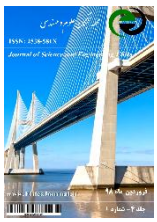
مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۴- شماره ۱- سال ۱۳۹۸
www.ElitesJournal.ir



اولویت بندی معیارهای انتخاب جنس لوله در شبکه آب و فاضلاب شهری

قاسم عبادی[1*] ، صادق اورعی زارع[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه
۲. دکترای عمران-آب، استادیار و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

*Omid.ebadi.bimehsina@gmail.com

ارسال: بهمن ماه ۹۷ پذیرش: فروردین ماه ۹۸

چکیده

با توجه به اینکه یکی از اجزای اصلی شبکه‌های آب و فاضلاب، لوله‌ها می‌باشند و وظیفه اصلی انتقال آب و فاضلاب را بر عهده دارند، بنابراین انتخاب جنس لوله از لحاظ فنی، اقتصادی، مدیریتی، بهداشتی و زیست محیطی تأثیر به سزایی در هزینه اجرایی، طول عمر شبکه و نیز عملکرد شبکه خواهد داشت. انتخاب دقیق معیارهای قبل از انجام هر گونه تحلیلی اساسی‌ترین بخش تصمیم گیری است. در این تحقیق با بررسی جامع معیارهای تعیین کننده جنس لوله در طرحهای آب و فاضلاب در قالب معیارهای کلی ذکر شده، اولویت بندی معیارهای مهم در انتخاب جنس لوله در شبکه‌های آب و فاضلاب شهری با نظر سنجی از کارشناسان صنعت آب و فاضلاب به روش دلفی انجام و از بین ۳۰ معیار منتخب، ۱۹ معیار برای انتخاب جنس لوله در شبکه آب و ۱۸ معیار برای انتخاب جنس لوله در شبکه فاضلاب برگزیده شد.

کلمات کلیدی: لوله، آب، فاضلاب، اولویت‌بندی، معیار، دلفی.

۱- مقدمه

عوامل متعددی در انتخاب و تعیین مشخصات لوله‌ها و جنس آنها باید در نظر گرفته شود. هدف از طراحی سازه‌های خط لوله، ایجاد یک کنش و واکنش پایا بین لوله و خاک پیرامون آن می‌باشد، طوری که در آن شکل لوله تقریباً حلقوی باقی بماند. یک لوله سخت برای تحمل بار وارده فقط متکی به استحکام و سفتی خود می‌باشد. از سوی دیگر یک لوله انعطاف پذیر معمولاً قادر نیست بیشتر از قسمت کوچکی از بار وارده را با استفاده از استحکام خودش تحمل کند. یک لولهٔ انعطاف پذیر برای ایجاد استحکامی که بتواند بار وارده را تحمل کند، به فشار واکنش زمین نیاز دارد. در واقع بار استاتیک عمودی زمین، از دیواره لوله به خاک پیرامون منتقل می‌شود. با توجه به اینکه یکی از اجزای اصلی شبکه‌های انتقال و توزیع آب و جمع آوری و انتقال فاضلاب، لوله‌ها می‌باشند و وظیفه اصلی انتقال آب و فاضلاب را بر عهده دارند، بنابراین انتخاب جنس لوله از لحاظ فنی، اقتصادی، مدیریتی، بهداشتی و زیست محیطی تأثیر به سزایی در هزینه اجرایی، طول عمر شبکه و نیز عملکرد شبکه خواهد داشت. انتخاب دقیق معیارها قبل از انجام هرگونه تحلیلی اساسی‌ترین بخش تصمیم گیری است.

انواع لوله‌هایی را که می‌توان در شبکه‌های آب و فاضلاب مورد استفاده قرار داد، در سه ساختار اصلی فلزی، سیمانی و مواد مصنوعی تقسیم بندی می‌شوند. لوله‌های فلزی شامل لوله‌های فولادی و چدن نشکن، لوله‌های سیمانی شامل لوله‌های بتن مسلح و آزبست سیمان و لوله‌های مصنوعی شامل لوله‌های پلی اتیلن، پی. وی. سی و جی. آر. پی هستند. البته امروزه استفاده از لوله‌های سفالی با منشأ رس نیز مورد توجه قرار گرفته است.

تأثیر طول عمر و هزینه خرید لوله در انتخاب نوع لوله بسیار مهم است. لذا انتخاب نوع لوله از لحاظ قطر و ضخامت بسیار با اهمیت بوده و تأثیر زیادی در کاهش هزینه‌ها خواهد داشت. با تحلیل شبکه توزیع آب با در نظر گرفتن پارامترهای طول، قطر و ضریب اصطکاک لوله‌ها و انتخاب مناسب لوله در شبکه توزیع آب می‌توان به شبکه‌ای با قیمت ارزان و حداقل افت رسید. جنس لوله و نوع پوشش آن در کاهش هزینه‌های اجرایی شبکه اثرگذار بوده و با پوششی بتنی، طول عمر مفید شبکه فاضلاب افزایش یافته و مقاومت آن در برابر عوامل خورنده افزایش می‌یابد. البته از لحاظ اقتصادی، هزینه استفاده از لوله‌های پوشش دار بیشتر خواهد بود که در اقطار بزرگتر از ۶۰۰ میلیمتر تفاوت هزینه بیشتر نمایان خواهد بود. زمانی که آب شرب موجود در شبکه آبرسانی تمایل به خوردگی داشته باشد، باید علاوه بر کنترل کیفیت آب بر اساس پارامترهای مورد استفاده از جمله تنظیم سختی و ... در انتخاب جنس لوله دقت فراوان نموده و از لوله‌های مقاوم در برابر خوردگی استفاده نمود. به لحاظ مقاومت لوله‌ها نسبت به عوامل خورندهٔ موجود در فاضلاب، به جز لوله‌های بتنی بدون پوشش داخلی و لوله‌های آزبست، بقیه لوله‌ها از جمله لوله‌های سفالی، جی. آر. پی و پلی اتیلن مقاومت خوبی در برابر خوردگی، اسیدهای فاضلابی، مواد شیمیایی و ... داشته و از این حیث طول عمر این لوله‌ها به مراتب بیشتر از لوله‌های بتنی و آزبست خواهد بود.

لازم به ذکر است استفاده از لوله‌های بتنی یا آزبست با پوشش داخلی می‌تواند مشکل این لوله‌ها را از این لحاظ حل نماید که این امکان نیز در اقطار بالای ۵۰۰ میلیمتر امکان پذیر است. همچنین در بحث مواد خورنده فاضلابی که در فاضلاب صنعتی بیشتر با عنوان مواد اسیدی یا بازی با آن روبرو هستیم، می‌بایست از لوله‌های مقاوم استفاده نمود.

به لحاظ خصوصیات هیدرولیکی، با توجه به صاف بودن سطح داخلی لوله‌های جی. آر. پی، پلی اتیلن، لوله‌های سفالی (خصوصاً لعابدار) و تا حدی آزبست ضریب n در معادلهٔ مانینگ جهت محاسبه حجم سیال قابل انتقال نسبت به لوله‌های بتنی بدون پوشش کمتر می‌باشد. به لحاظ اقتصادی می‌توان به مواردی همچون امکان کاهش قطر لولهٔ مورد استفاده (برای مثال لوله جی. آر. پی ۱۰۰۰ به جای بتنی ۱۲۰۰) و امکان کاهش شیب طراحی در شرایط یکسان و به طبع کاهش هزینه‌های مربوط به حفاری و خاکریزی، اشاره نمود.

اتصالات کوپلینگی مورد استفاده در لوله‌های جی. آر. پی از جنس خود لوله‌ها با دو واشر می‌باشد و در نواحی اتصالات، آب بندی به طور کامل انجام می‌پذیرد. در صورتی که لوله‌های بتنی آب بندی مناسبی نداشته و نشت فاضلاب از آنها موجب زیانهای اقتصادی و زیست محیطی می‌گردد. در لوله‌های پلی اتیلن نیز در صورت استفاده از جوش به تنهایی و یا همراه با سایر روشهای اتصال آب بندی به طور کامل صورت می‌پذیرد. لوله‌های آزبست و سفالی نیز از روش کوپلینگ با واشرهای لاستیکی استفاده می‌کنند که از نظر آب بندی شرایط مناسب را ایجاد می‌کنند.

