انتخاب بهینه لوله‌های مورد استفاده در شبکه جمع‌آوری فاضلاب با توجه به جنس بافت زمین و شرایط اجرا در استان یزد

احسان کامرانی*[1]، مصطفی مهدوی‌زاده[2]، بی‌بی‌سعیده تابافر[3]، میرنقی موسوی[4]

1- مدیر دفتر مطالعات و بررسی‌های فنی، معاونت بهره‌برداری و توسعه فاضلاب، شرکت آب‌وفاضلاب استان یزد، Eh.kamrani@gmail.com

2- رئیس گروه طراحی شبکه فاضلاب، معاونت بهره‌برداری و توسعه فاضلاب، شرکت آب‌وفاضلاب استان یزد.

3- مدیر دفتر توسعه مدیریت و تحقیقات، معاونت منابع انسانی و تحقیقات، شرکت آب‌وفاضلاب استان یزد.

4-شرکت دانش‌بنیان لرزه پایدار آذربایجان.

چکیده

در تحقیق حاضر با روش AHP و مطالعات گسترده و مشاهدات میدانی، اهداف، روش‌ها و معیارهای روش سلسله مراتب AHP انتخاب گردیدند. اهداف انتخاب شده شامل ۸ هدف انتخاب لوله بهینه در زمین‌های سنگی، ریزشی، معمولی، انتخاب بهینه لوله در قطر کوچک و قطر بزرگ، انتخاب بهینه لوله در صورت وجود آب زیرزمینی، انتخاب بهینه لوله در زمین‌های هموار و انتخاب بهینه لوله در شرایط وجود انبوه ریشه درختان، بود. در زمین‌های سنگی اولویت اول استفاده از لوله‌های کاروگیت و بدترین انتخاب لوله‌های سفالی و در زمین‌های معمولی لوله کاروگیت به دلیل مشخصات فنی بهتر اولویت اول بوده و آخرین اولویت در این نوع زمین‌ها، لوله‌های سفالی می‌باشد. در زمین‌های ریزشی اولویت اول استفاده از لوله‌های فولادی و آخرین اولویت لوله‌های سفالی به دلیل هزینه تأمین و آسیب‌دیدگی بالا و مشکلات اجرایی می‌باشد. در زمین هموار لوله‌های PVCدر اولویت قرار میگیرد و استفاده از لوله‌های بتنی و بتن پلیمری در اولویت آخر می‌باشد. در صورت وجود خطر نفوذ ریشه درختان، استفاده از لوله‌های PVC اولین اولویت انتخاب لوله و آخرین اولویت، لوله‌های سفالی و بتنی می‌باشد. در تراز آب زیرزمینی بالا لوله‌های GRP اولین اولویت بوده و آخرین اولویت در این شرایط استفاده از لوله‌های سفالی و بتنی می‌باشند. همچنین در صورت نیاز به استفاده از لوله با قطر کوچک، اولین اولویت استفاده از لوله‌های کاروگیتی و اولویت آخر لوله‌های بتنی و بتن پلیمری است. در لوله‌هایی با اقطار بزرگ اولین اولویت استفاده از لوله‌های GRP است. در این حالت، لوله‌های سفالی در اولویت آخر می‌باشند.

واژه‌های کلیدی فارسی: شبکه فاضلاب، انتخاب بهینه لوله، جنس زمین، AHP.

1- مقدمه

بخشی از فرآیند جهانی حفاظت از محیط‌زیست و دستیابی به توسعه پایدار به‌منظور حفاظت از منابع آب‌وخاک با استفاده بهینه از آن‌ها و انتقال و تصفیه فاضلاب شهری، روستایی و خصوصاً صنعتی تبلور می‌یابد. یکی از مهم‌ترین چالش‌های فراروی این فرآیند، استفاده از مناسب‌ترین خطوط انتقال به لحاظ فنی، تکنولوژیکی، اقتصادی و زیست‌محیطی است (Taleb Bidokhti and Vosough Rouhani, 2000).

شبکه جمع‌آوری فاضلاب شامل تأسیساتی است که در زیر زمین کارگذاری می‌شوند و فاضلاب را به طرف تصفیه‌خانه

هدایت می‌کنند. به‌طورکلی شبکه جمع‌آوری فاضلاب از فاضلاب‌رو، آدم‌رو و اتاقک‌های بازدید تشکیل شده است. فاضلاب-رو، عبارت است از لوله‌هایی که ممکن است به‌صورت ثقلی، تحت فشار و یا تحت خلأ طراحی شوند. مقایسه انواع لوله‌ها بایستی در شرایط ویژه هر پروژه انجام گرفته و مناسب بودن یا نبودن یک نوع لوله با توجه به شرایط محیطی و امکانات بهره‌برداری، ابتدا مورد بررسی قرار گیرد و سپس مناسب‌ترین گزینه به کار گرفته شود. گزینش نامناسب لوله علاوه بر اخلال در عملکرد صحیح سیستم، می‌تواند منجر به ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی شده و بار مالی هنگفتی را جهت تعمیر، جایگزینی و یا نگهداری خطوط لوله بر هزینه‌های جاری متداول، تحمیل نماید (Shirzad and Abdollahi Pourarki, 2017).

در بخش‌های قدیمی شبکه‌های فاضلاب آسیب‌های بسیاری به‌ویژه در محل اتصالات مشاهده شده، گرچه نتایج بررسی‌های انجام‌شده در بخش‌های جدید شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب نیز نشان‌دهنده آسیب‌های مختلفی است که به دلایل متفاوت بروز کرده و میزان خسارات و تبعات ناشی از آن‌ها بسیار متنوع است. ازاین‌رو مواردی از جمله سختی حلقوی لوله، خوردگی لوله و هزینه‌ها، همواره چالشی برای مهندسین در انتخاب مناسب‌ترین جنس لوله برای شبکه جمع‌آوری فاضلاب در نظر گرفته می‌شود (MortezaNia and Othman, 2012).

از عوامل مهم در انتخاب لوله‌های مورد استفاده در شبکه جمع‌آوری فاضلاب، می‌توان به مواردی از قبیل دبی عبوری، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فاضلاب اشاره کرد. درجه حرارت، رنگ و بوی فاضلاب، از جمله خصوصیات فیزیکی، و نوع مواد آلی و غیر آلی موجود در فاضلاب، درجه اسیدیته فاضلاب و گازهای محلول در آن، از جمله خصوصیات شیمیایی فاضلاب به شمار می‌آید (Diogo and Graveto, 2006).

