین امتیاز هر معیار بر اساس کل امتیازات داده شده، محاسبه گردیده است.

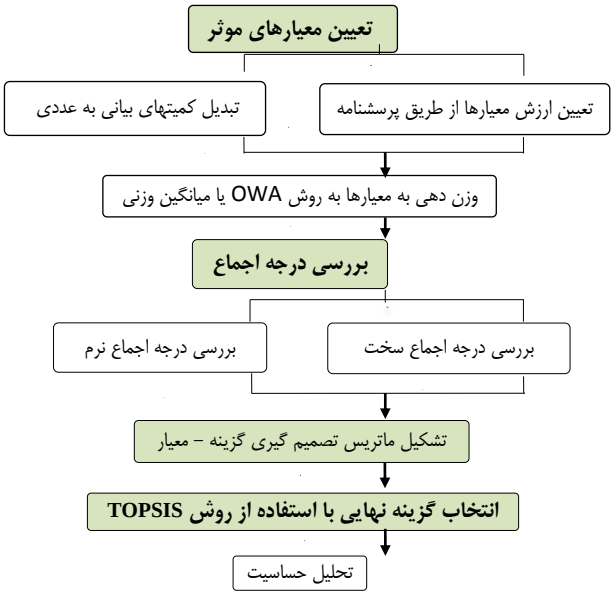
۲-۱-۲- روش میانگین وزنی مرتب (OWA)

این روش بوسیله Yager (1988) به صورت رابطه زیر معرفی شده است.

$$F: R^n \rightarrow R \qquad (۱)$$

$$F = (a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^{n} w_j b_j = w_1 b_1 + w_2 b_2 + \dots + w_n b_n$$

بـه طوریـکـه $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1,\ w_i \in [0,1]$ و b_j عبارت است از j امین مقدار بزرگ در مجموعه داده‌های ورودی $(a_1, a_2, \dots, a_n)$. در واقع b_j مرتب شده‌ی نزولی مقادیر بردار a است. روشهای مختلفی برای بدست آوردن بردار وزن w وجود دارد. در اینجا از روش کمیت‌سنج‌های فازی به صورت $Q(r) = r^{\alpha}$ استفاده شده است. در این روش نیز ابتدا عبارات بیانی نظرات کارشناسان معادل سازی گردید. به دلیل وجود معیارهایی که ارزیابی آنها جز از طریق مقادیر



نمودار ۱- مراحل انتخاب لوله مناسب شبکه‌های آبرسانی با بررسی درجه اجماع روی معیارها

کمی امکان‌پذیر نمی‌باشد، برای حل این مسئله می‌توان از مجموعه‌های فازی استفاده نمود. برای اینکار از اعداد فازی مثلثی استفاده شـد، کـــه در جـــدول ۱ نشان داده شـده است.

روش کمیت سنج‌های فازی $Q(r)=r^{\alpha}$

ابتدا درجه ی خوش بینی معین θ بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\theta = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(n-i)w_i \qquad (۲)$$

که وقتی n به سمت بی نهایت میل می‌کند θ برابر خواهد بود با:

$$\theta = \int_0^1 Q(r)dr = \int_0^1 r^{\alpha}\,dr = \frac{1}{1+\alpha} \qquad (۳)$$

جدول ۱- اعداد فازی مثلثی (Zarghami et al. (2008))

متغیرهای زبانی	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم	(0.00, 0.00, 0.10)
کم	(0.20, 0.10, 0.20)
نسبتا کم	(0.35, 0.20, 0.20)
متوسط	(0.50, 0.20, 0.20)
زیاد	(0.65, 0.20, 0.20)
نسبتا زیاد	(0.80, 0.20, 0.10)
خیلی زیاد	(1.00, 0.10, 0.00)

مقدار α به ازای درجات خوش بینی مختلف که هر کدام متناظر با یک کمیت سنج کیفی است از جدول ۲ (Xu and Chen, 2007) بدست می‌آید. در حالتی که معیارها دارای اهمیت نسبی u_i و مقدار a_j باشند پس از مرتب کردن مقادیر a_j زوج (u_j, a_j) به زوج (v_j, b_j) تبدیل خواهد شد. سپس از رابطه زیر بردار وزن w متناظر با هر درجه خوشبینی θ بدست می‌آید.

$$w_i = Q\left(\frac{i}{n}\right) - Q\left(\frac{i-1}{n}\right) \qquad i = 1,2,,\dots,n \qquad (۴)$$

به طوریکه $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1\ ,\ w_i \in [0,1]$ می‌باشد.

لذا ویژگی عملگر OWA انعکاس درجه‌ی خوشبینی تصمیم‌گیر است. هر چه بردار وزن عددهای بزرگتری در ابتدا داشته باشد، درجه‌ی خوشبینی بیشتر است. منظور از خوشبینی تصمیم‌گیر میزان و درجه‌ی پذیرش ریسک در تصمیم‌گیری است. اگر تصمیم‌گیر بخواهد نظر افراد بیشتری را در انتخاب اعمال کند وی نگرشی بدبینانه دارد، ولی اگر تصمیم‌گیر در انتخاب خود تنها نظر برخی از افراد را اعمال کند وی نگرشی خوشبینانه دارد. محاسبات برای اعمال نظر تعداد زیادی از افراد، بافرض نگرشی بدبینانه و میزان کمیت سنج بیانی بیشتر معیارها و خوش بینی ۰/۳۳ انجام یافته است.

۲-۲- اجماع سخت

از روش زیر برای محاسبه درجه اجماع سخت استفاده شده است:

محاسبه درجه اجماع با روش انحراف معیار

بـــرای محاسبه درجه اجماع با این روش ابتدا با استفاده از رابطـــه

ریاضی موجود انحراف معیار (S) و میانگین امتیازات $\overline{x_i}$ داده شده برای هر معیار محاسبه شده و سپس درجه اجماع با جاگذاری مقدار انحراف معیار بدست آمده در رابطه ۶ حاصل می‌گردد.

$$\text{درجه اجماع} = 1 - \frac{S}{\overline{x_i}} \quad (۵)$$

۲-۳-استفاده از شاخص تلفیقی CS

شاخص تلفیقی ارائه شده در مطالعه‌ی Zarghami et al. (2008) برای انتخاب مهمترین معیارها به صورت رابطه ۷ ارایه می‌شود که در آن هم میزان امتیاز یک معیار (S) مهم است و هم اثر درجه اجماع (به روش انحراف معیار) آن (C) و CS شاخص تلفیقی، $W1$ وزن معیار و $W2$ درجه اجماع می‌باشد.