لوله‌های بتنی و سفالی معمولاً در طولهای ۲ الی ۳ متری تولید می‌گردند. طول لوله‌های آزبست از ۴ تا ۶ متر تولید می‌گردند. از آنجا که هرچه اتصالات کمتری در طول لوله به کار رود، هزینه‌ها و احتمال ایجاد نشت کاهش می‌یابد. از این حیث، لوله‌های پلی اتیلن و جی. آر. پی در رده اول و به ترتیب لوله‌های آزبست، بتنی و سفالی قرار می‌گیرند. البته تکنولوژی اجرا عامل بسیار مهمی در آب بندی لوله‌ها بوده و تعداد اتصالات، احتمال افزایش نشت را زیاد می‌کند. چه بسا لوله‌های با اتصال زیاد به دلیل تکنولوژی خاص، کمتر از لوله‌های دیگر نشتی داشته باشند. لوله‌های جی. آر. پی و پلی اتیلن چندین برابر از دیگر لوله‌ها، سبکتر می‌باشند. لذا در هنگام نصب جرثقیلهای سبکتری مورد استفاده قرار می‌گیرد و جا به جایی لوله‌ها آسانتر و هزینه عملیات نصب کمتر می‌باشد.

نگهداری لوله‌های جی. آر. پی، پلی اتیلن و سفالی با توجه به عدم نیاز آنها به پوشش داخلی و خارجی در صورت کارگذاری صحیح و مطابق با استانداردهای مربوطه و رعایت توصیه‌های کارخانه سازنده، به مراتب اقتصادی‌تر از لوله‌های بتنی و آزبست می‌باشد. هزینه نصب لوله‌های جی. آر. پی، پلی اتیلن و سفالی فقط یک بار انجام می‌شود، در حالی که لوله‌های بتنی نیاز به تعمیرات و بازبینی‌های مداوم دارند و عملاً در بسیاری موارد غیر قابل تعمیر می‌باشند.

در انتخاب جنس لوله، معیارهای مختلف اقتصادی، فنی، بهداشتی و زیست محیطی مطرح می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای تصمیم گیری صحیح در مورد انواع لوله‌های مختلف موجود نیاز به استفاده از روشهای تصمیم گیری چند معیاره می‌باشد. روشهای تصمیم گیری مختلفی وجود دارد که هر یک مزایای خود را دارد. انتخاب روش تصمیم گیری تأثیر به سزایی در رتبه بندی گزینه داشته و برای یک مسأله واحد، انتخاب هر روش از روشهای موجود نتیجه متفاوتی دارد که باید برای تصمیم گیری بهتر پس از استفاده از روشهای مختلف و آنالیز حساسیت گزینه مناسب انتخاب گردد.

از روشهای تحلیل چند معیاره در مدیریت سیاستهای عرضه و تقاضا برای تأمین آب نیز استفاده می‌شود. روش جمع وزنی ساده (SAW) ساده‌ترین و پرکاربردترین روش در تحلیل چند معیاره می‌باشد و ابزار خوبی برای اولویت بندی بر اساس بیشترین امتیاز است. اجرای روش عملگر میانگین وزنی مرتب (OWA) در تصمیم گیری چند معیاره نظر گروه تصمیم گیر برای وزن هر یک از معیارها را به خوبی تأمین نموده و برای اولویت بندی تخصیص آب مناسب می‌باشد.

۲- معیارهای مؤثّر در انتخاب لوله‌ها در طرحهای آب و فاضلاب

عوامل متعددی در انتخاب و تعیین مشخصات لوله‌ها و جنس آنها باید در نظر گرفته شود. در انتخاب جنس لوله، معیارهای متعددی در قالب معیارهای اقتصادی، فنی، بهداشتی و زیست محیطی مطرح می‌شود [۱ ـ ۴، ۹ ـ ۱۰ و ۱۴].

۲- ۱- معیارهای فنی

وزن لوله: هرچه لوله‌ها سبکتر باشند، در هنگام نصب جرثقیلهای سبکتری مورد استفاده قرار می‌گیرد و جا به جایی لوله‌ها آسانتر و هزینه عملیات حمل و نصب کمتر می‌شود.

عمر لوله: عمر بالای لوله دورهٔ مصرف طولانی‌تری به همراه خواهد داشت که از نظر هزینه‌های تعمیر و احیاء مجدد شبکه توزیع آب یا جمع آوری فاضلاب بسیار قابل توجه است. نکته‌ای که باید همواره در مباحث عمر مفید بدان توجه کرد، کیفیت و نحوهٔ نصب و کارگذاری لوله است. تمامی سازه‌های مدفون به نوعی بخشی از ساختار خاک محسوب شده، لذا نیروهای وارده را با بر همکنشی که با یکدیگر دارند، تحمل می‌نمایند. در نتیجه نصب بی دقت لوله، می‌تواند باعث عملکرد ضعیف آن در بستر خاک شود. لوله‌های سفالی در حدود ۱۰۰ سال عمر مفید دارند و پس از آن لوله‌های پلی اتیلن سنگین با ۵۰ سال عمر قرار دارند.

انعطاف پذیری: انعطاف پذیری بیشتر لوله سبب مقاومت بیشتر آن در مقابل ضربه و فشار شده و همچنین تعداد اتصالات لازم را نیز کاهش خواهد داد.

ضریب اصطکاک: به لحاظ خصوصیات هیدرولیکی، هرچه سطح داخلی لوله صافتر باشد، ضریب n در معادلهٔ مانینگ جهت محاسبه حجم سیال قابل انتقال کمتر می‌شود. در نتیجه به لحاظ اقتصادی می‌توان به مواردی همچون امکان کاهش قطر لولهٔ مورد استفاده (برای مثال لوله جی. آر. پی ۱۰۰۰ به جای بتنی ۱۲۰۰) و امکان کاهش شیب طراحی در شرایط یکسان و به طبع کاهش هزینه‌های مربوط به حفاری و خاکریزی، اشاره نمود.

رسوب ناپذیری: هرچه سطح داخلی لوله صیقلی‌تر و صافتر باشد، به دلیل داشتن زبری پایین‌تر سطح داخلی لوله، سیالات درون آن جریان سریعتر دارند و در نتیجه میزان رسوب کاهش خواهد یافت.

مقاومت در برابر ضربه و فشار: مقاومت لوله‌ها در مقابل ضربه نیاز به بکارگیری فشارهای بالاتر لوله و اتصالات و خریداری تجهیزات ضد ضربه را منتفی می‌کند. این خاصیت در پروژه‌های بزرگ باعث سهولت اجرا و کاهش بسیار زیاد هزینه‌های اجرا می‌شود، ضمن آنکه ضایعات اجرا را به میزان صفر کاهش می‌دهد.

مقاومت در مقابل خوردگی داخلی: سرعت جریان، درجه حرارت و pH آب، غلظت املاح و اکسیژن محلول، میزان تولید گازهای خورنده و ... از عوامل مؤثر در سرعت خوردگی لوله‌ها است. به لحاظ مقاومت لوله‌ها نسبت به عوامل خورندهٔ موجود در فاضلاب، به جز لوله‌های بتنی بدون پوشش داخلی و لوله‌های آزبست، بقیه لوله‌ها از جمله لوله‌های سفالی، جی. آر. پی و پلی اتیلن مقاومت خوبی در برابر خوردگی، اسیدهای فاضلابی، مواد شیمیایی و ... داشته و از این حیث طول عمر این لوله‌ها به مراتب بیشتر از لوله‌های بتنی و آزبست خواهد بود.

