

1308P-NWWCE

WDSR: یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره

برای بازسازی شبکه‌های توزیع آب

ستار صالحی^۱، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده^۲، مسعود تابش^۳

۱- کاندیدای دریافت درجه دکتری در مهندسی عمران، عضو هیأت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد

علوم و تحقیقات

۲- استادیار پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی

۳- استاد دانشکده مهندسی عمران و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، پردیس

دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

Sattar.salehi61@yahoo.com

خلاصه

هدف از این تحقیق شرح توسعه یک مدل تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره Fuzzy TOPSIS برای برنامه‌ریزی فعالیت‌های بازسازی شبکه‌های توزیع آب بوده که به صورت یک مدل جدید تحت عنوان WDSR (Water Distribution Systems Rehabilitation) طرح‌ریزی شده است. از مشخصات اصلی این مدل می‌توان به قابلیت تحلیل هم‌زمان معیارهای گسترده نامتجانس و مؤثر در امر بازسازی شبکه‌های توزیع آب و همچنین امکان تطبیق این معیارها با شرایط منطقه مورد مطالعه اشاره نمود. در این مقاله با استفاده از مدل Fuzzy TOPSIS توسعه داده شده در قالب نرم‌افزار WDSR، عملیات بازسازی یک شبکه توزیع آب دو حلقه‌ای تحت استاندارد پیش‌فرض مدل و استاندارد مطابق با شرایط مسئله اولویت‌بندی شده و نتایج آن با هم مقایسه می‌گردد. نتایج حاصله بیانگر قابلیت‌های این مدل و دقت آن در طرح‌ریزی بازسازی شبکه‌های توزیع آب می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبکه‌های توزیع آب؛ بازسازی؛ مدل تصمیم‌گیری؛ Fuzzy Topsis؛ WDSR

۱. مقدمه

شبکه‌های توزیع آب همواره مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین شریان حیاتی و زیرساخت شهری محسوب گردیده [۱]، که علاوه بر سلامت بهداشت یک جامعه [۲، ۱]، می‌تواند بر ساختار اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جوامع نیز تأثیر بسزایی داشته باشد [۳]. بر این مبنا یکی از فعالیت‌های مهم در حوزه آبرسانی شهری، بازسازی نظام‌مند و منسجم تأسیسات مرتبط می‌باشد؛ به طوری که این فعالیت‌ها منجر به بهبود عملیات آبرسانی گردد [۴]. لذا همواره چگونگی برنامه‌ریزی کارآمد طرح‌های بازسازی شبکه‌های توزیع آب مورد توجه خاص پژوهشگران فعال در این حوزه بوده و پیشینه آن به دو دهه قبل باز می‌گردد [۵]. در این راستا تحقیقات صورت گرفته در حوزه بازسازی شبکه‌های توزیع آب موضوع مورد تحقیق را از زوایای مختلفی مورد بحث و بررسی قرار داده، و غالباً در هر یک از این مطالعات از انواع مختلفی از مدل‌های ریاضی همچون مدل‌های آماری، بهینه‌سازی، فراابتکاری، فازی و تصمیم‌گیری بهره گرفته، و جهت تعیین بهینه‌ترین مسیر فعالیت‌های بازسازی شبکه‌های توزیع آب، قالب‌هایی ترکیبی (یا انحصاری) از این مدل‌ها را متناسب با متغیرهای خاص شبکه‌های توزیع توسعه می‌دهند. از آن جمله می‌توان به مدل‌هایی همچون مدل PRAWDS [۷]، UtilNets [۸]، PARMS-PLANNIG [۹]، WilCo [۱۰]، D-WARP [۱۱]، CARE-W [۱۲] اشاره نمود، که در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵ توسعه یافتند [۱۳، ۵]. در دهه اخیر (۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵) نیز علیرغم توسعه مدل‌های مستقلی همچون PiRem [۱۴] و Aware-P [۱۵]، غالب مدل‌های توسعه یافته عمدتاً مدل‌های تکمیل شده سال‌های پیشین بوده، که از آن جمله می‌توان به مدل‌هایی همچون مدل PARMS- PRIORITY (تکمیل شده مدل PARMS-PLANNIG) [۱۳]، SIROCO (برگرفته از مدل CARE-W [۱۶] و I-WARP (تکمیل شده مدل D-WARP [۱۷] اشاره نمود.