$$CS = W1 \times S + W2 \times C \quad (۶)$$

۲-۴- درجه اجماع نرم

۲-۴-۱- مدل اجماع نرم براساس انطباق صلب در میان اولویت‌ها

در مسئله تصمیم گیری گروهی با فرض اینکه که مجموعه ی E کارشناسان و P مجموعه روابط اولویت‌های ارائه شده توسط کارشناسان می‌باشد، مدل اجماع براساس انطباق صلب میان اولویت‌ها در سه مرحله زیر حاصل می‌گردد:

$$E = \{e_1, \dots, e_m\}$$

$$P = \{p^1, \dots, p^m\}$$

مرحله ۱: ماتریس شباهت $SM^{hl} = [sm_{ik}^{hl}], i, k = 1, \dots . n$ برای دو کارشناس e_h, e_l به شکل زیر به دست می‌آید:

$$(e_h, e_l) \ (h = 1, \dots, m\text{-}1, l = h\text{+}1, \dots, \mathrm{m})$$

$$sm_{ik}^{hl} = \begin{cases} 1, \text{ if } \ p_{ik}^h = p_{ki}^h \\ \\ 0, \text{otherwise} \end{cases}$$

با مقایسه بین نظرات دو کارشناس اگر نظر آنها مشابه هم باشد مقدار ۱ و اگر مشابه نباشد صفر برای میزان انطباق نظر آنها در نظر گرفته می‌شود.

مرحله۲: ماتریس تجمعی sm همه کارشناسان برای معیارها از روی ماتریس شباهت فوق با استفاده از میانگین حسابی φ به عنوان معادله تجمیع به دست می‌آید.

$$sm_{ik} = \varphi(sm_{ik}^{hl}, h = 1, \dots . , m - 1, l = h + 1, \dots . , m) \quad (۸)$$

مرحله ۳: شاخص نزدیکی و درجه اجماع در سطوح زیر محاسبه می‌گردند:

سطح اول: درجه اجماع روی جفت معیارها (cop_{ik}): همان ماتریس تجمعی محاسبه شده در مرحله‌ی ۲ می‌باشد. که هر چه مقادیر نزدیک به ۱ باشد نشان دهنده‌ی توافق بالا بین کارشناسان روی جفت معیارهای مورد بررسی می‌باشد.

$$cop_{ik} = sm_{ik} \quad (۹)$$

سطح دوم: درجه اجماع روی معیارها:درجه اجماع روی معیار x_i که ca_i نامیده می‌شود نشان دهنده اجماع کل کارشناسان بر روی معیار x_i می‌باشد.

$$ca_i = \frac{\sum_{k=1, k\neq i}^{n} (cop_{ik} + cop_{ki})}{2n-2} \quad (۱۰)$$

سطح سوم: درجه اجماع روی روابط: درجه اجماع روی روابط که CR نامیده می‌شود نشان دهنده‌ی درجه اجماع روی نظرات کل کارشناسان می‌باشد. برای محاسبه آن ابتدا جمع کل درجات اجماع بر روی معیارها به دست آمد و سپس با توجه به رابطه ۱۲ بر تعداد کل معیارها تقسیم می‌گردد.

$$\mathrm{CR} = \frac{\sum_{i=1}^{n} ca_i}{n} \quad (۱۱)$$

۲-۴-۲- مدل اجماع نرم براساس انطباق نرم در میان گزینه‌ها

در این روش نیز معیار شباهت روی اولویت‌های کارشناسان تصمیم‌گیران برای بدست آوردن مفهوم انطباق استفاده شده است. در این روش تعداد زیادی از درجات احتمالی انطباق در نظر گرفته می‌شود. فرض می‌شود که مفهوم انطباق یک مفهوم تدریجی می‌باشد،که با مقادیری در فاصله واحد [۱و۰] بیان می‌شود. مدل اجماع براساس انطباق نرم در میان گزینه‌ها را در تصمیم گیری گروهی به ترتیب زیر بیان می‌شود:

ابتدا ماتریس شباهت $SM^{hl} = [sm_{ik}^{hl}], i, k = 1, \dots . n$ برای دو کارشناس p_{ik}^h , p_{ik}^l به شکل زیر به دست می‌آید:

$$sm_{ik}^{hl} = s(p_{ik}^h \ , \ p_{ik}^l) \quad (۱۲)$$

که $s(p_{ik}^h \ , \ p_{ik}^l)$ معادله شباهت می‌باشد و انطباق بین عقاید کارشناسان p_{ik}^h , p_{ik}^l را بیان می‌کند. برای محاسبه ماتریس شباهت از معادله شباهت زیر استفاده می‌شود:

$$S(s_i, s_j) = 1 - \frac{|i-j|}{g} \quad (۱۳)$$

که g تعداد کمیت بیانی می‌باشد i و j مقادیر کمیت سنج بیانی می‌باشد. سپس ماتریس تجمعی sm همه کارشناسان برای معیارها از روی ماتریس شباهت فوق با استفاده از میانگین حسابی φ به عنوان معادله تجمیع به دست می‌آید.

(۱۴)

$$sm_{ik} = \varphi(sm_{ik}^{hl}, h = 1, \dots, m-1, l = h+1, \dots, m)$$

در آخر درجه اجماع در سطوح زیر محاسبه می‌گردد:

سطح اول: درجه اجماع روی جفت معیارها (cop_{ik}): نشان دهنده‌ی درجه اجماع تمامی‌کارشناسان روی دو معیار می‌باشد. که در این مورد با ماتریس تجمعی شباهت برابر در نظر گرفته می‌شود.

$$cop_{ik} = sm_{ik} \qquad (۱۵)$$

هر چه مقادیر نزدیک به ۱ باشد نشان دهنده‌ی توافق بالا بین کارشناسان روی جفت معیارهای مورد بررسی می‌باشد.

سطح دوم: درجه اجماع روی معیارها: درجه اجماع روی معیار x_i که ca_i نامیده می‌شود نشان دهنده اجماع کل کارشناسان بر روی معیار x_i می‌باشد. برای محاسبه ابتدا درایه‌های متناظر با هر معیار با هم جمع شده و از رابطه ۱۷ مقدار اجماع به دست می‌آید.

$$ca_i = \frac{\sum_{k=1,k\neq i}^{n}(cop_{ik}+cop_{ki})}{2n-2} \qquad (۱۶)$$

سطح سوم: درجه اجماع روی روابط: درجه اجماع روی روابط که CR نامیده می‌شود نشان دهنده‌ی درجه اجماع روی نظرات کل کارشناسان می‌باشد. که از تقسیم مجموع مقادیر اجماع بر روی معیارها بر تعداد معیارها به دست می‌آید.

$$\mathrm{CR} = \frac{\sum_{i=1}^{n} ca_i}{n} \qquad (۱۷)$$

پس از آن معیارها امتیازدهی شده و ماتریس تصمیم‌گیری در درجه اجماع نرم تشکیل گردیده است.