لازم به ذکر است استفاده از لوله‌های بتنی یا آزبست با پوشش داخلی می‌تواند مشکل این لوله‌ها را از این لحاظ حل نماید که این امکان نیز در اقطار بالای ۵۰۰ میلیمتر امکان پذیر است. همچنین در بحث مواد خورنده فاضلابی که در فاضلاب صنعتی بیشتر با عنوان مواد اسیدی یا بازی با آن روبرو هستیم، باید از لوله‌های مقاوم استفاده نمود. خورندگی داخلی در لوله‌های آزبست سیمان و لوله‌های بتنی انتقال آب که ممکن است از رسوبات جدار آنها سولفید هیدروژن آزاد شود، می‌تواند رخ دهد. سولفات موجود در آب نیز می‌تواند توسط باکتری‌های تغییر دهنده سولفات به سولفید هیدروژن تبدیل شود و هیدروژن سولفوره به وجود آمده بعداً به اسید سولفوریک تبدیل شده که می‌تواند در نقاطی از لوله که حفاظت نشده باشند ایجاد خوردگی کند.

مقاومت در مقابل خوردگی خارجی: مقاومت الکتریکی یا هدایت الکتریکی خاک از پارامترهای مهم در تعین مقدار خوردگی در لوله‌های مدفون به ویژه لوله‌های فولادی و لوله‌های چدنی است. عوامل مؤثر در میزان مقاومت الکتریکی خاک عبارتند از میزان pH، توان ایستادگی در مقابل سوختن و اکسید شدن، میزان رطوبت، مقدار مواد آلی و مواد شیمیایی موجود در خاک. باکتری‌ها نیز می‌توانند به طور مستقیم یا غیر مستقیم موجب خوردگی شوند. هر فعالیت بیولوژیکی، حاصل اثرات محیط بر سلول زنده هست و در عوض، هر گونه تغییر و تبدیل در محیط زیست بر اثر متابولیسم میکروبی صورت می‌پذیرد. محیط خاک اطراف لوله در داخل ترانشه مهمترین ناحیه از نظر خورندگی لوله و یا از بین بردن پوشش خارجی لوله است. لوله‌های سفالی، پلی اتیلن، GRP و UPVC در مقابل حمله میکروارگانیسمها مقاوم می‌باشند، چرا که ماده تغذیه کننده‌ای برای آنها نمی‌باشند.

مقاومت در برابر سایش: مقاومت بالاتر لوله در مقابل ساییده شدن ناشی از مواد معلق موجود در فاضلاب یا در زمان شستشو با واترجت سبب افزایش عمر لوله خواهد شد.

مقاومت در برابر ضربه: لولهٔ پلی اتیلن سنگین به دلیل نرمی بیشتر در برابر ضربه مقاومتر از لوله‌های دیگر است.

خزش و استحکام کششی: خزش عبارت است از تقلیل خصوصیات لوله با گذشت زمان. پدیده خزش در ارتباط مستقیم با کیفیت مواد خام مصرفی در ساخت لوله بوده و به شیوه تولید بستگی ندارد. هنگامی که لوله‌ها تحت فشار و بارهای خارجی و داخلی قرار می‌گیرند، بسته به جنس لوله ممکن است پس از مدتی مشخصه‌های مکانیکی آنها تغییر شکل یابد که این پدیده با نام خزش به خصوص در لوله‌های پلیمری از اهمیت بالایی برخوردار است. لوله‌های فولادی و GRP اصولاً رفتار داکتیل دارند و مقاومت خزشی کمتری نسبت به گونه‌های دیگر لوله‌ها دارند. لوله‌های پلی اتیلن سنگین می‌تواند خزش بیشتری را قبل از پارگی تحمل نماید.

مقاومت لرزه‌ای (در زلزله): لوله‌های چدن نشکن بر خلاف لوله‌های چدن معمولی، که در برابر زلزله آسیب پذیرند و برای مناطق زلزله خیز توصیه نمی شوند، در برابر زلزله مقاومند. لوله‌های بتنی نسبت به لوله‌های آزبست سیمان انعطاف پذیرترند، اما در حالت کلی برای مناطق زلزله خیز توصیه نمی‌شوند. این لوله‌ها در قطرهای بالا، به علت رفتار خمشی، کمتر دچار آسیب می شوند. لوله‌های فولادی به ویژه اگر در مسیرهای انحنادار یا دارای شکستگی استفاده شوند، در برابر زلزله مقاومند و آسیب

پذیری آنها بیشتر در حالت برخورد عمود بر گسل اتفاق می‌افتد. این لوله‌ها در کقایسه با لوله‌های چدنی، بتنی و آزبست کمتر آسیب می‌بینند. لوله‌های پلی اتیلن سنگین با جوشهای فیوژن رفتار لرزه‌ای خوبی دارند و برای مناطق زلزله خیز توصیه می‌شوند. دارای انعطاف پذیری مناسبی هستند و در زلزله‌های گذشته کمتر دچار آسیب شده‌اند، اما با گذشت زمان در برابر کلر موجود در آب لایه لایه شده و باید نسبت به عمر آنها دقت کافی داشت. لوله‌های سفالی با پیوندهای نری و مادگی و با کمک حلقه‌های لاستیکی انعطاف پذیری بیشتری در برابر نیروهای جانبی دارد.

مقاومت در برابر تغییرات درجه حرارت: تغییرات و نوسانات معمول در دمای نصب و عملکرد اکثر لوله‌ها تأثیری روی استحکام آنها ندارد. در دماهای معمول سرویس کاری تغییر محسوسی در استحکام کششی لوله‌ها به وجود نمی‌آید. لوله‌های غیر پلیمری هیچ تغییر محسوسی، حتی در محدودهٔ دمایی بالاتر از ۶۰ درجهٔ سانتیگراد، در استحکام کششی ایجاد نمی‌شود، اما به دلیل طبیعت پلیمری و ترموپلاستیکی لولهٔ پلی اتیلن، عملکرد آن به شدت به دمای سرویس و کارکرد آن بستگی دارد. چون ضریب انبساط حرارتی پلی اتیلن بسیار بالا است، این احتمال وجود دارد که در حین قرار گرفتن در معرض تغییرات دمایی شدید دستخوش جا به جایی سراسری خط لوله گردد.

مقاومت در برابر یخبندان: در صورت بروز یخبندان و یخ زدگی آب یا فاضلاب در داخل لوله، لوله باید مقاومت لازم را در برابر ایجاد ترکهای احتمالی و یا شکستگی بر اثر افزایش حجم آب به دلیل یخ زدن داشته باشد.

کیفیت اتصالات و آب بند بودن: در اتصالهای خطوط لوله تحت فشار، نیروهایی بر اثر فشار داخلی خط انتقال بر اتصال وارد می‌شوند که ممکن است باعث جدا شدن قطعات اتصال و در نتیجه باز شدن آن شود مگر اینکه در اتصال، تمهیداتی برای جلوگیری از جدا شدن قطعات پیش بینی شده باشد. فشار داخلی خط لوله ممکن است ناشی از فشار استاتیک و یا فشار دینامیک باشد. قطع ناگهانی تلمبه‌ها و یا بستن سریع شیرهای در خطوط انتقالی که آب از طریق آن و با استفاده از تلمبه انتقال داده می‌شود، ممکن است ایجاد ضربه قوچ نماید که بر اثر آن، در نقاطی از خط لوله، فشار داخلی به طور ناگهانی افزایش یافته و باعث جدا شدن قطعات اتصال و یا حتی ترکیدگی لوله شود، مگر اینکه خط لوله و اتصالهای آن قادر به مقابله با این نیروها بوده و یا خط لوله مجهز به تمهیداتی شده باشد که نیروهای ناشی از ضربه قوچ را بی اثر کند. نظر بر اینکه در مقابل با اثرات ضربه قوچ، لوله‌های از جنس نرم و قابل انعطاف، مقاومت بیشتری نسبت به لوله‌های از جنس ترد و شکننده دارند، لذا در مواردی که فشار که خط لوله زیاد بوده و احتمال می‌رود بر اثر ضربه قوچ، نیروی زیادی به خط لوله وارد آید، لوله‌های فولادی مناسبتر از سایر انواع لوله‌ها می‌باشد. اتصالات کوپلینگی مورد استفاده در لوله‌های جی. آر. پی از جنس خود لوله‌ها با دو واشر می‌باشد و در نواحی اتصالات آب بندی به طور کامل انجام می‌پذیرد. در صورتی که لوله‌های بتنی آب بندی مناسبی نداشته و نشت فاضلاب از آنها موجب زیانهای اقتصادی و زیست محیطی می‌گردد. در لوله‌های پلی اتیلن نیز در صورت استفاده از جوش به تنهایی و یا همراه با سایر رو شهای اتصال آب بندی به طور کامل صورت می‌پذیرد. لوله‌های آزبست و سفالی نیز از روش کوپلینگ با واشرهای لاستیکی استفاده می‌کنند که از نظر آب بندی شرایط مناسب را ایجاد می‌کنند.