مدل مورد مطالعه در این تحقیق برای برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی لوله‌ها جهت اجرای طرح‌های بازسازی شبکه‌های توزیع آب توسعه یافته است. این مدل یک مدل تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره بوده، که بر پایه مدل‌های تصمیم‌گیری چند متغیره (MADM)^۱ تولید شده و در هسته تحلیل گر آن از مدل Fuzzy TOPSIS^۲ به عنوان یکی از قوی‌ترین مدل‌های تصمیم‌گیری استفاده شده است. مدل مورد تحقیق به صورت یک نرم‌افزار گرافیکی کاربردی تحت عنوان WDSR (که مخفف عبارت Water Distribution System Rehabilitation است) طرح‌ریزی شده است. معیارهای مورد توجه در این مدل بر پایه کلیه عوامل مؤثر و دخیل در طرح‌های اصلاح و بازسازی شبکه‌های توزیع آب اعم از عوامل فنی همچون متغیرهای کمی و کیفی شبکه‌های توزیع آب و همچنین عوامل غیر فنی همچون متغیرهای محیطی، جمعیتی و امنیتی بوده، که عموماً غیر متجانس می‌باشند. در این تحقیق برای ارزیابی عملکرد مدل WDSR، برنامه‌ریزی عملیات بازسازی یک شبکه دو حلقه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته، که این عملیات در دو حالت پیش فرض WDSR و حالت منطبق با شرایط شبکه دو حلقه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از این تحقیق بیانگر آن است که با استفاده از مدل WDSR می‌توان برنامه‌ریزی مطلوبی از بازسازی لوله‌های شبکه نمود.

۲. متدولوژی

۲-۱. بازسازی شبکه‌های توزیع آب و معیارهای مرتبط

در این پژوهش معیارهای بازسازی شبکه‌های توزیع آب را به گونه‌ای تبیین شده، که در راستای تأمین اهداف این فعالیت‌ها یعنی بهبود شاخص‌های کمی و کیفی آبرسانی باشد. بر این اساس معیارهای مورد نظر در این تحقیق به دو دسته کلی معیارهای فنی و غیر فنی طبقه‌بندی شده، که شامل کلیه عوامل مؤثر بر شاخص‌های کمی و کیفی سیستم آبرسانی است؛ و ساختار تحلیلی مدل Fuzzy TOPSIS توسعه داده شده در این تحقیق نیز بر این مبنا پایه‌گذاری شده است. در جدول شماره ۱ این معیارها و نحوه اثرگذاری آنها بر بازسازی شبکه‌های توزیع آب شرح داده شده است.

۲-۲. اجزاء تصمیم‌گیری در بازسازی شبکه‌های توزیع آب

فرآیند "ارزیابی و مقایسه نتایج راه‌حل‌های موجود" و انتخاب قطعی یک "راه‌حل" برای رسیدن به "هدف مطلوب"، تصمیم‌گیری نامیده می‌شود [۱۸]. در طرح‌های بازسازی شبکه‌های توزیع آب، هر یک از اجزاء "تعریف تصمیم‌گیری" به صورت ذیل شرح می‌گردد:

"هدف مطلوب": هدف مطلوب در بازسازی شبکه‌های توزیع آب، بهبود شرایط کمی و کیفی سیستم آبرسانی به مشترکین می‌باشد؛

"راه‌حل": با توجه به هدف‌گذاری تعیین شده در طرح‌های بازسازی شبکه‌های توزیع آب، راه‌حل‌ها باید به گونه‌ای تعیین گردد که منتج به اهداف مورد نظر گردد. در تحقیق مورد نظر تجهیزات شبکه‌های توزیع آب و عملکرد بهینه آنها به عنوان "راه‌حل" جهت نیل به این اهداف تعیین می‌گردد. لذا با توجه به اینکه عمده‌تأ لوله‌ها به عنوان یک بخش اساسی از اجزاء تشکیل دهنده شبکه‌های توزیع آب محسوب شده و بالاترین سهم را در بهبود سیستم آبرسانی به خود اختصاص می‌دهند، در نتیجه در این تحقیق تمرکز مطالعات بر روی لوله‌ها بوده و بهبود عملکرد هر "لوله" به عنوان "یک راه‌حل" محسوب می‌گردد.