۲-۵- رتبه بندی گزینه‌ها با استفاده از روش TOPSIS

پس از تشکیل ماتریس تصمیم برای انتخاب گزینه نهایی از روش TOPSIS استفاده شده است. این مدل توسط Hwang and Yoon (1981) ارائه شده است. این روش یکی از روش‌های فاصله محور می‌باشد. در این روش گزینه‌ی انتخابی باید کوتاه‌ترین فاصله از جواب ایده‌آل و دورترین فاصله از جواب غیر ایده‌آل را داشته باشد.

۳- محاسبات

در شبـــکه‌های توزیع و انتقال آب، لوله‌کشی انجام گرفته یکـــی از اصلی‌ترین و پرهزینه‌ترین قسمت‌ها می‌باشد. بطوریکه قسمت عمده هزینه‌های پروژه‌های تامین آب مربوط به خرید لوله و اجرای شبکه می‌باشد. از اینرو با توجه به وجود محصولات متنوع در بازار با کیفیت متفاوت و قیمت تمام شده مختلف و نیز خصوصیات مختلف فنی، اقتصادی و بهداشتی هر یک از انواع لوله‌ها، انتخاب لوله مناسب با توجه به معیارهای مد نظر و شرایط منطقه ای مسأله مهمی می‌باشد. ابتدا انواع لوله‌های قابل استفاده در پروژه‌های انتقال و توزیع آب نام برده می‌شوند: لوله‌های پلی اتیلن، لوله‌های داکتیل چدنی، لوله‌های پی وی سی، لوله‌های بتنی، لوله‌های فلزی، لوله‌های جی-آر-پی. قابل ذکر است که لوله‌های بتنی و جی آر پی به دلیل کاربرد در فشار کاری بالا و پروژه‌های بزرگ و لوله‌های آزبست سیمانی به دلیل انتشار مواد سرطان زا در آب عبوری از بین گزینه‌ها حذف می‌گردند. بر طبق مصوبه شورای عالی حفاظت محیط زیست در دوم مرداد ۱۳۷۹، مصرف آزبست در ایران از اول مرداد ۱۳۸۶ ممنوع شده‌است. در تبصره این مصوبه آمده است که در صورتی که پس از ۴۴ سال محرز شود که برای تولید لوله‌های آزبست سیمانی از نظر فنی، اقتصادی و زیست محیطی جایگزین مناسبی برای آزبست یافت نشده‌است، این تصمیم در مورد لوله‌های آزبست سیمانی قابل تجدید نظر خواهد بود (وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی ۱۳۹۱).

برای تعیین معیارهای موثر در انتخاب نوع لوله مطالعات فنی پیشین و خصوصیات انواع لوله‌ها بررسی شده و معیارهای فنی، اقتصادی و بهداشتی تعیین شده است. معیارهای فنی شامل: مقاومت در برابر ضربه و فشار، مقاومت در برابر یخبندان، مقاومت در مقابل خوردگی، مقاومت در برابر سایش، خزیدگی لوله، مقاومت در برابرتغییرات درجه حرارت، آب بند بودن، محدودیت تأمین قطعات، تنوع اندازه، انعطاف-پذیری و معیارهای اقتصادی شامل: هزینه خرید هر متر طول، هزینه نصب و بسترسازی، هزینه انبارداری، هزینه حمل و معیارهای بهداشتی شامل: اثرات زیست محیطی ساخت لوله، بازیافت لوله‌ها، انتشار مواد مضر در آب. پس از تعیین معیارها و ارزش معیارها از طریق پرسش از افراد آگاه به دست آمده، سپس وزن نهایی و امتیاز معیارها محاسبه گردیده است.

۳-۱- انتخاب گزینه نهایی با بررسی اجماع سخت بر روی معیارها

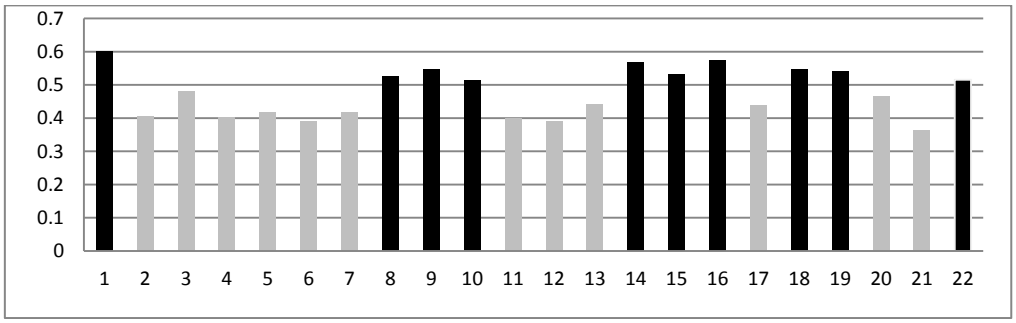
درجه اجماع سخت با استفاده از روش انحراف معیار طبق رابطـــه ۵

جدول ۲- درجه اجماع محاسبه شده روی معیارها از دید ۱۹ تصمیم‌گیر و وزن معیارها

شماره معیار	نام معیار	F = ΣWjbj وزن معیارها	درجه اجماع سخت
۱	مقاومت در برابرضربه وفشار	0.4738	0.892
۲	مقاومت در برابر یخبندان	0.3006	0.653
۳	مقاومت در برابر خوردگی	0.3802	0.711
۴	مقاومت در برابرسایش	0.3039	0.632
۵	خزیدگی لوله	0.2883	0.721
۶	مقاومت در برابرتغییرات درجه	0.3034	0.596
۷	مقاومت کششی	0.3196	0.640
۸	هزینه خرید(هر مترطول)	0.4157	0.780
۹	طول عمر	0.4246	0.835
۱۰	هزینه نصب و بسترسازی	0.4034	0.773
۱۱	هزینه انبارداری	0.2920	0.646
۱۲	هزینه حمل	0.2787	0.647
۱۳	ضریب زبری	0.3219	0.720
۱۴	آب بند بودن	0.4591	0.817
۱۵	آسانی نصب و لوله گذاری	0.4056	0.822
۱۶	سهولت در تامین قطعات	0.4514	0.860
۱۷	مشکلات حمل	0.3463	0.655
۱۸	تنوع اندازه	0.4422	0.789
۱۹	قابلیت انعطاف	0.4017	0.864
۲۰	اثرات زیست محیطی ساخت لوله	0.3741	0.676
۲۱	بازیافت لوله‌ها	0.2690	0.577
۲۲	انتشار مواد مضر در آب	0.4225	0.733