سهولت در تأمین قطعات: این امر بستگی به امکان ایجاد تنوع در تولید انواع اتصالات دارد که بسیار به جنس لوله‌ها بستگی دارد. به عنوان مثال، امکان تولید اتصالات مختلف برای لوله‌های پلی اتیلن و تا حدودی لوله‌های فولادی به دلیل جنس خاص آنها بیشتر از سایر لوله‌ها است. همچنین امکان ساخت قطعات در داخل کشور و تیراژ تولید و در دسترس بودن قطعات و ملزومات از اهمیت بالایی برخوردار است.

تعداد اتصالات مورد نیاز: لوله‌های بتنی و سفالی معمولاً در طولهای ۲ الی ۳ متری، لوله‌های آزبست در طولهای ۴ تا ۶ متری و لوله‌های پلی اتیلن و جی. آر. پی نیز در طولهای ۶ تا ۱۲ متری تولید می‌گردند. هرچه اتصالات کمتری در طول لوله به کار رود، هزینه‌ها و احتمال ایجاد نشت کاهش می‌یابد. البته تکنولوژی اجرا عامل بسیار مهمی در آب بندی لوله‌ها بوده و تعداد

اتصالات، احتمال افزایش نشت را زیاد می‌کند. چه بسا لوله‌های با اتصال زیاد به دلیل تکنولوژی خاص، کمتر از لوله‌های دیگر نشتی داشته باشند.

۲-۲- معیارهای اقتصادی

هزینه خرید هر متر طول: از آنجا که بخش مهمی از هزینه‌های اجرای شبکه‌های آب و فاضلاب مربوط به هزینه خرید لوله می‌باشد، قیمت پایین‌تر لوله سبب کاهش در هزینه‌ها خواهد شد.

هزینه نصب و بستر سازی: سبکی و سهولت نصب لوله‌ها می‌تواند عرض ترانشه مورد نیاز را به حد اقل برساند، در نتیجه هزینه‌های اجرایی حفر، مرمت نوار حفاری و مشکلات حمل و عودت خاکهای حفاری شده کاهش می‌یابد. اما در صورت انعطاف پذیری زیاد لوله و کم بودن مقاومت حلقوی آن هزینه‌های بستر سازی می‌تواند افزایش یابد.

هزینه انبارداری: هرچه لوله‌ها فضای کمتری را اشغال کنند، هزینه‌های انبارداری کاهش خواهد یافت.

هزینه حمل: سبکتر بودن لوله‌ها هزینه‌های حمل را کاهش خواهد داد.

۲-۳- معیارهای مدیریتی

تعمیر و نگهداری: نگهداری لوله‌های جی. آر. پی، پلی اتیلن و سفالی با توجه به عدم نیاز آنها به پوشش داخلی و خارجی در صورت کارگذاری صحیح مطابق با استانداردهای مربوطه و رعایت توصیه‌های کارخانه سازنده، به مراتب اقتصادی‌تر از لوله‌های بتنی و آزبست می‌باشد. هزینه نصب لوله‌های جی. آر. پی، پلی اتیلن و سفالی فقط یک بار انجام می‌شود، در حالی که لوله‌های بتنی نیاز به تعمیرات و بازبینی‌های مداوم دارند و عملاً در بسیاری موارد غیر قابل تعمیر می‌باشند.

بهره برداری: سهولت و هزینه پایین ایجاد انشعابات و اتصالات پس از اجرا و در طول بهره‌برداری می‌تواند یکی از پارامترهای مهم در انتخاب لوله‌ها باشد.

۲-۴- معیارهای بهداشتی

انتشار مواد مضرّ در آب: در فرایند ساخت انواع لوله‌ها مقادیر زیادی مواد شیمیایی کمکی جهت بهبود خواص لوله مورد استفاده قرار می‌گیرد که بخشی هرچند اندک از آنها می‌توانند در طول زمان به داخل آب نشت کرده و سبب تنزل کیفیت آب توزیعی گردند. مطالعات متعدد نشان داده است که موادی مانند کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، روی و قلع می‌توانند از انواع لوله‌های فلزی و پلیمری به داخل آب وارد شوند.

۲-۵- معیارهای زیست محیطی

اثرات زیست محیطی ساخت لوله: تحقیقات نشان می‌دهد که فرایندهای ساخت لوله‌های سفالی، فولادی و چدنی آلاینده‌های کمتری نسبت به لوله‌های پلیمری به محیط زیست وارد می‌کنند.

امکان بازیافت لوله: سهولت و امکان بازیافت لوله‌های فرسوده و خارج از رده به ویژه در مورد لوله‌های پلیمری از نظر زیست محیطی اهمیت بسیار دارد. به طور کلی لوله‌های پلی اتیلنی قابلیت بازیافت بیشتری نسبت به لوله‌های UPVC دارند.

زیان آور نبودن بقایای لوله‌های فرسوده برای محیط زیست

۳- روش کار

برای انتخاب معیارها و زیر معیارهای مربوط به یک هدف، معمولاً از روشهایی مانند طوفان مغزی، گروه اسمی یا تکنیک دلفی استفاده می‌شود. تکنیک دلفی، یکی از روشهای کسب دانش گروهی است که فرایندی دارای ساختار برای پیش بینی و کمک به تصمیم گیری در طی راندهای پیمایشی، جمع آوری اطلاعات و در نهایت، اجتماع گروهی است. مهمترین شرایط مورد نیاز

برای کاربرد دلفی، نیاز به قضاوت متخصصان و نظرات گروه وسیع، توافق گروهی در دستیابی به نتایج، وجود مشکل پیچیده، بزرگ و بین رشته‌ای و عدم توافق یا ناکامل بودن دانش، در دسترس بودن متخصصین با تجربه و متخصص، از نظر جغرافیایی پراکنده، لزوم گمنامی در جمع آوری داده‌ها، عدم محدودیت زمانی و عدم وجود روش هزینه اثربخش دیگری است. اجزای اصلی دلفی شامل تکرار یا بازگویی پرسشنامه، بازخورد کنترل شده، گمنامی متخصصین، آنالیز نتایج، زمان و تیم هماهنگ کننده است.

روش دلفی با مشارکت افرادی انجام می‌پذیرد که در موضوع پژوهش دارای دانش و تخصص باشند. این افراد با عنوان پانل دلفی شناخته می‌شوند. گزینش اعضای واجد شرایط برای پانل دلفی از مهمترین مراحل این روش به حساب می‌آید، زیرا اعتبار نتایج کار بستگی به شایستگی و دانش این افراد دارد. تعداد مناسب اعضا، نکته مهم دیگری است که در تشکیل پانل باید به آن توجه کرد. مانند هر نوع نمونه گیری دیگر، حجم نمونه به عواملی مانند امکان دسترسی به افراد، زمان لازم و هزینه گردآوری اطلاعات بستگی دارد. در روش دلفی که اعضای پانل باید از متخصصان موضوع پژوهش باشد، این محدودیتها افزایش پیدا می‌کند. از طرف دیگر، ایجاد اتفاق نظر میان اعضا به عنوان هدف از کاربرد این روش با افزایش آنان دشوارتر می‌شود هر چند تعداد اعضای پانل در پژوهشهای پیشین بین ۱۰ تا ۱۶۸۵ نفر متغیر بوده است، اما هنگامی که میان اعضای پانل تجانس وجود داشته باشد، حدود ۱۰ تا ۲۰ عضو توصیه شده است.