جنس لوله و عمر مفید آن از پارامترهای مهم دیگری است که در انتخاب لوله فاضلابی نقش مهمی دارد. این دو پارامتر با توجه به نوع خاک و فاضلاب عبوری تغییر می‌کند. مقاومت لوله در برابر زلزله، هزینه کارگذاری و نگهداری لوله، سرعت کارگذاری لوله، مقاومت لوله در برابر خوردگی، سهولت حمل‌ونقل لوله، مقاومت لوله در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی از پارامترهای مهم دیگر در تعیین لوله مناسب جهت استفاده در شبکه جمع‌آوری فاضلاب محسوب می‌شوند. از اوایل قرن بیستم تلاش‌های بسیاری در راستای تدوین استانداردها و راهنماهای مورد نیاز در زمینه‌های مختلف طراحی، اجرا و بهره‌برداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب انجام پذیرفته است. همچنین تحقیقات زیادی جهت تکمیل و توسعه استفاده از مصالح، تأسیسات و روش‌های نوین جهت بهینه‌سازی فعالیت‌های مزبور به عمل آمده است. این امر در طول زمان باعث تنوع بسیار در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب از لحاظ نوع مصالح و لوله‌های موجود، اتصالات، بسترسازی لوله‌ها، اصول طراحی و روش‌های زهکشی گردیده است (Swamee and Sharma, 2013).

تاکنون انواع مختلفی از لوله با جنس و ویژگی‌های مختلف در شبکه جمع‌آوری فاضلاب به کار گرفته شده است. از جمله این لوله‌ها می‌توان به لوله‌های پلی‌اتیلن دوجداره کاروگیت، لوله‌های پلی‌اتیلن دوجداره کرتیوب‌دار، لوله-های بتن پلیمری، لوله‌های PVC، لوله‌های GRP، لوله‌های بتنی، لوله‌های فولادی، لوله‌های سفالی، لوله‌های چدن نشکن و لوله‌های آزبست سیمانی اشاره کرد. هر یک از این لوله‌ها از نظر اتصالات لوله، نحوه بسترسازی و خاک‌ریزی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و نهایتاً نوع کاربرد، با یکدیگر تفاوت‌های اساسی دارند. بنابراین با توجه به ناهمگن بودن و تنوع بافت بستر زمین در محدوده‌های مختلف جغرافیایی، انتخاب بهینه لوله مناسب با در نظر گرفتن پارامترهای متعددی که قبلاً ذکر گردید، امری ضروری به نظر می‌رسد (Nzewi, Gray and Houck, 1985).

فرآیند تحلیل سلسله مراتب (AHP)، یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند معیاره است که اولین بار توسط توماس ال. ساعتی در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی منعکس‌کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. این تکنیک، مسائل پیچیده را بر اساس آثار متقابل آن‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد و آن‌ها را به شکلی ساده

تبدیل کرده و به حل آن می‌پردازد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه و معیار تصمیم‌گیری روبروست می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌تواند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم گیرنده با فراهم ساختن درخت سلسله مراتب تصمیم‌گیری، کار تحلیل را شروع می‌کند. در سطح صفر هدف تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد و در سطح اول شاخص‌ها (معیارها) و در سطح دوم نیز گزینه‌ها جهت اولویت‌بندی قرار دارند که ممکن است با توجه به نوع مسئله تعداد سطوح معیارهای اصلی و فرعی بیشتر باشد. پس‌ازاینکه معیارهای اصلی و فرعی مشخص شدند و درخت سلسله مراتب تصمیم‌گیری ترسیم شد، بین شاخص‌ها مقایسات زوجی انجام می‌پذیرد. در مرحله بعد برای هر شاخص بین گزینه‌ها، مقایسه زوجی انجام می‌گیرد. در مطالعه حاضر با استفاده از AHP و بر اساس داده‌های میدانی و مطالعات گسترده‌ای که از پیش صورت گرفته بود، الگویی برای انتخاب بهینه لوله جهت استفاده در شبکه جمع‌آوری فاضلاب استان یزد طراحی و پیاده‌سازی شد (هاشمی فشارکی, 1392).

2– روش تحقیق

2-1-مطالعات میدانی

2-1-1-اطلاعات شبکه فاضلاب کل کشور

با توجه به اطلاعات گردآوری‌شده از شبکه فاضلاب کل استان‌های کشور، به بررسی نوع لوله‌ها و میزان کاربرد آن‌ها در شبکه فاضلاب پرداخته شد. جهت بررسی این موضوع، اطلاعات مربوط به استان‌های کشور به‌صورت گروهی بررسی گردید و در نتیجه اطلاعات سطح کشوری در ۸ ناحیه مجزا گردآوری شد. همچنین اطلاعات مربوط به لوله‌های استفاده-شده هر ناحیه و میزان کاربرد آن‌ها در سه بخش مجزای خطوط اصلی، فرعی و انتقالی جمع‌آوری گردید.

به‌منظور جمع‌بندی اطلاعات لوله‌گذاری کشور، ناحیه‌بندی سطح کشوری انجام پذیرفته است. قابل‌ذکر است که درج اطلاعات لوله‌گذاری هر استان به صورت جداگانه، به دلیل گستردگی نمودارها دید درستی در مورد اطلاعات لوله‌گذاری کشور را در اختیار نمی‌گذارد. بدین دلیل ناحیه بندی مجدد انجام پذیرفته و اطلاعات لوله‌گذاری در سطح کشور مطابق با این نوع ناحیه‌بندی، جمع‌آوری و طبقه‌بندی شد.

2-1-2- اطلاعات شبکه فاضلاب استان یزد

با در نظر گرفتن هدف این تحقیق که انتخاب لوله بهینه برای شبکه فاضلاب استان یزد بود، بررسی وضعیت لوله‌گذاری سال‌های پیشین امری ضروری و غیرقابل‌اغماض است. با کسب اطلاعات آماری از شرکت آب و فاضلاب استان یزد و مطالعات میدانی و مصاحبه با افراد خبره در این زمینه، مشکلات موجود در شبکه فاضلاب استان و همچنین پرکاربردترین لوله‌های استفاده‌شده در مهروموم‌های اخیر در ۸ شهرستان تفت، بافق، ابرکوه، اردکان، اشکذر، مهریز، میبد و یزد به همراه تفکیک خطوط اصلی، فرعی و انتقال شناسایی و اطلاعات آن جمع‌آوری گردید.