محاسبه شده و در جدول ۲ درجه اجماع حاصل و وزن معیاره آورده شده است. در انتخاب لوله افراد مختلفی با زمینه‌های کاری مختلفی دخیل می‌باشند این افراد با توجه به تجربه خود برای معیارها امتیاز متفاوتی قائل می‌باشند. برای موفقیت مسئله تصمیم‌گیری گروهی باید گزینه انتخابی نظر تمام و یا اکثر افراد را جلب کند. برای انتخاب گزینه مناسب باید معیارهایی اعمال گردند که امتیاز زیادی داشته و افراد تصمیم‌گیر روی اهمیت آن اجماع داشته باشند. بنابراین هر معیار دو ویژگی دارد: ۱-اهمیت و امتیاز معیار، ۲- اجماع افراد بر روی مهم بودن معیار. که برای اعمال دو مورد فوق در انتخاب گزینه نهایی از شاخص تلفیقی استفاده شده است. ملاک حذف معیارها مقادیر حاصل از شاخص تلفیقی، وزن معیار و درجه اجماع روی معیار می‌باشد. در این تحقیق برای اجتناب از طولانی شدن مطلب تحلیل حساسیت بر روی شاخص تلفیقی *CS* با ۳ مقدار اثر امتیاز ۷۰ درصد و اثر درجه اجماع ۳۰ درصد، اثر امتیاز ۵۰ درصد و اثر درجه اجماع ۵۰ درصد، اثر امتیاز ۳۰ درصد و اثر درجه اجماع ۷۰ درصد انجام گرفت و مشاهده شد تغییر مقادیر فوق در نتیجه نهایی تغییری ایجاد نکرد. برای تعیین مهمترین معیارها از شاخص تلفیقی *CS* ارایه شده در رابطه ۶ استفاده می‌شود که در این تحقیق اثر امتیاز ۷۰ درصد و اثر درجه اجماع ۳۰ درصد در نظر گرفته شد. برای میزان درجه اجماع از روش انحراف معیار استفاده شد. به عنوان یک حد آستانه عدد ۰/۵ برای مقدار تلفیقی انتخاب گردید. یعنی حد نصاب حداقل ۵۰ درصد امتیاز باید کسب شود تا یک معیار در لیست نهایی باقی بماند. لذا مطابق با نمودار شماره ۲ معیارهای ۲، ۴،۳، ۵، ۶، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۷، ۲۰، ۲۱ و ۲۲ از لیست حذف گردیدند. با توجه به اینکه در هزینه اجرایی لوله‌ها دو معیار هزینه خرید، نصب و بسترسازی با هم در نظر گرفته شده است (شرح فهرست بهای شبکه توزیع آب روستایی سال ۹۲) لذا این دو معیار به صورت یک معیار واحد به شرح هزینه خرید و جاگذاری لوله تجمیع گردیدند و معیار آسانی نصب و لوله گذاری نیز به دلیل هم‌پوشانی با معیار هزینه خرید و جاگذاری لوله از بین گزینه‌ها حذف گردید. برای انتخاب لوله‌ی مناسب، انواع لوله‌ی مطرح شده در بخش قبل براساس معیارهای باقیمانده امتیازدهی گردیده و ماتریس تصمیم تشکیل شده است.

با توجه به اینکه امتیاز لوله‌ها برای برخی معیارها به صورت کمی و برای بعضی از معیارها کیفی بوده است، نحوه‌ی امتیازدهی به این ترتیب می‌باشد: ۱- بررسی منابع و استانداردها (نشریه ۳۰۳) و مشخصات ارائه شده توسط کارخانه‌های تولید کننده لوله‌ها (برای معیارهای مقاومت در برابر ضربه و فشار و هزینه خرید و نصب) و ۲- پرسش از افراد خبره و با تجربه برای بقیه معیارها. (مثلا برای معیار



نمودار ۲- نمایش شاخص تلفیقی معیارها و معیارهای باقیمانده (با رنگ مشکی)

انتشار مواد مضر در آب از اساتید رشته مواد خواسته شده تا با در توجه به جنس لوله‌ها به آنها امتیاز بدهند.) برای این معیارها از افراد خواسته شده امتیازی بین ۱۰-۰ به هر لوله از نظر معیارها داده و سپس میانگین امتیازهای فوق به عنوان امتیاز لوله مورد نظر از نظر معیار مربوطه اعمال گردیده است. پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری برای انجام محاسبات روش TOPSIS، ماتریس از رابطه ۱۹ نرمال شده که نتایج به صورت جدول شماره ۳ می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه هر معیار دو امتیاز دارد: ۱-وزن معیار ۲- درجه اجماع روی معیار، برای انتخاب گزینه نهایی باید تلفیقی از هر دو امتیاز اعمال گردد. به همین دلیل در محاسبات وزن معیارها، وزن تلفیقی حاصل از شاخص CS ارائه شده در رابطه ۶ می‌باشد.

جواب‌های ایده‌آل A^* و غیر ایده‌آل A^- به دست آمد.

$A^* = \{۰/۵۲۵,۰/۲۰۳,۰/۵۱۳,۰/۵۹۲,۰/۴۸۳,۰/۴۹۶,۰/۵۷۸,۰/۲۵۴\}$

جواب‌های ایده‌ال

$A^- = \{۰/۳۷۲,۰/۶۴۶,۰/۳۴۲,۰/۳۲۹,۰/۳۷۶,۰/۲۵۷,۰/۰۵۸,۰/۵۰۹\}$

جواب‌های غیر ایده‌ال

گام پنجم: رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از محاسبه‌ی نزدیکی نسبی C_i^* هر گزینه به جواب ایده‌آل که در جدول شماره ۴ نتایج آن آمده است. بر اساس نتایج تفاوت زیادی بین لوله پلی اتیلن و یوپی وی سی دیده نمی‌شود ولی هر دو برتری فاحشی بر گزینه‌های فلزی (چدنی و فولادی) دارند. یعنی در کل براساس بررسی درجه اجماع سخت انجام شده بر روی معیارها لوله‌های پلیمری بهتر می‌باشند.