برای پی بردن به مقدار اهمیت معیارها و نحوه تأثیر هر یک از معیارها بر گزینه‌های موجود، پرسشنامه‌هایی شامل معیارهای مختلف تهیه شده و هر معیار وزنهای خیلی زیاد، نسبتاً زیاد، متوسط، نسبتاً کم، کم، و خیلی کم، وزن دهی و پرسشنامه‌ها توسط کارشناسان تکمیل می‌گردد. برای تبدیل کمیتها بیانی به عددی از مجموعه اعداد (۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱) استفاده شد. میانگین امتیاز هر معیار بر اساس کل امتیازات داده شده، محاسبه گردیده و در مرحله بعد میزان اجماع کارشناسان بر روی نتیجه نهایی با استفاده از ابزارهایی چون روش Kuncheva یا روش انحراف معیار تعیین می‌گردد گویه‌های اولیه تحقیق، با استفاده از مرور متون و منابع متعدد داخلی و خارجی استخراج شد و به کارشناسان اختیار کامل داده شد تا هر کدام از موارد را به تشخیص خود ابقا، حذف و یا ویرایش کنند. همچنین از آنها خواسته شد تا در صورت لزوم، تقسیم بندی معیارها را نیز تغییر دهند. این فرمها به صورت بدون ساختار یا باز پاسخ طراحی شد و هدف آن زایش ایده‌ها از طریق طوفان مغزی بود.

برای هر یک از این کارشناسان، یک دعوتنامه به همراه سندی حاوی توضیحاتی پیرامون اهداف و روش کار پژوهش و انتظاری که از آنها می‌رود، تنظیم شد. در سند پیوست دعوتنامه، توضیحات مختصری در رابطه با هر یک از معیارهای انتخابی داده شد. سپس فرمی در اختیار آنها قرار گرفت که شامل موضوع پژوهش، هدفهای آن، تعریفها، تعداد دورها، زمان لازم برای مشارکت در هر دور و طول تقریبی کار بود.

۴- نتایج و بحث

افراد واجد شرایط شرکت در این نظر سنجی، از میان افراد دارای سوابق طراحی، اجرا و نظارت طرحهای شبکه‌های آب و فاضلاب که دارای سابقه فعالیت بیش از ۱۰ سال در شرکتهای مهندسی مشاور، شرکتهای پیمانکار و شرکت مهندسی آب و فاضلاب استان مازندران، به تعداد ۳۵ نفر، انتخاب شدند. برای هر یک از این افراد، یک دعوتنامه به همراه سندی حاوی توضیحاتی پیرامون اهداف و روش کار پژوهش و انتظاری که از آنها می‌رود، تنظیم و در اختیار کارشناسان قرار گرفت. در سند پیوست دعوتنامه، توضیحات مختصری در رابطه با هر یک از معیارهای منتخب ارائه شد. فرمها به صورت بدون ساختار یا باز پاسخ طراحی شد و هدف آن زایش ایده‌ها از طریق طوفان مغزی بود. این معیارها به عنوان مبنای اولیه تحقیق، با استفاده از مرور متون و منابع متعدد داخلی و خارجی استخراج شد و به کارشناسان اختیار کامل داده شد تا هر کدام از موارد را به تشخیص خود ابقا، حذف یا ویرایش کرده و معیارهای مد نظر خود را نیز اضافه کنند.

فرمهای اولیه شامل ۲۷ معیار در قالب ۵ معیار فنی، اقتصادی، مدیریتی، بهداشتی و زیست محیطی برای انتخاب جنس لوله در شبکه آب و ۲۶ معیار در قالب ۴ معیار فنی، اقتصادی، مدیریتی و زیست محیطی برای انتخاب جنس لوله در شبکه فاضلاب بود و در حین نظر سنجی معیارهای «عدم محدودیت در تولید قطرهای بالا»، «تنوع در اتصالات» و «وجود تخصص بومی در اجرا» به معیارهای موجود اضافه شد. همچنین معیار «حفظ درجه حرارت فاضلاب» نیز اختصاصاً برای شبکه فاضلاب ارائه شد.

نتایج روش دلفی در این نظر سنجی شامل موارد و آیتمها، «میانگین»، «میانه» و «انحراف معیار» امتیازات به ترتیب برای شبکه آب و فاضلاب در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. میزان اجماع کارشناسان بر روی نتیجه نهایی با استفاده از روش انحراف معیار طبق رابطه ۱ تعیین شد.

$$\text{درجه اجماع} = (-1)\frac{S}{X} \qquad (۱)$$

که S، انحراف معیار و X میانگین امتیازات را نشان می‌دهد. در نهایت برای انتخاب معیارهای نهایی از شاخص جدیدی که با تلفیق میانگین نسبی امتیاز و درجه اجماع هر معیار به دست می‌آید (رابطه ۲)، استفاده شد. این شاخص حاصل میانگین نسبی امتیازات، M، (میانگین تقسیم بر ماکزیمم امتیازات) با وزن ۷٪ و شاخص درجه اجماع، C، با وزن ۳٪ بوده و معیارهایی که شاخص تلفیقی آنها بیش از ۷٪ باشند، به عنوان معیارهای نهایی انتخاب و سایر معیارها حذف خواهند شد.

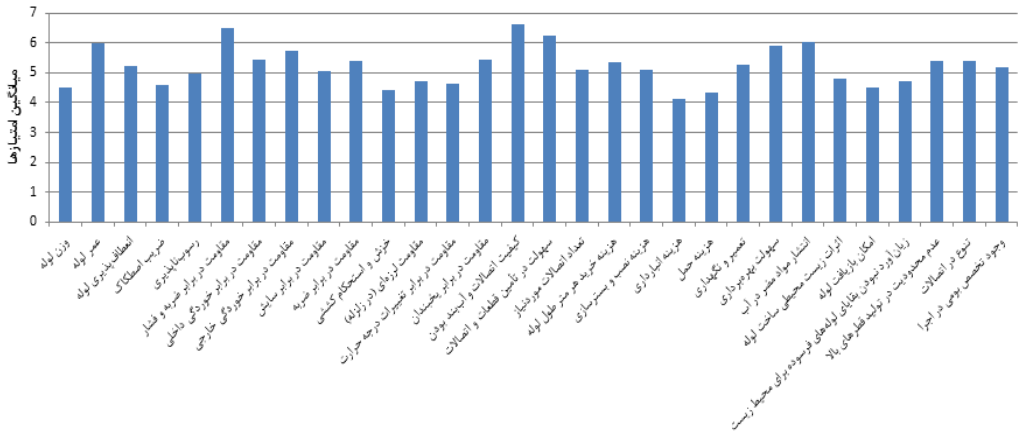
$$\text{شاخص تلفیقی} = 0.7_1\ M+O.3C \qquad (۲)$$

نتایج نظر سنجی اولویت بندی و انتخاب معیارهای اصلی برای انتخاب جنس لوله در شبکه آب شهری در جدول ۱ و شکلهای ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. مشاهده می شود که از میان ۳۰ معیار نهایی، ۱۹ معیار حد نصاب لازم را کسب کرده‌اند. از میان معیارها، معیارهای «کیفیت اتصالات و آب بند بودن»، «سهولت در تأمین قطعات و اتصالات»، «مقاومت در برابر ضربه و فشار» و «عمر لوله»، «سهولت بهره برداری» و «انتشار مواد مضر در آب» حائز بیشترین امتیاز و اجماع کارشناسان شدند. همچنین از میان معیارهای اقتصادی، معیارهای «هزینه خرید هر متر طول» و «هزینه نصب و بستر سازی» انتخاب شدند و هیچ کدام از معیارهای زیست محیطی مورد توجه کارشناسان به عنوان معیارهای مهم انتخاب جنس لوله قرار نگرفت.