2-2- طراحی و پیاده‌سازی روش فرآیند تحلیل سلسله مراتب (AHP)

2-2-1- اهداف

مطابق با روش AHP، ضروری است تا هدف‌های در نظر گرفته شده در این بخش مشخص گردند. با توجه به مطالعات گسترده انجام گرفته و همچنین مشاهدات انجام شده در مطالعات میدانی، اهداف، روش‌ها و معیارهای روش سلسله

مراتب AHP انتخاب گردید. با توجه به مشکلات عدیده به وجود آمده در فاضلاب شهرهای بزرگ و همچنین پارامترهای مهم تأثیرگذار در انتخاب بهینه لوله، 8 هدف جهت تکمیل پرسشنامه‌ها انتخاب گردید. این اهداف شامل موارد زیر بودند: 1-انتخاب لوله بهینه در زمین‌های سنگی، 2-انتخاب لوله بهینه در زمین‌های ریزشی، 3-انتخاب لوله بهینه در زمین‌های معمولی، 4-انتخاب بهینه لوله در قطر کوچک، 5-انتخاب بهینه لوله در قطر بزرگ، 6-انتخاب بهینه لوله در صورت وجود آب زیرزمینی، 7-انتخاب بهینه لوله در زمین‌های هموار (شیب بسیار کم) و 7-انتخاب بهینه لوله در شرایط وجود انبوه ریشه درختان.

2-2-2-روش‌ها

با توجه به مطالعات گسترده انجام شده در مطالعات میدانی درباره انواع لوله‌های فاضلابی، گزینه‌های نهایی جهت ارزیابی در خطوط فاضلاب انتخاب شدند. این گزینه‌ها شامل لوله‌هایی است که امروزه از آن‌ها به‌طور گسترده استفاده می‌گردد و استفاده از آن‌ها مقرون‌به‌صرفه است. لوله‌های انتخابی عبارت‌اند از لوله‌های پلی‌اتیلن دوجداره کاروگیت، پلی‌اتیلن دوجداره کرتیوب، بتن پلیمری، GRP، PVC، بتنی، سفالی و فولادی.

2-2-3-معیارها:

با توجه به مطالعات گسترده انجام شده، همچنین انجام مطالعات و مصاحبه با کارشناسان حیطه لوله‌های فاضلابی معیارها و عوامل تأثیرگذار در انتخاب بهینه لوله انتخاب گردید. معیارهای کلی انتخابی عبارت‌اند از مشخصات فنی لوله‌ها، معیارهای اجرایی لوله‌ها، معیارهای بهره‌برداری و عوامل اقتصادی. همچنین به‌منظور بررسی دقیق‌تر، معیارهای جزئی‌تری نیز برای ذیل معیارهای کلی در نظر گرفته شد. معیارهای در نظر گرفته‌شده در شکل 1 ارائه گردیده‌اند.

شکل 1- معیارهای در نظر گرفته‌شده جهت اجرای AHP.

2-2-4- تهیه پرسش‌نامه

با توجه به اهداف، روش‌ها، و معیارهای کلی و جزئی در روش AHP، پرسش‌نامه‌هایی جهت ارسال به مسئولین و کارشناسان مطابق با جدول تهیه گردید. جامعه آماری انتخاب شده شامل نتایج حاصل از این پروژه بر اساس پاسخ کارشناسان به این پرسشنامه‌ها است.

2-2-4-1-جامعه مشارکت‌کننده در تکمیل پرسش‌نامه

به‌منظور دستیابی به نتایج جامع‌تر و دقیق‌تر در مورد انتخاب بهینه لوله فاضلابی در استان یزد، پرسش‌نامه‌های تدوین‌شده به‌صورت متوازن بین خبرگان و کارشناسان این زمینه توزیع گردید و نتایج به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه‌های تکمیل شده مورد بررسی قرار گرفت.

3– نتایج

3-1-تحلیل نتایج و ارائه راهکارها

در این بخش نتایج به‌دست‌آمده از AHP جمع‌بندی شده و اولویت‌بندی انتخاب لوله‌ها در نمودارها و به تفکیک هر هدف به‌صورت جداگانه ارائه‌شده و دلایل انتخاب بهینه لوله در هدف به‌صورت مجزا موردبحث قرار می‌گیرد. همچنین نمودارهای مربوط به اولویت‌بندی معیارهای در نظر گرفته‌شده ارائه‌شده و مهم‌ترین معیارها در انتخاب بهینه لوله‌های فاضلاب شناسایی می‌گردند.

3-2- اولویت‌بندی معیارها در هدف‌های تعریف‌شده

3-2-1-معیارهای انتخاب لوله در زمین‌های سنگی

با توجه به شکل 2 مشاهده می‌گردد که در هنگام اجرای لوله در زمین‌های سنگی معیارهای اجرایی و فنی از اولویت بالاتری برخوردارند. نصب و کارگذاری لوله در زمین‌های سنگی مشکل بوده و همچنین نیاز است تا لوله‌ها دارای مقاومت حلقوی و مقاومت ضربه‌ای بالایی باشند تا در هنگام جایگذاری دچار آسیب نگردند.

3-2-2-معیارهای انتخاب لوله در زمین‌های معمولی

با توجه به شکل 3 مشاهده می‌گردد که در هنگام اجرای لوله در زمین‌های معمولی معیار فنی دارای ارجحیت است. در زمین‌های معمولی مشکل خاصی از نظر نصب و اجرای لوله‌ها و ... وجود ندارد، در نتیجه معیار تعیین‌کننده در این نوع زمین‌ها بیشتر مربوط به مشخصات فنی و عملکرد خود لوله‌ها است.

شکل 2- معیارهای انتخاب لوله در زمین‌های سنگی.

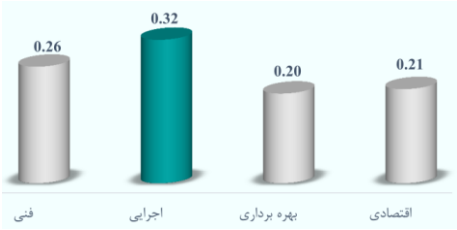
شکل 3 - معیارهای انتخاب لوله در زمین‌های معمولی.

3-2-3-معیارهای انتخاب لوله در زمین‌های ریزشی

با توجه به شکل 4 مشاهده می‌گردد که در هنگام اجرای لوله در زمین‌های ریزشی معیار اجرایی دارای برتری است. خاک موجود در زمین‌های ریزشی سست بوده و تمهیدات خاصی را در هنگام خاک‌برداری و نصب لوله‌ها می‌طلبد، به همین دلیل معیارهای اجرایی از جمله سهولت نصب و کارگذاری لوله‌ها، اهمیت بیشتری نسبت به دیگر معیارها دارد.