"ارزیابی راه‌حل‌های موجود": با توجه به آنکه در این تحقیق بهبود عملکرد هر "لوله" به عنوان "راه‌حل" تعیین گردیده؛ لذا لازم است جهت تعیین میزان ضرورت و اولویت هر لوله در عملیات بازسازی، وضعیت هر یک از لوله‌ها نسبت به معیارهای تعیین شده در جدول ۱ مورد "ارزیابی" قرار گیرد. برای این امر در این تحقیق یک جدول استاندارد تهیه گردیده، که شرایط هر یک از لوله‌ها با استفاده از این جدول بررسی می‌گردد (جدول ۲).

^۱ MADM: Multi Attribute Decision Making

^۲ TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

جدول ۱ - معیارهای مدل WDSR جهت بازسازی شبکه‌های توزیع آب و شرح تأثیر آنها

معیارهای فیزیکی	معیارهای شیمیایی	معیارهای زیست‌شناختی	معیارهای اجتماعی	معیارهای فیزیکی		شرح تأثیر
				مکانیکی	هیدرولیکی	
مکانیکی	مکانیکی	مکانیکی	مکانیکی	۰۱	فشار	هر چه فشار حاکم بر لوله کم و یا زیاد باشد، اهمیت آن لوله برای بازسازی بیشتر است
				۰۲	سرعت جریان	هر چه سرعت جریان در لوله کم و یا زیاد باشد، اهمیت آن لوله برای بازسازی بیشتر است
				۰۳	سن لوله	هر چه سن لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۰۴	طول لوله	هر چه لوله دارای طول بیشتری باشد، از حیث بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۰۵	قطر لوله	هر چه لوله دارای قطر کمتری باشد، از حیث بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۰۶	عمق لوله	هر چه لوله دارای عمق بیشتر و یا کمتری باشد، از حیث بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۰۷	ضریب زبری	ضریب زبری لوله متناسب با جنس آن، دارای اهمیت متفاوتی از حیث بازسازی است
				۰۸	سهولت تعمیرات	سهولت تعمیرات لوله متناسب با جنس آن، دارای اهمیت متفاوتی از حیث بازسازی است
				۰۹	عدم شناوری	عدم شناوری لوله متناسب با جنس آن، دارای اهمیت متفاوتی از حیث بازسازی است
				۱۰	مقاوم در برابر زلزله	مقاومت لوله در برابر زلزله متناسب با جنس آن، دارای اهمیت متفاوتی از حیث بازسازی است
کیفیت آب	کیفیت آب	کیفیت آب	کیفیت آب	۱۱	تعداد انشعابات	هر چه تعداد انشعابات لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۱۲	نرخ شکست	هر چه نرخ شکست لوله در طول یک سال بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۱۳	شوری آب (کل مواد جامد محلول)	هر چه شوری آب لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۱۴	سختی کل آب	هر چه سختی آب لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۱۵	طعم آب (شاخص شولر)	هر چه شاخص شولر آب لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۱۶	کدورت آب	هر چه کدورت آب لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۱۷	رنگ آب	هر چه رنگ آب لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۱۸	بوی آب	هر چه بوی آب لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۱۹	pH آب	هر چه pH آب لوله کم و یا زیاد باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۲۰	میزان کلر باقیمانده آب	هر چه کلر باقیمانده آب لوله کم و یا زیاد باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۲۱	رسوبدهی و خوردگی آب (شاخص رایزنر)	هر چه شاخص رایزنر آب لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۲۲	کیفیت کلی آب (شاخص WQI)	هر چه شاخص WQI آب لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