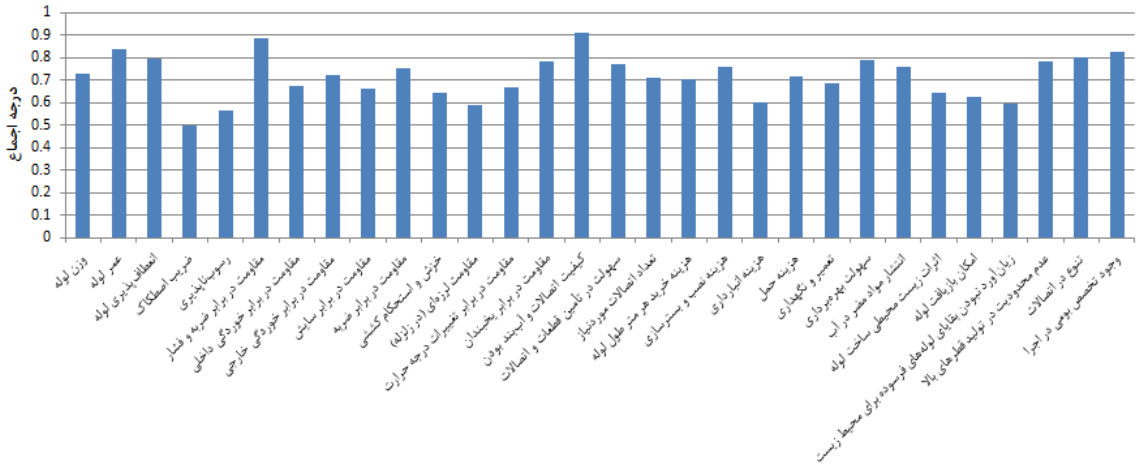
جدول ۱- اولویت بندی معیارهای انتخاب جنس لوله در شبکه‌های آب

ردیف	معیارهای اصلی	زیر معیارها	میانگین	میانه	انحراف معیار	درجه اجماع	معیار تلفیقی
۱	فنی	وزن لوله	۴/۵	۴	۱/۲۲	۰/۷۳	۰/۶۷
۲		عمر لوله	۶	۶	۰/۹۸	۰/۸۴	۰/۸۵
۳		انعطاف پذیری لوله	۵/۲	۵	۱/۰۷	۰/۸۰	۰/۷۶
۴		ضریب اصطکاک	۴/۶	۵	۲/۳۰	۰/۵۰	۰/۶۱
۵		رسوب ناپذیری	۵	۶	۲/۱۵	۰/۵۷	۰/۶۷
۶		مقاومت در برابر ضربه و فشار خارجی	۶/۵	۷	۰/۷۴	۰/۸۹	۰/۹۲
۷		مقاومت در برابر خوردگی داخلی	۵/۵	۶	۱/۷۹	۰/۶۷	۰/۷۵
۸		مقاومت در برابر خوردگی خارجی	۵/۷	۶/۵	۱/۵۸	۰/۷۵	۰/۷۹
۹		مقاومت در برابر سایش	۵	۵/۵	۱/۷۰	۰/۶۶	۰/۷۰
۱۰		مقاومت در برابر فشار داخلی	۵/۴	۵	۱/۳۳	۰/۷۵	۰/۷۷
۱۱		خزش و استحکام کششی	۴/۴	۴/۵	۱/۵۶	۰/۶۵	۰/۶۳
۱۲		مقاومت لرزه ای(در زلزله)	۴/۷	۵	۱/۹۳	۰/۵۹	۰/۶۵

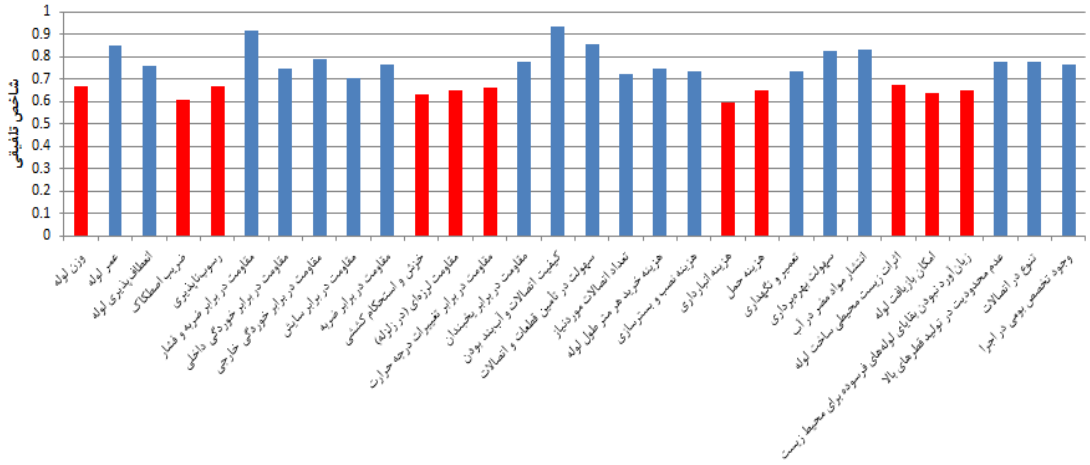
۱۳		مقاومت در برابر تغییرات درجه حرارت	۴/۶	۵	۱/۵۳	۰/۶۷	۰/۶۶
۱۴		مقاومت در برابر یخبندان	۵/۵	۵/۵	۱/۱۸	۰/۷۸	۰/۷۸
۱۵		کیفیت اتصالات و آب بند بودن	۶/۶	۷	۰/۵۸	۰/۹۱	۰/۹۴
۱۶		سهولت در تامین قطعات و اتصالات	۶/۲	۷	۱/۴۱	۰/۷۷	۰/۸۶
۱۷		تعداد اتصالات مورد نیاز	۵/۱	۵	۱/۴۸	۰/۷۱	۰/۷۲
۱۸	اقتصادی	هزینه خرید هر متر طول لوله	۶	۷	۱/۵۹	۰/۷۰	۰/۷۵
۱۹		هزینه نصب و بسترسازی	۵/۱	۵	۱/۲۳	۰/۷۶	۰/۷۴
۲۰		هزینه انبارداری	۴/۱	۴/۵	۱/۶۴	۰/۶۰	۰/۵۹
۲۱		هزینه حمل	۴/۳	۴/۵	۱/۲۱	۰/۷۲	۰/۶۵
۲۲	مدیریتی	تعمیر و نگهداری	۵/۳	۶	۱/۶۷	۰/۶۸	۰/۷۳
۲۳		سهولت بهره‌برداری	۵/۹	۶	۱/۲۳	۰/۷۹	۰/۸۳
۲۴	بهداشتی	انتشار مواد مضر در آب	۶	۷	۱/۴۷	۰/۷۶	۰/۸۳
۲۵	زیست محیطی	اثرات زیست محیطی ساخت لوله	۴/۸	۵	۱/۷۱	۰/۶۵	۰/۶۸
۲۶		امکان بازیافت لوله	۴/۵	۴	۱/۶۸	۰/۶۳	۰/۶۴
۲۷		زیان آور نبودن بقایای لوله‌های فرسوده برای محیط زیست	۴/۷	۵	۱/۹۱	۰/۶۰	۰/۶۵
۲۸	معیارهای پیشنهادی کارشناسان	عدم محدودیت درتولید قطرهای بالا	۵/۴	۵/۵	۱/۷۴	۰/۷۸	۰/۷۷
۲۹		تنوع در اتصالات	۵/۴	۵	۱/۰۷	۰/۸۰	۰/۷۸
۳۰		وجود تخصص بومی در اجرا	۵/۲	۵	۰/۹۲	۰/۸۲	۰/۷۷
۳۱		اثربخشی حیوانات موزی بر شبکه	۴/۵	۵	۱/۴۶	۰/۶۸	۰/۶۵