۳-۲- انتخاب گزینه نهایی با بررسی اجماع نرم بر روی معیارها

در محاسبات مربوط به درجه اجماع نرم تصمیم‌گیر باید معیارها را دو به دو با هم مقایسه نموده و امتیاز دهی نماید؛ که با توجه به وجود ۲۲ معیار برای مقایسات زوجی هر فرد باید ماتریسی ۲۲در ۲۲ را تکمیل نماید که بزرگ بودن ابعاد ماتریس سبب کاهش دقت و حوصله افراد شده و باعث کاهش دقت در انتخاب گزینه نهایی می‌گردد. از طرفی با تعداد ۲۲ معیار و ۱۹ برای انجام مقایسه‌های زوجی ۱۷۱ ماتریس تشکیل می‌گردد که این تعداد زیاد بوده و با توجه به همپوشانی برخی معیارها باعث پیچیدگی بیشتر مسئله تصمیم‌گیری می‌گردد. برای کم کردن محاسبات و بررسی درجه اجماع روی معیارهای مهم از نتایج به دست آمده از شاخص تلفیقی CS ارائه شده در رابطه ۶ استفاده شده است.

۳-۲-۱- مدل اجماع نرم براساس انطباق صلب در میان اولویت‌ها

با مقایسه نظرات ۷ کارشناس ۲۱ ماتریس تشابه به دست می‌آید. با استفاده از رابطه ۸ ماتریس تجمعی sm و درجه اجماع روی جفت معیارها (cop_{ik}) همه کارشناسان برای معیارها آمده که نتایج در

جدول ۳- ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده

معیار	نوع معیار	وزن معیارها	لوله پلی اتیلن	لوله فولادی	لوله داکتیل چدنی	لوله پی وی سی
مقاومت در برابرضربه وفشار	مثبت	۰/۹۱۵	۰/۴۱۹	۰/۴۰۷	۰/۵۷۴	۰/۵۷۴
هزینه خرید و نصب (ریال/مترطول)	منفی	۰/۸۲۹	۰/۲۴۵	۰/۵۰۲	۰/۷۷۹	۰/۲۸۵
طول عمر	مثبت	۰/۸۶۶	۰/۵۹۲	۰/۴۳۴	۰/۵۵۳	۰/۳۹۵
آب بند بودن	مثبت	۰/۸۸۲	۰/۳۷۳	۰/۵۲۲	۰/۶۷۱	۰/۳۷۳
سهولت در تامین قطعات	مثبت	۰/۸۹۰	۰/۵۴۳	۰/۴۸۲	۰/۵۴۳	۰/۴۲۲
تنوع اندازه	مثبت	۰/۸۴۷	۰/۵۸۶	۰/۳۲۵	۰/۴۵۶	۰/۵۸۶
قابلیت انعطاف	مثبت	۰/۸۳۸	۰/۶۹۰	۰/۲۰۷	۰/۰۶۹	۰/۶۹۰
انتشار مواد مضر در آب	منفی	۰/۸۰۵	۰/۳۱۶	۰/۶۳۲	۰/۶۳۲	۰/۳۱۶

جدول۴- فاصله از جواب ایده‌ال و جواب‌های غیر ایده‌ال

	S_i^*	S_j^-
پلی‌اتیلن	۰/۲۹۹	۰/۷۸۸
فولادی	۰/۶۲۱	۱/۳۴۵
داکتیل چدنی	۰/۷۳۸	۱/۳۴۴
پی وی سی	۰/۳۳۳	۰/۸۴۵

جدول ۵- رتبه بندی گزینه‌ها

لوله‌ها	امتیاز
لوله پلی‌اتیلن	۰/۷۲۵
لوله پی وی سی	۰/۷۱۷
لوله فولادی	۰/۶۸۴
لوله داکتیل چدنی	۰/۶۴۶

جدول ۶- ماتریس تجمعی جفت معیارها

	مقاومت در برابر ضربه وفشار	سهولت در تامین قطعات	آب بند بودن	طول عمر	تنوع اندازه	قابلیت انعطاف	هزینه خرید و جاگذاری لوله	انتشار مواد مضر در آب
مقاومت در برابرضربه وفشار	_	۰/۱۴	۰/۴۸	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۳۸
سهولت در تامین قطعات	۰/۱۴	_	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۹
آب بند بودن	۰/۴۸	۰/۱۰	_	۰/۴۸	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۱۴
طول عمر	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۴۸	_	۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۱۴
تنوع اندازه	۰/۲۴	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۰۵	_	۰/۴۸	۰/۳۳	۰/۱۰
قابلیت انعطاف	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۳۳	۰/۴۸	_	۰/۲۴	۰/۳۳
هزینه خرید و جاگذاری لوله	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۲۴	_	۰/۱۴
انتشار مواد مضر در آب	۰/۳۳	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۱۴	_

جدول ۷- درجه اجماع نرم براساس انطباق صلب بر روی معیارها

معیارها	درجه اجماع
مقاومت در برابرضربه وفشار	۰/۲۴۸
سهولت در تامین قطعات	۰/۱۴۳
آب بند بودن	۰/۲۴۱
طول عمر	۰/۲۴۵
تنوع اندازه	۰/۲۰۷
قابلیت انعطاف	۰/۲۶۵
هزینه خرید و جاگذاری لوله	۰/۲۱۱
انتشار مواد مضر در آب (اثرات سوء بهداشتی)	۰/۱۸۷

جدول ۶ نشان داده شده است. درجه اجماع روی معیار ca_i با استفاده از رابطه ۱۰ مطابق جدول ۷ به دست آمده است. درجه اجماع روی روابط CR = ۰/۲۱۹ از رابطه شماره ۱۱ به دست آمده است.

۳-۲-۲- مدل اجماع نرم براساس انطباق نرم در میان گزینه‌ها

در این روش ابتدا ماتریس شباهت برای دو کارشناس مطابق رابطه ۱۲ به دست می‌آید سپس معادله شباهت می‌باشد از رابطه ۱۳ با در نظر گرفتن
g تعدادکمیت بیانی یعنی ۷ می‌باشد ۲۱ ماتریس تشابه دیگر محاسبه گردیده است.