3-2-4-معیارهای انتخاب لوله در زمین‌های هموار با شیب کم

با توجه به شکل 5 مشاهده می‌گردد که در هنگام اجرای لوله در زمین‌های هموار با شیب کم معیار مربوط به مشخصات فنی دارای اولویت است. انتقال سیال در سیستم‌های فاضلاب به‌صورت ثقلی انجام می‌گیرد، در نتیجه عدم وجود شیب کافی می‌تواند منجر به بروز مشکلاتی از قبیل انسداد و گرفتگی لوله گردد. در صورت وجود این شرایط بهتر است لوله‌های با ضریب زبری پایین انتخاب گردند تا توانایی انتقال سیال با کمترین افت را داشته باشند.



.شکل 4 – معیارهای انتخاب لوله در زمین‌های ریزشی

شکل 5 – معیارهای انتخاب لوله در زمین‌های هموار با شیب کم.

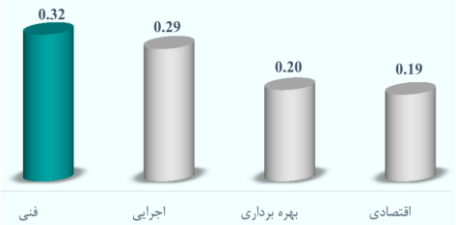
3-2-5-معیارهای انتخاب لوله در صورت وجود ریشه درختان

با توجه به شکل 6 مشاهده می‌گردد که در هنگام اجرای لوله در صورت وجود ریسک نفوذ ریشه درختان، معیار مربوط به مشخصات فنی دارای اولویت است. نفوذ ریشه درختان معمولاً از طریق اتصالات بین لوله‌ها انجام می‌پذیرد بنابراین وجود اتصالات آب‌بند و مقاوم در سیستم لوله‌کشی مطلوب است.

3-2-6-معیارهای انتخاب لوله در صورت وجود آب زیرزمینی بالا

با توجه به شکل 7 مشاهده می‌گردد که در هنگام اجرای لوله در صورت وجود آب زیرزمینی بالا، اولین معیار پراهمیت در انتخاب لوله، مشخصات فنی لوله است. در هنگام وجود آب زیرزمینی بالا انتخاب لوله‌هایی با وزن بیشتر و خوردگی کمتر مطلوب‌تر بوده و بنابراین معیار مربوط به مشخصات فنی لوله‌ها دارای اولویت بالاتری است.

شکل 6 – معیارهای انتخاب لوله در صورت وجود ریشه درختان



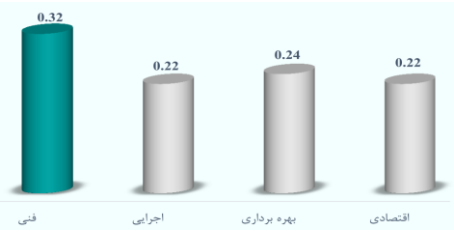
شکل 7 – معیارهای انتخاب لوله در صورت وجود آب زیرزمینی بالا.

3-2-7-معیارهای انتخاب لوله در قطر کوچک

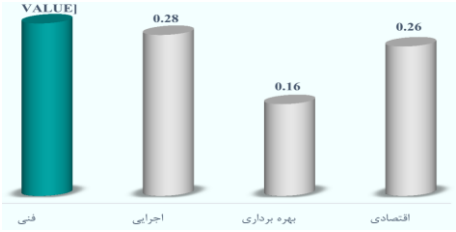
با توجه به شکل 8 مشاهده می‌گردد که در هنگام اجرای لوله در قطرهای کوچک، اولین معیار، مشخصات فنی لوله است. از عوامل تأثیرگذار بر انتخاب لوله در اقطار کوچک، عدم محدودیت در تولید لوله و توانایی لوله در انتقال سیالات است.

3-2-8-معیارهای انتخاب لوله در قطر بزرگ

با توجه به شکل 9 مشاهده می‌گردد که در هنگام اجرای لوله در قطرهای بزرگ، اولین معیار، مشخصات فنی لوله است. از عوامل تأثیرگذار بر انتخاب لوله در اقطار بزرگ، می‌توان به وجود سختی حلقوی کافی، وزن لوله و ... اشاره کرد که بیشتر به مشخصات فنی لوله مربوط می‌باشند. دومین معیار بااهمیت، معیارهای اجرایی است زیرا نصب و کارگذاری لوله‌ها در اقطار بزرگ مشکل می‌باشد.



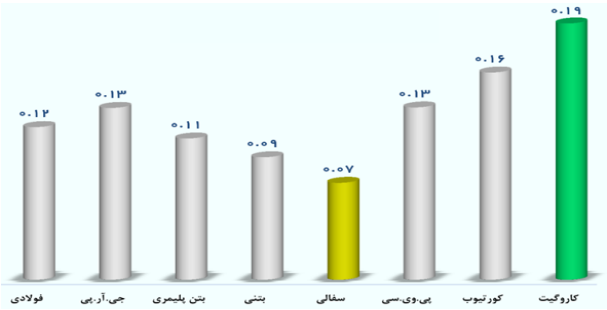
شکل 8 – معیارهای انتخاب لوله در قطر کوچک.



شکل 9 – معیارهای انتخاب لوله در قطر بزرگ.

3-3-هدف اول: انتخاب بهینه لوله فاضلابی در زمین‌های سنگی

مطابق با ضوابط نشریه ۳۰۳، زمین سنگی به زمینی اطلاق می‌شود که برای کندن و یا استخراج آن، مصرف مواد سوزا و منفجره ضروری باشد و یا استفاده از ماشین‌آلات سنگین (مانند بولدوزر با قدرت بیش از ۳۰۰ قوه اسب) الزامی باشد. در انتخاب نوع لوله در زمین‌های سنگی باید در نظر داشت تا لوله‌ای انتخاب گردد که توانایی بالایی در انتقال دبی طراحی در قطرهای پایین را دارا باشد زیرا هر چه قطر لوله افزایش یابد، نیاز به حجم بالایی از خاک‌برداری و بسترسازی خواهد بود و این کار موجب افزایش هزینه‌ها می‌گردد. همچنین با توجه به ممنوعیت اجرای لوله‌های پلاستیکی در بستر صلب بایستی بسترسازی مناسبی برای این نوع لوله‌ها انجام گیرد. شکل 10 نتیجه کلی AHP در انتخاب لوله در زمین سنگی ارائه شده است. مطابق با این شکل مشاهده می‌گردد که در این‌گونه زمین‌ها اولویت اول استفاده از لوله‌های کاروگیتی می‌باشد. از دلایل انتخاب این نوع لوله‌ها سبک بودن آن‌ها و راحتی در نصب و جایگذاری می‌باشد. همچنین در صورت عدم دسترسی به این نوع لوله‌ها، لوله‌های کورتیوب، GRP و PVC می‌توانند به‌عنوان اولویت‌های دوم و سوم بکار روند. لوله‌های فولادی در اولویت چهارم و لوله‌های بتن پلیمری در اولویت پنجم می‌باشند. بدترین انتخاب در این حالت استفاده از لوله‌های سفالی به دلیل شکننده بودن آن‌ها می‌باشد.