شکل۱- میانگین امتیازات معیارهای انتخاب جنس لوله برای شبکه آب



شکل ۲- درجه اجماع کارشناسان در امتیاز دهی به معیار های انتخاب جنس لوله برای شبکه آب



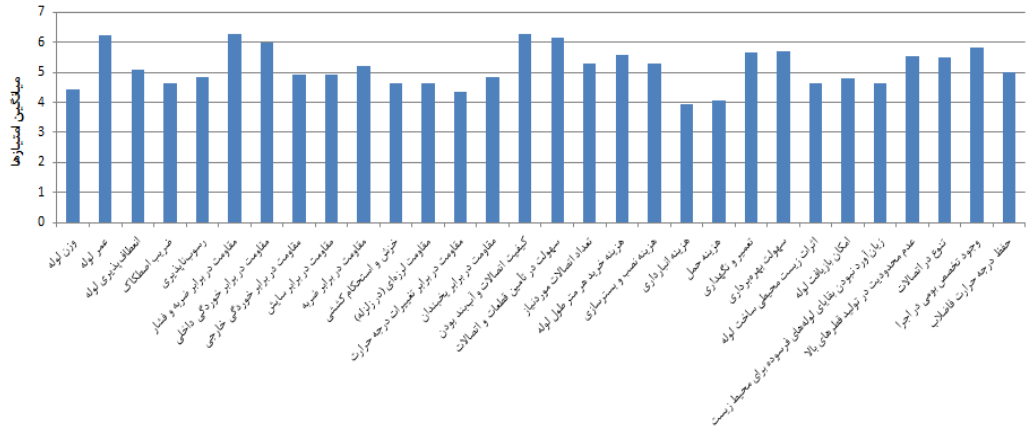
شکل۳- میزان شاخص تلفیق معیارهای انتخاب جنس لوله برای شبکه آب

نتایج نظر سنجی و اولویت بندی و انتخاب معیارهای اصلی برای انتخاب جنس لوله در شبکه فاضلاب شهری در جدول ۲ و شکلهای ۴، ۵ و ۶ نشان داده است. مشاهده می شود که از میان ۳۰ معیار نهایی، ۱۸ معیار حد نصاب لازم را کسب کرده‌اند. از میان معیارها، معیارهای «کیفیت اتصالات و آب بند بودن»، «سهولت در تأمین قطعات و اتصالات»، «مقاومت در برابر ضربه و فشار»، «مقاومت در برابر خوردگی داخلی»، «تعمیر و نگهداری»، «عمر لوله»، «سهولت بهره‌برداری» و «وجود تخصص بومی در اجرا» حائز بیشترین امتیاز و اجماع کارشناسان شدند. همچنین از میان معیارهای اقتصادی، معیارهای «هزینه خرید هر متر طول» و «هزینه نصب و بستر سازی» انتخاب شدند و هیچ کدام از معیارهای زیست محیطی مورد توجه کار شنا سان به عنوان معیارهای مهم انتخاب جنس لوله قرار نگرفت.

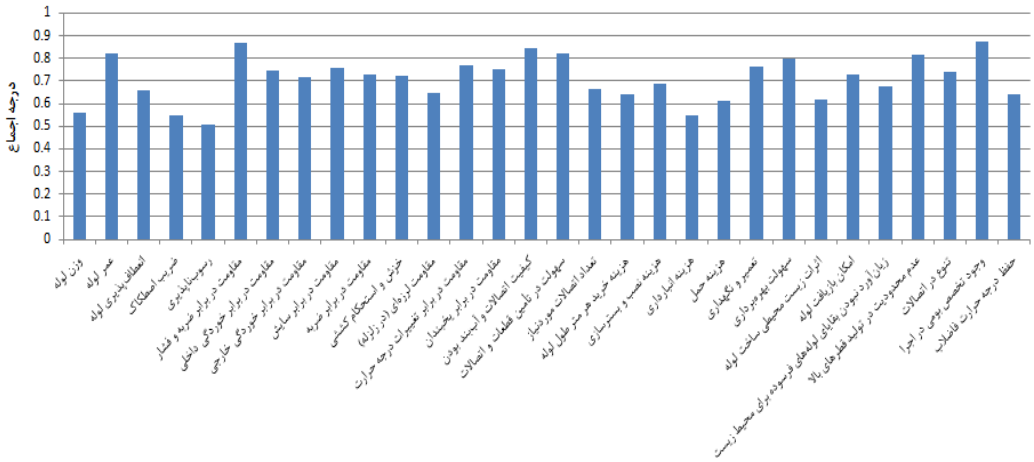
جدول ۲- اولویت بندی معیارهای انتخاب جنس لوله برای شبکه‌های فاضلاب

ردیف	معیارهای اصلی	زیر معیارها	میانگین	میانه	انحراف معیار	درجه اجماع	معیار تلفیقی
۱	فنی	وزن لوله	۴/۴	۴/۵	۱/۹۵	۰/۵۶	۰/۶۱
۲		عمر لوله	۶/۲	۷	۱/۱۲	۰/۸۲	۰/۸۷
۳		انعطاف پذیری لوله	۵/۱	۵/۵	۱/۷۳	۰/۶۶	۰/۷۱
۴		ضریب اصطکاک	۴/۶	۵	۲/۱۰	۰/۵۵	۰/۶۳
۵		رسوب ناپذیری	۴/۸	۶	۲/۳۷	۰/۵۱	۰/۶۴

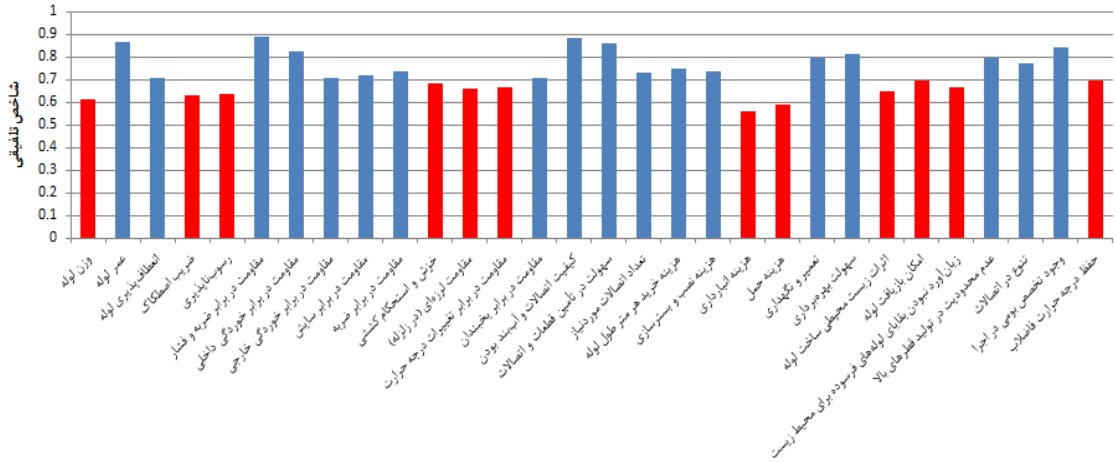
۶		مقاومت در برابر ضربه و فشار خارجی	۶/۳	۶/۵	۰/۸۳	۰/۸۷	۰/۸۹
۷		مقاومت در برابر خوردگی داخلی	۶	۷	۱/۵۲	۰/۷۵	۰/۸۲
۸		مقاومت در برابر خوردگی خارجی	۴/۹	۴	۱/۳۸	۰/۷۲	۰/۷۱
۹		مقاومت در برابر سایش	۴/۹	۴/۵	۱/۲۱	۰/۷۶	۰/۷۲
۱۰		خزش و استحکام کششی	۴/۶	۴/۵	۱/۲۸	۰/۷۲	۰/۶۸
۱۱		مقاومت لرزه ای(در زلزله)	۴/۶	۴/۵	۱/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۶
۱۲		مقاومت در برابر تغییرات درجه حرارت	۴/۴	۴	۱/۰۱	۰/۷۷	۰/۶۷
۱۳		مقاومت در برابر یخبندان	۴/۸	۵	۱/۲۱	۰/۷۵	۰/۷۱
۱۴		کیفیت اتصالات و آب بند بودن	۶/۳	۷	۰/۹۹	۰/۸۴	۰/۸۸
۱۵		سهولت در تامین قطعات و اتصالات	۶/۱	۶/۵	۱/۱۰	۰/۸۲	۰/۸۶
۱۶		تعداد اتصالات مورد نیاز	۵/۳	۵/۵	۱/۷۷	۰/۶۶	۰/۷۳
۱۷	**اقتصادی**	هزینه خرید هر متر طول لوله	۵/۶	۶/۵	۱/۹۹	۰/۶۴	۰/۷۵
۱۸		هزینه نصب و بسترسازی	۵/۳	۶	۱/۶۴	۰/۶۹	۰/۷۵
۱۹		هزینه انبارداری	۳/۹	۴	۱/۷۷	۰/۵۵	۰/۵۶
۲۰		هزینه حمل	۴/۱	۴	۱/۵۹	۰/۶۱	۰/۵۹
۲۱	**مدیریتی**	تعمیر و نگهداری	۵/۶	۶	۱/۳۴	۰/۷۶	۰/۷۹
۲۲		سهولت بهره‌برداری	۵/۷	۶	۱/۱۴	۰/۸۰	۰/۸۱
۲۳	**زیست محیطی**	اثرات زیست محیطی ساخت لوله	۴/۶	۴/۵	۱/۷۸	۰/۶۱	۰/۶۵
۲۴		امکان بازیافت لوله	۴/۸	۴/۵	۱/۳۱	۰/۷۳	۰/۶۹
۲۵		زیان آور نبودن بقایای لوله‌های فرسوده برای محیط زیست	۴/۶	۴/۵	۱/۵۰	۰/۶۸	۰/۶۸
۲۶	**معیارهای پیشنهادی کارشناسان**	عدم محدودیت درتولید قطرهای بالا	۵/۵	۶	۱/۰۴	۰/۸۱	۰/۸۰
۲۷		تنوع در اتصالات	۵/۵	۶	۱/۴۳	۰/۷۴	۰/۷۷
۲۸		وجود تخصص بومی در اجرا	۵/۸	۶	۰/۷۵	۰/۸۷	۰/۸۴
۲۹		حفظ درجه حرارت فاضلاب	۵	۵	۱/۷۹	۰/۶۴	۰/۶۹
۳۰		اثربخشی حیوانات موزی بر شبکه	۴/۹	۵	۱/۶۸	۰/۶۵	۰/۶۸