فیزیک خاک	فیزیک خاک	فیزیک خاک	فیزیک خاک	۲۳	خوردگی الکترولیت	هر چه مقاومت الکترولیت خاک اطراف لوله کمتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۲۴	خوردگی خاک	هر چه pH خاک اطراف لوله کمتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۲۵	پتانسیل $Redox$ خاک	هر چه پتانسیل $Redox$ خاک اطراف لوله کمتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۲۶	سولفات خاک	هر چه سولفات خاک اطراف لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۲۷	نوع خاک و بار وارد بر لوله	هر چه خاک اطراف لوله ریزدانه تر باشد، بار وارد بر لوله بیشتر و بازسازی لوله اهمیت بالاتری دارد
				۲۸	استحکام خاک برای حفر	هر چه خاک اطراف لوله سهل الحفر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۲۹	ضریب CF کیفیت خاک	هر چه ضریب CF خاک اطراف لوله به 0.3 نزدیک باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۳۰	نوع اقلیم	هر چه اقلیم و آب و هوا مرطوبتر، امکان خوردگی لوله افزایش و از حیث بازسازی مهمتر میشود
جمعیتی	جمعیتی	جمعیتی	جمعیتی	۳۱	دمای هوا	هر چه دمای هوا کم و یا زیاد باشد، اهمیت آن لوله برای بازسازی بیشتر است
				۳۲	جمعیت تحت پوشش	هر چه جمعیت تحت پوشش لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۳۳	بافت شهری	اهمیت بافت شهری ناحیه لوله متناسب با مسکونی، تجاری و یا صنعتی بودن متفاوت است
				۳۴	کمیت مصرف	هر چه مصرف جمعیت تحت پوشش لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
امنی	امنی	امنی	امنی	۳۵	قدمت اماکن مشترکین	هر چه قدمت اماکن تحت پوشش لوله بیشتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۳۶	نوع معبر	هر چه لوله در مکانی شلوغ تر و پر ترددتر باشد، از دیدگاه بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۳۷	نوع پوشش معبر	نوع پوشش معبر لوله متناسب با شرایط آن، دارای اهمیت متفاوتی از حیث بازسازی است
				۳۸	فاصله تا مراکز مهم جمعیتی	هر چه فاصله لوله از مراکز مهم جمعیتی کمتر باشد، از حیث بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۳۹	فاصله تا شیر آلات فشارشکن	هر چه فاصله لوله از شیر فشارشکن بالادست بیشتر باشد، از حیث بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۴۰	فاصله تا شیر آلات آتش نشانی	هر چه فاصله لوله از شیر آتش نشانی کمتر باشد، از حیث بازسازی دارای اهمیت بالاتری است
				۴۱	پتانسیل تهدید هیدرولیکی	هر چه لوله دارای قطر بیشتری باشد، از حیث امنیتی دارای اهمیت بالاتر و موردنظر بازسازی است