شکل 10 – انتخاب بهینه لوله فاضلابی در زمین‌های سنگی.

3-4-هدف دوم: انتخاب بهینه لوله فاضلابی در زمین‌های معمولی

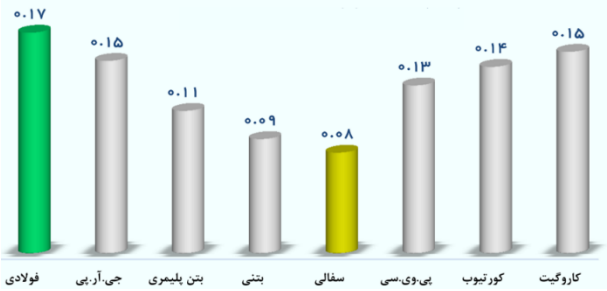
به زمین‌های خارج از تعاریف زمین سنگی و زمین ریزشی، زمین معمولی اطلاق می‌شود. مطابق با نتایج جمع‌بندی شده در شکل 11 مشاهده می‌شود که لوله‌های کاروگیتی مشخصات فنی بهتری نسبت به دیگر لوله‌ها دارند. همچنین پروسه اجرا و کارگذاری این نوع لوله‌ها به دلیل وزن سبک آن‌ها راحت‌تر بوده و ازنقطه‌نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه می‌باشند. بدین جهت امروزه در بیشتر پروژه‌های فاضلابی از این نوع لوله‌ها استفاده می‌گردد. در صورت عدم دسترسی به لوله‌های کاروگیتی می‌توان از لوله‌های کورتیوب استفاده کرد. این نوع لوله‌ها همان مزیت‌های موجود در لوله‌های کاروگیتی را دارا هستند و از نظر خوردگی و مقاومت در برابر اشعه ماوراءبنفش نسبت به لوله‌های کاروگیتی برتری دارند ولی از نظر اقتصادی، هزینه تأمین این گونه لوله‌ها بالاتر از لوله‌های کاروگیتی بوده و به همین دلیل در رتبه دوم قرار می‌گیرند. لوله‌های PVC و لوله‌های GRP به ترتیب در رتبه‌های سوم و چهارم قرار می‌گیرند. لوله‌های PVC در رده لوله‌های

پلاستیکی قرار دارند و رفتاری مشابه با لوله‌های کاروگیتی و کورتیوب دارند، همچنین لوله‌های GRP نیز عملکرد خوبی از خود نشان داده‌اند و می‌توانند به‌عنوان جایگزین لوله‌های پلاستیکی مورد استفاده قرار گیرند. آخرین اولویت انتخاب لوله در این نوع زمین‌ها لوله‌های سفالی می‌باشد. لوله‌های سفالی بسیار شکننده بوده و احتمال آسیب‌دیدگی آن‌ها در هنگام عملیات اجرایی بسیار بالاست. از طرفی این نوع لوله‌ها دارای هزینه تأمین بالا می‌باشند بنابراین از نظر صاحب‌نظران و کارشناسان استفاده از این نوع لوله‌ها در اولویت آخر می‌باشد.

شکل 11 - انتخاب بهینه لوله فاضلابی در زمین‌های معمولی.

3-5-هدف سوم: انتخاب بهینه لوله فاضلابی در زمین‌های ریزشی

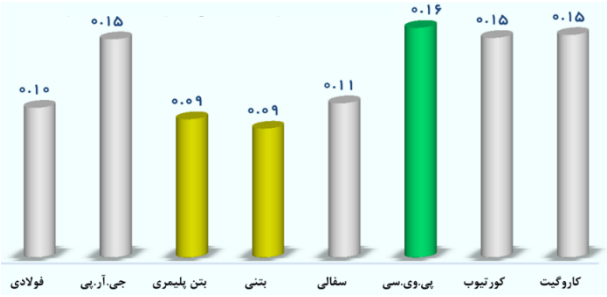
مطابق با ضوابط نشریه ۳۰۳، زمین ریزشی به زمینی اطلاق می‌شود که کندن آن طبق نقشه، به علت ریزش خاک اطراف ترانشه یا گود، به‌آسانی مقدور نبوده و برای کندن آن، تمهیدات خاصی مانند چوب‌بست یا سپرکوبی موردنیاز باشد و یا ترانشه با چنان شیب مناسبی کنده شود که از ریزش کلی خاک ممانعت شود. اجرای لوله‌های فاضلابی در زمین‌های ریزشی، یکی از دغدغه‌های اصلی اجرایی بوده و عملیات تثبیت خاک را الزامی می‌کند. سستی بیش‌ازحد خاک در منطقه ممکن است باعث متوقف شدن عملیات اجرای لوله‌های شبکه فاضلاب شود در نتیجه مهم است تا در انتخاب لوله بهینه بدین نکته توجه گردد تا لوله انتخابی دارای سهولت و سرعت بالای کارگذاری و نیز دارای سختی حلقوی کافی برای تحمل تنش‌های وارد شده از طرف خاک ریزشی باشد. مطابق با شکل 12 مشاهده می‌شود که بهتر است در این نوع زمین‌ها انتخاب اول استفاده از لوله‌های فولادی باشد. لوله‌های فولادی دارای سختی حلقوی بالایی بوده و در نتیجه می‌توانند به‌راحتی در برابر تنش‌های عمودی مقاومت کنند. در صورت عدم دسترسی به این لوله یا تشخیص مشاور می‌توان از لوله‌های GRP و کاروگیتی استفاده کرد. نصب و اجرای این‌گونه لوله‌ها راحت‌تر و سریع‌تر انجام می‌پذیرد بنابراین می‌توان آن‌ها را اولویت دوم و جایگزینی برای لوله‌های فولادی در نظر گرفت. اولویت سوم لوله‌های کورتیوب دار می‌باشند که دارای رفتار مشابه با لوله‌های کاروگیتی هستند و به دلیل هزینه نسبتاً بالای آن‌ها در رده سوم قرار می‌گیرند. پس از لوله‌های کورتیوب، لوله‌های PVC، بتن پلیمری و بتنی به ترتیب در اولویت چهارم و پنج و ششم قرار می‌گیرند. آخرین اولویت استفاده از لوله‌های سفالی به دلیل هزینه تأمین و آسیب‌دیدگی بالا و مشکلات اجرایی است.