سپس ماتریس تجمعی sm از رابطه ۱۴ و درجه اجماع روی جفت معیارها (cop_{ik}) مطابق جدول شماره ۸ به دست می‌آید. درجه اجماع روی معیار ca_i از رابطه ۱۶ مطابق جدول شماره ۹ به دست می‌آید. درجه اجماع روی روابط که CR =۰/ ۷۳۵ از رابطه ۱۷ به دست می‌آید. برای رتبه بندی گزینه‌ها استفاده از روش TOPSIS استفاده شده است. پس از تشکیل ماتریس تصمیم برای انجام محاسبات روش TOPSIS در گام اول باید مقادیر ماتریس فوق نرمال گردد، که نتایج آن در جدول شماره ۱۰ آورده شده است.

جدول ۸- ماتریس تجمعی شباهت نرم

	مقاومت در برابرضربه وفشار	سهولت در تامین قطعات	آب بند بودن	طول عمر	تنوع اندازه	قابلیت انعطاف	هزینه خرید و جاگذاری لوله	انتشار مواد مضر در آب
مقاومت در برابرضربه وفشار	_	۰/۶۳	۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۶۵	۰/۸۰	۰/۷۴
سهولت در تامین قطعات	۰/۶۳	_	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۶۱	۰/۸۲	۰/۶۱
آب بند بودن	۰/۸۶	۰/۶۸	_	۰/۷۹	۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۸۴	۰/۵۹
طول عمر	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۷۹	_	۰/۶۱	۰/۸۱	۰/۷۵	۰/۶۹
تنوع اندازه	۰/۷۹	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۱۰	_	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۶۳
قابلیت انعطاف	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۷۱	۰/۸۱	۰/۸۴	_	۰/۸۷	۰/۸۵
هزینه خرید و جاگذاری لوله	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۷۵	۰/۸۸	۰/۸۷	_	۰/۶۵
انتشار مواد مضر در آب	۰/۷۴	۰/۵۷	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۸۵	۰/۶۵	_

جدول ۹- درجه اجماع نرم براساس انطباق نرم بر روی معیارها

معیارها	درجه اجماع
مقاومت در برابرضربه وفشار	۰/۷۵۰
سهولت در تامین قطعات	۰/۶۷۷
آب بند بودن	۰/۷۴۱
طول عمر	۰/۷۳۵
تنوع اندازه	۰/۷۳۰
قابلیت انعطاف	۰/۷۶۳
هزینه خرید و جاگذاری لوله	۰/۸۰۴
انتشار مواد مضر در آب (اثرات سوء	۰/۶۸۳

لازم به ذکر است که وزن معیارها، وزن تلفیقی حاصل از شاخص CS ارائه شده در رابطه ۶ می‌باشد. سپس جواب‌های ایده‌آل A^* و غیر ایده‌آل A^- برای هر معیار تعیین مطابق زیر تعیین گردیده است.

$A^* = \{۰/۲۷۲,۰/۱۰۲,۰/۲۵۲,۰/۳۰۸,۰/۲۴۵,۰/۲۴۷,۰/۳۰۵,۰/۱۳۳\}$

جواب‌های ایده‌ال

$A^- = \{۰/۱۹۳,۰/۳۲۴,۰/۱۶۸,۰/۱۷۱,۰/۱۹۰,۰/۱۳۷,۰/۰۳۰,۰/۲۶۷\}$

جواب‌های غیر ایده‌ال

پس از آن مقدار فاصله هر گزینه تا جواب‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل که به ترتیب با S_i^* و S_i^- نشان داده می شوند، مطابق جدول ۱۱ بدست آمده است. آخرین مرحله در روش TOPSIS رتبه بندی گزینه‌ها می‌باشد که در جدول ۱۲ آورده شده است.

جدول ۱۰- ماتریس نرمال شده

	معیارها و شماره آنها	وزن معیارها	لوله پلی‌اتیلن	لوله فولادی	لوله داکتیل چدنی	لوله پی-وی-سی
۱	مقاومت در برابرضربه وفشار	۰/۵۵۷	۰/۴۱۹	۰/۴۰۷	۰/۵۷۴	۰/۵۷۴
۲	هزینه خرید و نصب	۰/۴۹۴	۰/۲۴۵	۰/۵۰۲	۰/۷۷۹	۰/۲۸۵
۳	طول عمر	۰/۵۲۰	۰/۵۹۲	۰/۴۳۴	۰/۵۵۳	۰/۳۹۵
۴	آب بند بودن	۰/۵۴۲	۰/۳۷۳	۰/۵۲۲	۰/۶۷۱	۰/۳۷۳
۵	سهولت در تامین قطعات	۰/۵۳۵	۰/۵۴۳	۰/۴۸۲	۰/۵۴۳	۰/۴۲۲
۶	تنوع اندازه	۰/۵۳۸	۰/۵۸۶	۰/۳۲۵	۰/۴۵۶	۰/۵۸۶
۷	قابلیت انعطاف	۰/۵۵۱	۰/۶۹۰	۰/۲۰۷	۰/۰۶۹	۰/۶۹۰
۸	انتشار مواد مضر در آب	۰/۵۰۰	۰/۳۱۶	۰/۶۳۲	۰/۶۳۲	۰/۳۱۶

جدول ۱۱- فاصله از جواب ایده‌ال و جواب‌های غیر ایده‌ال

	S_i^*	S_j^-
پلی‌اتیلن	۰/۱۸۴	۰/۴۹۶
فولادی	۰/۳۹۳	۰/۸۳۵
داکتیل چدنی	۰/۴۶۶	۰/۸۳۵
پی وی سی	۰/۲۰۳	۰/۵۲۹