جدول ۲ - محدوده معیارها در مدل WDSR جهت بازسازی شبکه‌های توزیع آب و مراجع مرتبط

معیار	واحد	نوع	معیار	اهمیت	بسیار کم	کم	تا حدودی کم	متوسط	تا حدودی زیاد	زیاد	بسیار زیاد	استاندارد مرتبط
معیارهای فیزیکی	هیدرولیکی	فشار (متر)	۰۱	۲۶	$\geq 30/8$	$\geq 21/2$	$\geq 40/4$	$\geq 45/2$	$\geq 50/2$	$\geq 50/2$	$\geq 50/2$	نشریه ۳-۱۱۷
			۰۲	≥ 1	$\geq 1/2$	$\geq 1/4$	$\geq 1/6$	$\geq 1/8$	≥ 2	≥ 2	≥ 2	نشریه ۳-۱۱۷
			۰۳	≥ 5	≥ 14	≥ 23	≥ 32	≥ 41	≥ 50	≥ 50	≥ 50	نشریه ۵۵۶
			۰۴	≥ 10	≥ 10	≥ 20	≥ 30	≥ 40	≥ 50	≥ 50	≥ 50	نشریه ۳۰۳
			۰۵	≥ 500	≥ 403	≥ 603	≥ 306	≥ 209	≥ 112	≥ 112	≥ 15	نشریه ۳-۱۱۷ نشریه ۳۰۳
			۰۶	۱	$\geq 1/2$	$\geq 1/4$	$\geq 1/6$	$\geq 1/8$	≥ 2	≥ 2	≥ 2	نشریه ۳-۱۱۷ نشریه ۳۰۳
مکانیکی	جنس لوله*	ضریب زبری (نوع لوله)	۰۷	GRP/ PVC	PE/AC	St	St/CI	St/CI	St/CI	St/CI	St/CI	نشریه ۳-۱۱۷
			۰۸	C	St	St	St	St	St	St	St	نشریه ۳-۱۱۷
			۰۹	C	St/CI/DI	St	St	St	St	St	St	نشریه ۳-۱۱۷
			۱۰	CI/PE/DI	St	St	St	St	St	St	St	نشریه ۳-۱۱۷
معیارهای شیمیایی	تعداد آتش‌شعاعیات (تعداد)	نرخ شکست (تعداد بر کیلومتر در سال)	۱۱	≥ 10	≥ 38	≥ 66	≥ 94	≥ 122	≥ 150	≥ 150	≥ 150	تجربی / میدانی
			۱۲	۰	≥ 1	≥ 2	≥ 3	≥ 4	≥ 5	≥ 5	≥ 5	نشریه ۳۰۳
کیفیت آب	شوری آب (کل مواد جامد محلول) (میلی گرم بر لیتر)	سختی کل آب (میلی گرم بر لیتر)	۱۳	≥ 1000	≥ 1100	≥ 1200	≥ 1300	≥ 1400	≥ 1500	≥ 1500	≥ 1500	نشریه ۳-۱۱۷ نشریه ۱۰۵۳
			۱۴	≥ 200	≥ 260	≥ 320	≥ 380	≥ 440	≥ 500	≥ 500	≥ 500	نشریه ۱۰۵۳
			۱۵	≥ 1000	≥ 1600	≥ 2200	≥ 2800	≥ 3400	≥ 4000	≥ 4000	≥ 4000	نشریه ۳-۱۱۷
			۱۶	≥ 1	$\geq 1/8$	$\geq 2/6$	$\geq 3/4$	$\geq 4/2$	≥ 5	≥ 5	≥ 5	نشریه ۱۰۵۳
			۱۷	≥ 5	≥ 7	≥ 9	≥ 11	≥ 13	≥ 15	≥ 15	≥ 15	نشریه ۱۰۵۳
			۱۸	≥ 2	$\geq 2/2$	$\geq 2/4$	$\geq 2/6$	$\geq 2/8$	≥ 3	≥ 3	≥ 3	نشریه ۱۰۵۳
			۱۹	$\geq 8/5$	$\geq 8/7$	$\geq 8/9$	$\geq 9/1$	$\geq 9/3$	$\geq 9/5$	$\geq 9/5$	$\geq 9/5$	نشریه ۱۰۵۳ نشریه ۱۱۷-۳
			۲۰	≥ 1	$\geq 1/4$	$\geq 1/3$	$\geq 1/2$	$\geq 1/2$	$\geq 1/2$	$\geq 1/2$	$\geq 1/2$	نشریه ۳-۱۱۷ نشریه ۱۰۵۳