شکل 12 - انتخاب بهینه لوله فاضلابی در زمین‌های ریزشی.

3-6-هدف چهارم: انتخاب بهینه لوله فاضلابی در زمین‌های هموار با شیب کم

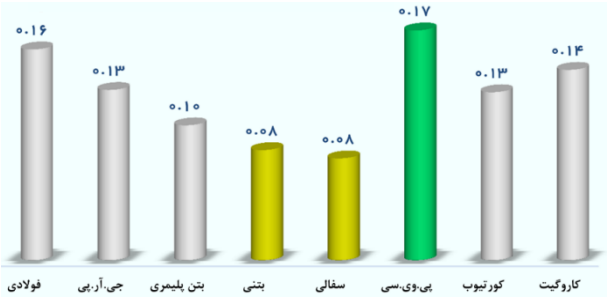
زمین‌های هموار با شیب کم و یا زمین‌های دارای شیب زیاد سبب افزایش هزینه‌ها در بحث اجرا و نگهداری لوله‌ها می‌شود. با توجه به ثقلی بودن اکثر خطوط فاضلاب در کشور ایران انتخاب شیب زمین جهت عبور جریان فاضلاب با سرعت مناسب ضروری می‌باشد. در زمین‌های هموار با شیب کم معمولاً هزینه حفاری جهت اجرای شیب مناسب جهت عبور فاضلاب بسیار زیاد است. همچنین بحث اجرا و فراهم ساختن این شیب دشوار می‌باشد و در نتیجه انتخاب لوله با ضریب هیدرولیکی پایین راه‌حل مناسبی برای حل این مشکل می‌باشد. مطابق با ضوابط نشریه ۳۰۳ مناطق با شیب بیش از 0.006 جزو مناطق با شیب تند و مناطق با شیب کمتر از 0.002 جزو مناطق با شیب کم به‌حساب می‌آیند. مطابق با شکل 13 می‌توان مشاهده کرد که در صورت وجود زمین هموار با شیب کم بهتر است استفاده از لوله‌های PVC در اولویت قرار گیرد. لوله‌های PVC دارای ضریب زبری بسیار پایین هستند که این ضریب حتی پایین‌تر از لوله‌های کاروگیتی است و در نتیجه توانایی انتقال سیال بدون افت انرژی زیاد را دارند. در صورت عدم دسترسی به لوله‌های PVC می‌توان از لوله‌های کاروگیتی، کورتیوب و GRP استفاده کرد. لوله‌های کاروگیتی و کورتیوب جزو لوله‌های پلاستیکی بوده و دارای ضریب زبری بسیار پایین هستند. همچنین لوله‌های GRP نیز دارای سطح صاف و ضریب زبری پایین می‌باشند. لوله‌های سفالی در اولویت سوم می‌باشند. لوله‌های سفالی دارای ضریب زبری بسیار پایین هستند ولی به دلیل مشکلات اجرایی آن‌ها و همچنین گران‌قیمت بودنشان بعد از لوله‌های پلاستیکی و GRP قرار می‌گیرند. در این شرایط استفاده از لوله‌های بتنی و بتن پلیمری در اولویت آخر می‌باشند زیرا لوله‌های بتنی دارای ضریب زبری بالایی می‌باشند و در نتیجه در شیب‌های کم کارایی قابل قبولی ندارند.



شکل 13 - انتخاب بهینه لوله فاضلابی در زمین‌های هموار با شیب کم.

3-7-هدف پنجم: انتخاب بهینه لوله فاضلابی در صورت وجود ریشه درختان

با بررسی گزارش‌ها، فیلم‌ها و تصاویر حاصل از ویدئومتری لوله‌های شهرهای مختلف مشاهده می‌شود یکی از اساسی‌ترین علت‌های مسدود شدن خطوط فاضلاب و خرابی آن‌ها نفوذ ریشه درختان داخل لوله می‌باشد. وجود درختان باریشه‌های بلند و گسترده هم اجرا و بهره‌برداری لوله‌های فاضلابی را دچار مشکل می‌سازد. علت اصلی نفوذ ریشه‌ها در داخل لوله عدم آب‌بندی مناسب در محل اتصالات و انشعابات می‌باشد. با بررسی نتایج حاصل از AHP در شکل 14 مشاهده می‌شود که در این حالت استفاده از لوله‌های PVC اولین اولویت انتخاب لوله می‌باشد. دلیل این انتخاب اتصالات مقاوم‌تر لوله‌های PVC نسبت به سایر لوله‌ها است. اولویت دوم لوله‌های فولادی و اولویت سوم و چهارم به ترتیب لوله‌های کاروگیت و کورتیوب و GRP می‌باشند. آخرین اولویت در انتخاب لوله در صورت وجود خطر نفوذ ریشه درختان، استفاده از لوله‌های سفالی و بتنی می‌باشد. لازم به ذکر است که لوله‌های بتنی در طول‌های کوتاه تولید می‌شوند و بدین دلیل دارای اتصالات بیشتری بوده و وجود تعداد بیشتری از اتصالات، خطر نفوذ ریشه درختان را افزایش می‌دهد.



شکل 14 - انتخاب بهینه لوله فاضلابی در صورت وجود ریشه درختان.