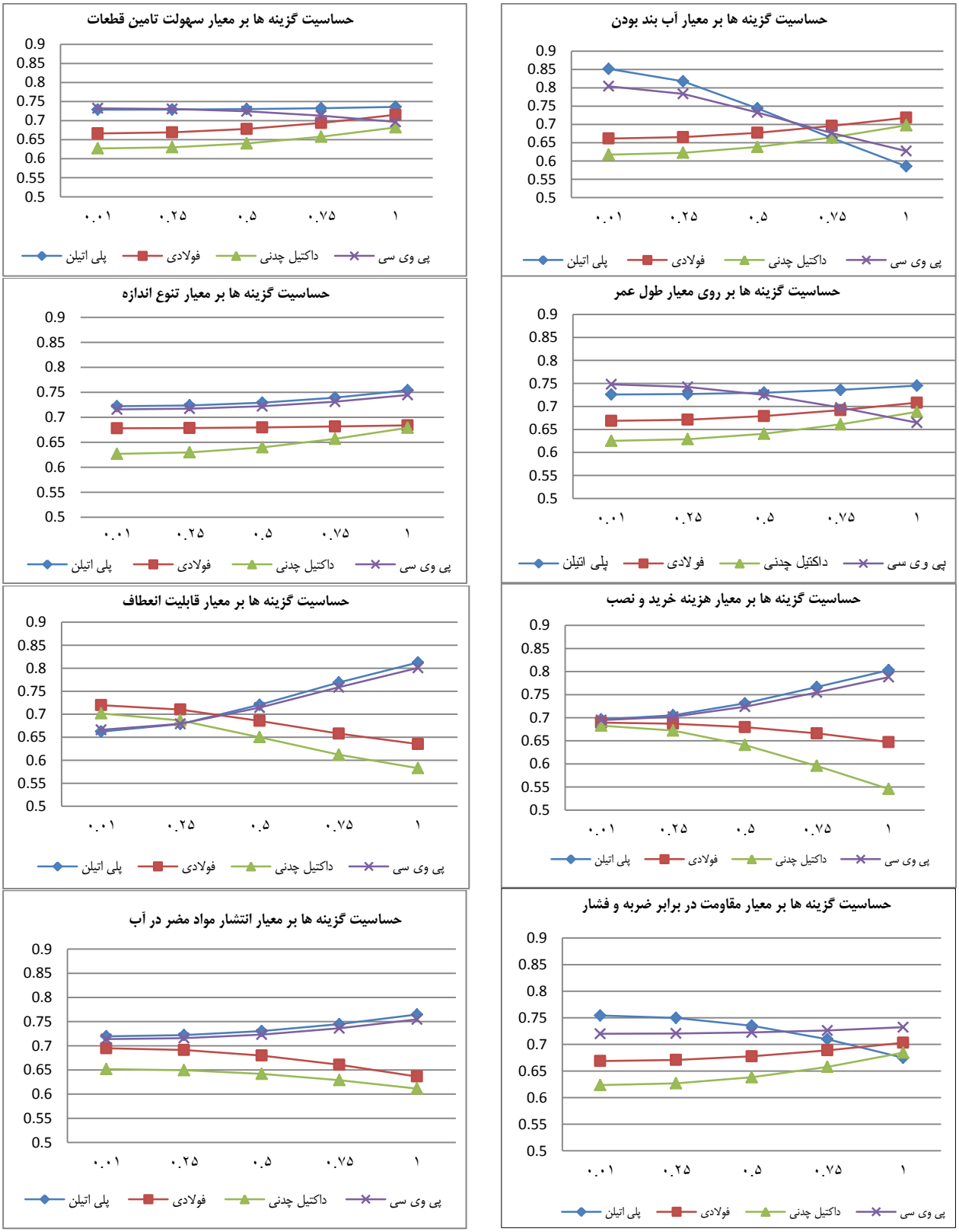
جدول ۱۲- رتبه بندی گزینه‌ها

لوله‌ها	امتیاز
لوله پلی‌اتیلن	۰/۷۳۰
لوله پی وی سی	۰/۷۲۲
لوله فولادی	۰/۶۸۰
لوله داکتیل چدنی	۰/۶۴۲

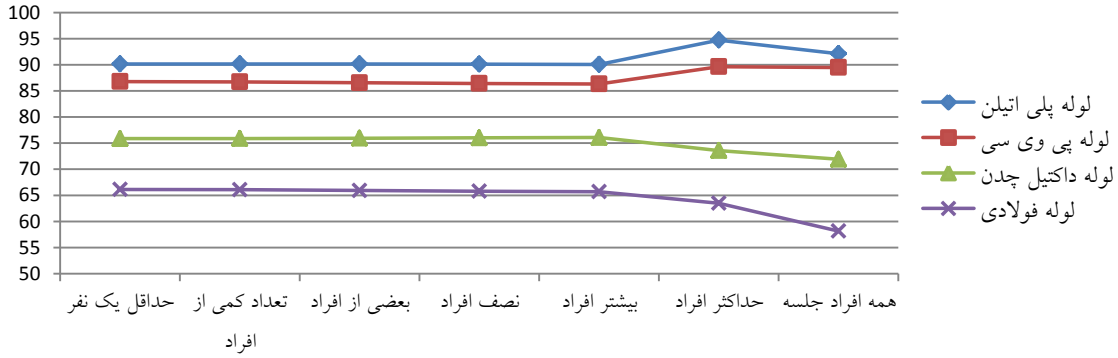
مشاهده می‌شود که لوله‌های پلی اتیلن بیشترین امتیاز را داشته و لوله‌های پی وی سی با فاصله اندکی از لوله‌های پلی اتیلن دوم بوده و لوله‌های فولادی و داکتیل چدنی به ترتیب سوم و چهارم می‌باشند. در کل می‌توان نتیجه گرفت لوله‌های پلیمری اولویت بیشتری نسبت به سایر لوله‌ها دارند.

۳-۳- آنالیز حساسیت

با استفاده از آنالیز حساسیت می‌توان تغییرات پارامترهای موجود در تصمیم گیری را بر روی گزینه‌ها بررسی نمود. آنالیز حساسیت بر روی وزن معیارها، بصورت تدریجی با اعمال ۵ مقدار ۱، ۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۰۱ برای هر معیار (بدون اعمال تغییرات در اوزان سایر معیارها) بررسی گردیده در نتیجه ۴۰ دسته وزن برای تحلیل حاصل گردید (Afreen Siddiqi et al., 2014). برای آنالیز حساسیت بـر



شکل ۱- نتایج آنالیز حساسیت بر روی وزن معیارها



نمودار ۲ - نتیجه آنالیز حساسیت بر درجه خوش بینی

روی میزان خوشبینی افراد از نرم‌افزار GFDM استفاده شده است. این نرم‌افزار برای محاسبه وزن گروهی معیارها و درجه اجماع آنها از روش عملگر میانگین وزنی مرتب OWA استفاده می‌کند و به کمک روش TOPSIS و جمع وزنی ساده گزینه‌ها را اولویت‌بندی می‌کند.

۳-۳-۱- تاثیر تغییر در وزن معیارها

نتایج حاصل از آنالیز حساسیت بر روی وزن معیارها در نمودارهای شکل ۱ آورده شده است.

از بررسی تغییر وزن معیارها بر رفتار گزینه‌ها می‌توان نتیجـــه گرفت که در کل لوله‌های پلی اتیلنی و پی وی سی گزینه بهتری نسبت به لوله‌های فولادی و داکتیل چدنی می‌باشند.