شکل۴- میانگین امتیازات معیارهای انتخاب جنس لوله برای شبکه فاضلاب



شکل۵- درجه اجماع کارشناسان در امتیاز دهی به معیارهای انتخاب جنس لوله برای شبکه فاضلاب



شکل۶- میزان شاخص تلفیقی معیارهای انتخاب جنس لوله برای شبکه فاضلاب

نتایج نشـــان می‌دهد که جز در دو مورد، معیارهای مشـــابهی برای انتخاب جنس لوله در شـــبکه‌های آب و فاضـــلاب توســـط کار شناسان توجه قرار داده شده است. البته تفاوتهایی در مقادیر امتیازات در معیارهای منتخب مشاهده می شود. به عنوان مثال، معیار «مقاومت در برابر خوردگی داخلی»، امتیاز بیشتری در شبکه فاضلاب در مقایسه با شبکه آب کسب کرده که با توجه با ماهیت خورنده‌تر فاضلاب نسبت به آب آشامیدنی کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. همچنین معیارهای «کیفیت اتصالات و آب بند بودن» و «مقاومت در برابر یخبندان» در بحث آب امتیاز بیشتری نسبت به فاضلاب کسب کرده‌اند. با توجه به دمای پایین‌تر آب نسبت به فاضلاب و احتمال یخ زدگی بیشتر آن و همچنین تحت فشار بودن شبکه آب، نتایج فوق مورد انتظار است. با توجه به سرعت بیشتر آب درون شبکه و همچنین وجود ذرات معلق در جریان فاضلاب و نیاز به شستشوی شبکه با واترجت، معیار «مقاومت در برابر سایش» در هر دو حوزه دارای اهمیت است.

معیارهای انتخاب شده در پژوهشهای آتی جهت انتخاب بهترین جنس لوله برای شبکه‌های آب و فاضلاب با بکارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی AHP مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

۵- مراجع

۱. فرهودی، میثم، ۱۳۸۸، «مقایسه فنی و اقتصادی انواع لوله‌های مورد استفاده در شبکه جمع آوری فاضلاب و انتخاب گزینه برتر»، سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره برداری، تهران، دانشگاه صنعت آب و برق، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

2. Tabatabai Gargari, M,. 2006. Selection of Pipe for a Drinking Water Project; a Case Study. Proceedings of the International Conference on Engineering & Technology: Research-Education-Entrepreneurship, Kean University, October 19-21.

۳. پور زنگی آبادی، مهدی و غلام عباس بارانی، ۱۳۸۹، «اهمیت انتخاب نوع لوله در شبکه توزیع آب»، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، کرمان، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، انجمن مهندسی آبیاری و آب.

4. Mortezania, Sh. and Othman, F,. 2012. Cost analysis of pipes for application in sewage system. J Material &Design, volume 33, pages 356-361.

۵. مختاری، سید احمد، عالی قدری، مرتضی، حضرتی، صادق، صادقی، هادی قراری، نورالدین و قربانی، لقمان، ۱۳۸۹، «ارزیابی وضعیت خورندگی و رسوب گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخصهای Langelier و Ryznar»، نشریه سلامت و بهداشت اردبیل، دوره یکم، شماره یکم، صفحه ۱۴ ـ ۲۳.

۶. میان آبادی، حجت و افشار، عباس، ۱۳۸۷، «تصمیم گیری چند شاخصه در رتبه بندی طرحهای تأمین آب شهری»، نشریه آب و فاضلاب، دوره ۱۹، شماره ۲، صفحه ۳۴ ـ ۴۵.

7. Joubert, A., Stewart, T.J., Eberhard, R. ,2003.Evalution of water supply augmentation and water demand management options for the City of Cape Town. J Multi-Criteria Decis Anal, 12(1):17-25.

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

۵. وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، ۱۳۹۲، «ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی»، نشریه شماره ۳ ـ ۱۱۷، بازنگری اول.

۶. وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، ۱۳۹۳، «مبانی و ضوابط طراحی شبکه‌های فاضلاب و آبهای سطحی»، نشریه شماره ۴۲۵ ـ الف، بازنگری نشریه‌های ۳ ـ ۱۱۸ و ۱۶۳.

۷. ایمانی جاجرمی، حسین، ۱۳۷۹، «آشنایی با روش دلفی و کاربرد آن در تصمیم گیری»، فصلنامه مدیریت شهری، شماره ۱، جلد۱.

۸. احمدی، فضل الله، نصیریانی، خدیجه و اباذری، پروانه، ۱۳۸۷، «تکنیک دلفی: ابزاری در تحقیق»، مجله ایرانی آموزش در علوم پزشکی، ۸ (۱): ۱۸۵ ـ ۱۷۵.

۹. مشایخی، علینقی، فرهنگی، علی اکبر، مؤمنی، منصور و علیدوستی، سیروس، ۱۳۸۴، «بررسی عوامل کلیدی مؤثر بر کاربرد فناوری اطلاعات در سازمانهای دولتی ایران: کاربرد روش دلفی»، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ویژه نامه مدیریت، پاییز.

۱۰. باغبانی، سمیه، نیکجوفر علی و ضرغامی، مهدی، ۱۳۹۲، «انتخاب نوع لوله مناسب در ساخت شبکه‌های آبرسانی مناطق کم جمعیت به روش تصمیم گیری چند معیاره گروهی فازی»، اولین همایش ملی بهینه سازی مصرف آب، گرگان.