3-8-هدف ششم: انتخاب بهینه لوله فاضلابی در صورت وجود آب زیرزمینی بالا

یکی از مشکلات به وجود آمده در بحث اجرا و کارگذاری لوله‌های فاضلابی در شهرهای مختلف، آب زیرزمینی بالا و نزدیک بودن آن‌ها به سطح زمین می‌باشد. در مکان‌هایی که آب زیرزمینی بالا است استفاده از لوله‌های سبک باعث بالا آمدن لوله‌ها و شناور ماندن آن‌ها و درنتیجه موجب خرابی و شکست می‌شود. همچنین در شرایط وجود آب زیرزمینی بالا، انجام عملیات جوشکاری در برخی از لوله‌ها بسیار دشوار می‌گردد. این امر سبب شده است که در محل‌های با آب زیرزمینی بالا تا حد ممکن عمق حفاری جهت اجرای لوله‌ها را کاهش دهند و یا از بسترسازی با مواد با چگالی بیشتر از آب جهت رفع مشکل شناور ماندن لوله بر روی آب استفاده کنند. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از AHP در شکل 15 می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از لوله‌های GRP در این مورد بایستی اولین اولویت در نظر گرفته شوند. وزن مخصوص لوله‌های GRP بیشتر از آب بوده و بدین دلیل این لوله‌ها شناور نمی‌شوند. از طرف دیگر این نوع لوله‌ها در برابر خوردگی مقاوم بوده و در نتیجه می‌توانند بهترین انتخاب در صورت وجود آب زیرزمینی بالا باشند. انتخاب دوم لوله‌های PVC و کاروگیت می‌باشند. این لوله‌ها دارای عملکرد خوبی بوده و امروزه به‌صورت گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرند در نتیجه می‌توان در صورت عدم دسترسی به لوله‌های GRP و کارگذاری این نوع لوله‌ها با رعایت ضوابط مشخص، از این نوع لوله‌ها استفاده کرد. در انتخاب سوم و چهارم به ترتیب لوله‌های بتن پلیمری و لوله‌های کور تیوب قرار دارند. آخرین انتخاب در این شرایط استفاده از لوله‌های سفالی و بتنی به دلیل خوردگی بتن توسط آب‌های زیرزمینی می‌باشند.

شکل 15 - انتخاب بهینه لوله فاضلابی در صورت وجود آب زیرزمینی بالا.

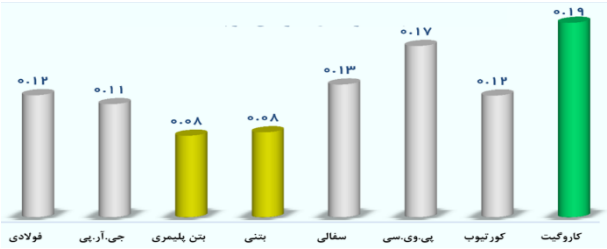
3-9-هدف هفتم: انتخاب بهینه لوله فاضلابی در صورت استفاده از لوله با قطرهای کوچک

لوله‌های با قطر کوچک معمولاً در انشعاب گیری و یا در مکان‌های با تراکم جمعیت کم و خیابان‌های فرعی استفاده می‌شود و گاهی احتیاج به حفاری دستی دارند. از طرفی با کاهش قطر لوله، هزینه‌های تأمین لوله و خاک‌برداری مسیر کاهش می‌یابد. معمولاً در قطرهای پایین لوله‌های پلاستیکی نسبت به سایر لوله‌ها مقرون‌به‌صرفه تر می‌باشد. بحث زبری لوله از دیگر پارامترهای تأثیرگذار در اقطار پایین می‌باشد. ضریب زبری کم لوله انتقال فاضلاب را تسهیل می‌بخشد و این

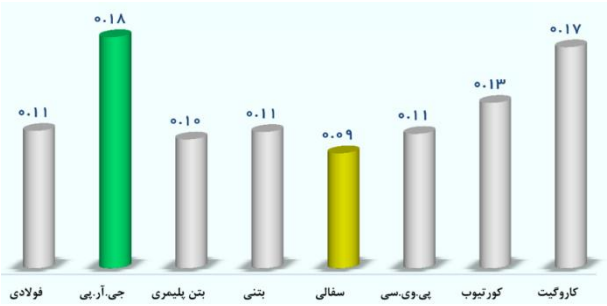
امر سبب کاهش قطر لوله و به تبع آن سبب کاهش هزینه‌ها می‌گردد. مطابق با شکل 16 مشاهده می‌گردد که اولین اولویت در این حالت استفاده از لوله‌های کاروگیتی است. دلیل این انتخاب ضریب زبری پایین این نوع لوله و عملکرد خوب و مقرون‌به‌صرفه بودن آن می‌باشد. لوله‌های PVC در رتبه دوم قرار دارند و می‌توانند جایگزین لوله‌های کاروگیتی گردند. سومین اولویت انتخاب لوله‌های سفالی است. لوله‌های سفالی دارای ضریب زبری پایین و حتی پایین‌تر از لوله‌های کاروگیتی و PVC هستند ولی بنا به دلایل گران‌قیمت بودن و احتمال آسیب‌دیدگی بالا بعد از لوله‌های کاروگیتی و PVC قرار می‌گیرند. لوله‌های فولادی و کورتیوب در اولویت چهارم می‌باشند. دلیل قرار گرفتن لوله‌های کورتیوب در رده چهارم گران‌قیمت بودن آن‌ها و تولید محدود در قطر کوچک است. اولویت پنجم استفاده از لوله‌های GRP است. استفاده از لوله‌های GRP در قطرهای بزرگ مقرون‌به‌صرفه است ولی استفاده از این لوله‌ها در اقطار کوچک توجیه اقتصادی ندارد. آخرین انتخاب لوله‌های بتنی و بتن پلیمری می‌باشند.

3-10-هدف هشتم: انتخاب بهینه لوله فاضلابی در صورت استفاده از لوله با قطر بزرگ

انتخاب بهینه لوله در قطرهای بزرگ یکی از مهم‌ترین مسائل است. این نوع لوله‌ها بیشتر در خطوط انتقال فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد و نقش مهمی در جمع‌آوری شبکه جمع‌آوری فاضلاب دارد و باید مقاومت خوبی را دارا باشند و اجرای آن‌ها باید به صورت دقیق صورت گیرد زیرا که خرابی در این لوله‌ها باعث مختل شدن کل شبکه خواهد شد. همچنین اجرای لوله‌ها در اقطار بزرگ در مسیرهای طولانی انجام می‌پذیرد و نیازمند دسترسی بالا می‌باشد. مطابق با شکل 17 مشاهده می‌شود که در صورت نیاز به استفاده از لوله‌هایی با اقطار بزرگ اولین اولویت استفاده از لوله‌های GRP است. لوله‌های GRP در اقطار بزرگ بسیار مقرون‌به‌صرفه بوده و عملکرد خوبی دارند. در صورت عدم دسترسی به لوله‌های GRP می‌توان از لوله‌های کاروگیتی به‌عنوان جایگزین استفاده نمود. لوله‌های کاروگیتی دارای مزیت‌های فراوانی بوده و در سالیان اخیر عملکرد خوبی از خود نشان داده‌اند. بعد از لوله‌های کاروگیتی، لوله‌های کورتیوب در رتبه سوم قرار می‌گیرند. رفتار و مشخصات لوله‌های کور تیوب همانند لوله‌های کاروگیت و حتی بهتر از آن است ولی به دلیل هزینه تأمین بالا در رتبه سوم قرارگرفته‌اند. لوله‌های بتنی، فولادی و PVC در رتبه چهارم قرار دارند زیرا این نوع لوله‌ها بیشتر در اقطار کوچک تولید می‌شوند. لوله‌های سفالی در اولویت آخر می‌باشند زیرا علاوه بر تولید محدود این نوع لوله در اقطار بزرگ، احتمال آسیب‌دیدگی بالایی در هنگام نصب و اجرا دارند.