۳-۳-۲- آنالیز حساسیت روی درجه خوشبینی

با کم کردن میزان درجه اجماع از حالت متوسط و پردازش اطلاعات نتایج نمودار شماره ۲ حاصل گردیده است. مشاهده می‌گردد که اولویت اول با لوله پلی اتیلنی بوده و لوله پی وی سی با تفاوت کمی‌در اولویت دوم می‌باشد. لوله‌های داکتیل چدنی و لوله فولادی به ترتیب در اولویت سوم و چهارم قرار دارند.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق انتخاب نوع نوع لوله‌های آبرسانی با کمک بررسی درجه اجماع بر روی معیارها تعیین گردید. همچنین وزن معیارها از روش OWA محاسبه شده و از روش TOPSIS برای انتخاب گزینه‌ی نهایی استفاده شد. با مقایسه نتاج حاصل از اجماع سخت و نرم می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های اجماع نرم به دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر و محاسبه درجه اجماع در سطوح مختلف مناسبتر می‌باشند. از میان روش‌های محاسبه اجماع نرم بررسی شده، مدل اجماع نرم براساس انطباق نرم محاسبات پیچیده‌تر دارد. ولی به دلیل انعطاف بیشتر اجماع حاصله از این روش به مقدار واقعی نزدیکتر است. نتایج حاصل از اعمال دو روش اجماع سخت و نرم گزینه‌ی یکسانی را نشان داد در نتیجه لوله پلی‌اتیلن به عنوان بهترین و مناسبترین جنس لوله از بین چهار گزینه مطرح جهت کاربرد در شبکه‌های توزیع و انتقال آب برای مناطق کم جمعیت از جمله مناطق روستایی انتخاب شد. همچنین با توجه به آنالیز حساسیت انجام گرفته بر روی وزن معیارها و در بحث آنالیز حساسیت روی درجه خوش بینی مدیر تصمیم‌گیر توسط نرم‌افزار GFDM ، لوله پلی‌اتیلن بهترین جنس تعیین شد. در مجموع لوله پلی اتیلن به عنوان گزینه مناسب می‌باشد. با توسعه روش شناسی این تحقیق می‌توان برای خطوط انتقال با احجام گوناگون و مناطق مختلف کشور یک راهنما تهیه نمود. این تحقیق در راستای نیاز و درخواست صنعت انجام شده که برای تصمیم گیری نوع لوله برای گسترش شبکه در مناطق روستایی بوده است. هر چند نتایج قابل تعمیم به هر نوع شبکه ای می‌تواند باشد در عین حال هنگام سوال برای انتخاب معیارها و وزن آنها از کارشناسان هدف توسعه شبکه در مناطق روستایی برای انها تشریح شده است که مشخصا در میزان وزن معیارها و نوع انتخاب آنها با توجه به شرایط متقاوت اجتماعی، اقتصادی و فنی بین روستا و شهر موثر بوده است.

تقدیر و تشکر

از شرکت آب و فاضلاب روستایی استان آذربایجان شرقی بخاطر حمایت به این مقاله تشکر بعمل می‌آید و همچنین نویسندگان بخاطر نظرات ارزشمند آقایان دکتر حسین آقاجانی، دکتر حسن

تقی‌پور، دکتر پرویز محمدزاده، مهندس سیامک برادران باقری، مهندس محمود ناعم وند، مهندس عباد راستکردار، امین اسماعیلی، هومن باغبان و کارشناسان محترم دیگری که در تکمیل پرسشنامه‌ها همکاری داشتند کمال تقدیر را دارند.

۵- مراجع

پورزنگی آبادی م، بارانی غ ع (۱۳۸۹) اهمیت انتخاب نوع لوله در شبکه توزیع آب. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، کرمان، ایران.

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله (۱۳۸۴) مشخصات فنی عمومی کارهای خطوط لوله آب و فاضلاب شهری نشریه شماره ۳۰۳.

کلهری ا، عمارلوئی ع (۱۳۸۳) بررسی آلودگی آب ناشی از پوششهای داخلی لوله‌های آب آشامیدنی و جوانب بهداشتی آنها. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی، ایلام، ایران، بهار و تابستان.

فهرست بهای شبکه توزیع آب روستایی سال ۱۳۹۲.

میان آبادی ح، افشار ع (۱۳۸۶) تصمیم گیری چندشاخصه در رتبه بندی طرحهای تأمین آب شهری. مجله آب و فاضلاب شماره ۶۶: ۳۴-۴۵.

وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، مرکز سلامت محیط و کار (۱۳۹۱) آزبست و جایگزین‌های آن در صنایع مختلف.

Cabrerizo F J, Moreno J M, Pe´rez I J, Herrera-Viedma E (2010) Analyzing consensus approaches in fuzzy group decision making: advantages and drawbacks. Springer-Verlag, Soft Computing 14: 451–463.

Herrera-Veidma E, Cabrerizo F J, Kacprzyk J, Pedrycz W (2014) A review of soft consensus models in a fuzzy environment. Elsevier, Information Fusion 17: 4-13.

Hwang CL, Yoon K (1981) Multiple attributes decision making methods and application. Springer Berlin Heidelberg.

Kuncheva LI, Raghu Krishnapuram (1996) A fuzzy consensus aggregation operator. Fuzzy Sets And Systems 79:347-356.

Mortezania Sh, Othman F (2012) Cost analysis of pipes for application in sewage system. Journal of Materials and Design, 33: 356-361.

Pe´rez IJ, Wikstrom R, Mezei J, Carlsson C, Herrera-Viedma E (2013) A new consensus model for group decision making using fuzzy ontology. Soft Computing, 17:1617–1627.

Shafiqul Islam M, Sadiq R, Rodriguez M.J, Najjaran H, Francisque A, Hoorfar M (2013) Evaluating Water Quality Failure Potential in Water Distribution Systems: A Fuzzy-TOPSIS-OWA-based Methodology. Water Resources Management, 27: 2195–2216.

Siddiqi A, Ereiqat F, Diaz Anadon L (2014) Assessing future water availability in arid regions using composition and salience of decision criteria. Working Paper Massachusetts Institute of Technology, Engineering Systems Division .Van Vuuren SJ, van Dijk M (2006) Life cycle costing analyses for pipeline design and supporting software. Water Research Commission Report no: TT 278/06.

Xu Z.S, Chen J (2007) An interactive method for fuzzy multiple attributes group decision making. Information Sciences, 177:248-263.

Yager R.R (1988) On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. IEEE, Trans Systems, Man Cybernet, 18:183-190.

Zarghami M, Ardakanian R, Memariani A, Szidarovszky F (2008) Extended OWA operator for group decision making on water resources projects. Water Resources Planning and Management, ASCE, 134(3):266-275.