شکل 16 - انتخاب بهینه لوله فاضلابی در صورت استفاده از لوله با قطرهای کوچک.



شکل 17 - انتخاب بهینه لوله فاضلابی در صورت استفاده از لوله با قطر بزرگ.

4–نتیجه‌گیری

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده عوامل مختلفی از قبیل معیارهای اجرایی، فنی، اقتصادی و معیارهای بهره‌برداری بر انتخاب لوله بهینه در انواع شرایط تأثیرگذار هستند بدین‌صورت که در زمین‌های سنگی ، معیار اجرایی و فنی، در زمین معمولی معیار فنی و در زمین ریزشی معیار اجرایی از جمله مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار در تصمیم‌گیری می‌باشند. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از روش AHP نشان داد که در زمین‌های سنگی، بهترین لوله از نوع کاروگیتی است زیرا نصب و جایگذاری این نوع لوله بسیار سهل‌تر از سایر لوله‌هاست. در زمین‌های معمولی نیز بهترین نوع لوله، لوله کاروگیتی شناسایی شد که این مورد به‌وضوح و با افزایش روز افزورن استفاده از این نوع لوله‌ها مشاهده می‌گردد. در زمین‌های ریزشی اولویت اول استفاده از لوله‌های فولادی می‌باشد. لوله‌های فولادی دارای سختی حلقوی بالایی بوده و به‌خوبی می‌توانند در برابر فشار ناشی از خاک مقاومت کنند. در زمین‌های هموار با شیب کم بهترین گزینه انتخاب لوله‌های PVC می‌باشد. دلیل این انتخاب ضریب زبری پایین لوله‌هاست که دارای ضریب زبری پایین و حتی پایین‌تر از لوله‌های کاروگیتی می‌باشند. در صورت وجود تراز آب زیرزمینی بالا بهتر است اولویت اول استفاده از لوله‌های GRP باشد. این نوع لوله‌ها دارای وزن بیشتری نسبت به لوله‌های کاروگیتی می‌باشند و از طرفی در برابر خوردگی نیز مقاوم می‌باشند. در صورت لزوم استفاده از لوله‌های با قطر کوچک بهتر است از لوله‌های کاروگیتی استفاده گردد و در صورت لزوم استفاده از لوله‌هایی با قطر بزرگ اولویت اول استفاده از لوله‌های GRP می‌باشد. استفاده از لوله‌های GRP در اقطار بزرگ بسیار مقرون‌به‌صرفه بوده و هزینه تأمین این لوله‌ها کمتر از سایر لوله‌ها می‌باشد.

6– منابع

Diogo, A. F. and Graveto, V. M. (2006) ‘Optimal layout of sewer systems: A deterministic versus a stochastic model’, *Journal of Hydraulic Engineering*. American Society of Civil Engineers, 132(9), pp. 927–943.

MortezaNia, S. and Othman, F. (2012) ‘Cost analysis of pipes for application in sewage systems’, *Materials & Design*. Elsevier, 33, pp. 356–361.

Nzewi, E. U., Gray, D. D. and Houck, M. H. (1985) ‘Optimal design program for gravity sanitary sewers’, *Civil Engineering Systems*. Taylor & Francis Group, 2(3), pp. 132–141.

Shirzad, A. and Abdollahi Pourarki, A. (2017) ‘Optimal design of urban sewer networks underlining the execution aspects (case study: sewer network of urmia city) (technical note)’, *IRAN-WATER RESOURCES RESEARCH*, 13(2 #R00127), pp. 215–220.

Swamee, P. K. and Sharma, A. K. (2013) 'Optimal design of a sewer line using linear programming', *Applied Mathematical Modelling*. Elsevier, 37(6), pp. 4430–4439.

Taleb Bidokhti, N. and Vosough Rouhani, R. (2000) 'Optimum design of sewer collection networks', *esteghlal*, 19(1), pp. 199–208.

هاشمی فشارکی, س. م. (1392) 'انتخاب بهترین جنس لوله جهت توسعه ی شبکه جمع آوری فاضلاب با بهره گیری از روش مقایسات زوجی AHP (مطالعه موردی: شهرکرد)', *فصلنامه انجمن علمی پدافند غیر عامل ایران*, 1(3).

Optimal selection of pipes used in the sewage collection network according to the soil texture and implementation conditions in Yazd province, Iran.

Ehsan Kamrani*[1], Mostafa Mahdavizadeh[2], Bibi Saeideh Tabafar[3], Mir Naghi Mousavi[4]

1- Director of Technical Studies Office, Deputy of Wastewater Operation and Development, Yazd Province Water and Sewerage Company, Eh.kamrani@gmail.com.
2- Head of Sewerage Network Design Group, Deputy of Wastewater Operation and Development, Yazd Province Water and Sewerage Company.
3- Director of Management Development and Research Office, Deputy of Human Resources and Research, Yazd Province Water and Sewerage Company.
4- Larzeh Paydar Azarbayejan Co.

Abstract

In the present study, according to the AHP method, and considering the extensive studies and the observations made in field studies, the aims methods and criteria of the AHP hierarchy were selected. The selected objectives consisted of 8 objectives including optimum pipe selection in rock field areas, losse areas and ordinary lands; optimal pipe selection for small and large diameter, optimal pipe selection in high ground water levels, optimal pipe selection in plane areas (low slope) and optimal selection of pipes for the areas with dense roots of vegitation. Based on the results, it was found that the first priority in the rock field areas is to use carogated pipes. In ordinary fields, the carogated pipe is the first priority due to its better technical characteristics than the other pipes. In loose grounds it is observed that steel pipes should be the first priority and the last priority is the use of clay pipes due to high cost and high damage and operating problems. PVC pipes should be a top priority if there is a plane slope. If there is a risk of tree root penetration, PVC pipes are the first priority of pipe selection and the last priority is to use clay and concrete pipes. In case of high groundwater level, the use of GRP pipes is the first. Also, if there is need for using small diameter pipes, the first priority is using carogated pipes and the last priority is the use of concrete and polymer concrete pipes.

Keywords : Sewage network, Optimal Pipe Selection, Soil Type, AHP.