فیزیک خاک	۲۱	رسوبدهی و خوردندگی آب (شاخص رایزنر) (ISR)	$6/8 \geq$ $6/2 \leq$	$7/14 \geq$ $6/06 \leq$	$7/48 \geq$ $5/92 \leq$	$7/82 \geq$ $5/78 \leq$	$8/16 \geq$ $5/64 \leq$	$8/5 \geq$ $5/5 \leq$	$5/5 >$ $8/5 <$	نشریه ۳- ۱۱۷
	۲۲	کیفیت کلی آب (شاخص WQI) (میلی گرم بر لیتر)	$90 <$	$90 \geq$ $77 <$	$77 \geq$ $64 <$	$64 \geq$ $51 <$	$51 \geq$ $38 <$	$38 \geq$ $25 <$	$25 \geq$	نشریه ۳- ۱۱۷
	۲۳	خوردندگی الکترولیت خاک (اهم سانسیترا)	$10000 <$	$10000 \geq$ $8200 <$	$8200 \geq$ $6400 <$	$6400 \geq$ $4600 <$	$4600 \geq$ $2800 <$	$2800 \geq$ $1000 <$	$1000 \geq$	نشریه ۳- ۱۱۷ نشریه ۳۰۳
	۲۴	خوردندگی خاک	$7/5 <$	$7/5 \geq$ $7/1 <$	$7/1 \geq$ $6/7 <$	$6/7 \geq$ $6/3 <$	$6/3 \geq$ $5/9 <$	$5/9 \geq$ $5/5 <$	$5/5 \geq$	نشریه ۳- ۱۱۷
فیزیک خاک	۲۵	پتانسیل Redox خاک (میلی ولت)	$400 <$	$400 \geq$ $340 <$	$340 \geq$ $280 <$	$280 \geq$ $220 <$	$220 \geq$ $160 <$	$160 \geq$ $100 <$	$100 \geq$	نشریه ۳- ۱۱۷
	۲۶	سولفات خاک (میلی گرم بر لیتر)	$250 \geq$	$280 \geq$ $250 <$	$310 \geq$ $280 <$	$340 \geq$ $310 <$	$370 \geq$ $340 <$	$400 \geq$ $370 <$	$400 <$	نشریه ۱۰۵۳
	۲۷	نوع خاک و بار وارد بر لوله * (نوع خاک)	IA	IB	II	III	IVA	IVB	V	نشریه ۳۰۳
	۲۸	استحکام خاک برای حفر (نوع خاک)	G		E	D	C		A	نشریه ۳- ۱۱۷ نشریه ۳۰۳
فیزیک خاک	۲۹	ضریب CF کیفیت خاک (CF)	$0/15 \geq$	$0/18 \geq$ $0/15 <$	$0/21 \geq$ $0/18 <$	$0/24 \geq$ $0/21 <$	$0/27 \geq$ $0/24 <$	$0/3 \geq$ $0/27 <$	$0/3 <$	نشریه ۳۰۳
	۳۰	نوع اقلیم (میلی متر بارش بر درجه هوا)	$10 \geq$	$19/9 \geq$ $10 <$	$23/9 \geq$ $20 <$		$27/9 \geq$ $24 <$	$34/9 \geq$ $28 <$	$35 <$	نشریه ۳- ۱۱۷ نشریه ۳۰۳
	۳۱	دمای هوا (درجه سانتی گراد)	۲۳	$28/4 \geq$ $18/4 \leq$	$33/8 \geq$ $13/8 \leq$	$39/2 \geq$ $9/2 \leq$	$44/6 \geq$ $4/6 \leq$	$50 \geq$ $0 \leq$	$0 >$ $50 <$	نشریه ۳۰۳
	۳۲	جمعیت تحت پوشش (تعداد)	$200 \geq$	$760 \geq$ $200 <$	$1320 \geq$ $760 <$	$1880 \geq$ $1320 <$	$2440 \geq$ $1880 <$	$3000 \geq$ $2440 <$	$3000 <$	تجربی / میدانی
جمعیتی	۳۳	بافت شهری (نوع بافت)	G	F	E	D	C	B	A	نشریه ۳- ۱۱۷
	۳۴	کمیت مصرف (لیتر بر ثانیه به ازای هر نفر)	$75 \geq$	$90 \geq$ $75 <$	$105 \geq$ $90 <$	$120 \geq$ $105 <$	$135 \geq$ $120 <$	$150 \geq$ $135 <$	$150 <$	نشریه ۳- ۱۱۷
	۳۵	قدمت اماکن مشترکین (سال)	$5 \geq$	$10 \geq$ $5 <$	$20 \geq$ $10 <$	$30 \geq$ $20 <$	$40 \geq$ $30 <$	$50 \geq$ $40 <$	$50 <$	تجربی / میدانی
	۳۶	نوع معبر (نوع معبر)	G	F	E	D	C	B	A	تجربی / میدانی
مکانی	۳۷	نوع پوشش معبر (نوع پوشش)	G		E	D	C		A	تجربی / میدانی
	۳۸	فاصله تا مراکز مهم جمعیتی (متر)	$1000 <$	$850 \geq$ $850 <$	$700 \geq$ $700 <$	$550 \geq$ $550 <$	$400 \geq$ $400 <$	$250 \geq$ $250 <$	$250 \geq$	تجربی / میدانی
	۳۹	فاصله تا شیرآلات فشارشکن (متر)	$250 \geq$	$400 \geq$ $250 <$	$550 \geq$ $400 <$	$700 \geq$ $550 <$	$850 \geq$ $700 <$	$1000 \geq$ $850 <$	$1000 <$	تجربی / میدانی
	۴۰	فاصله تا شیرآلات آتش نشانی (متر)	$1000 <$	$850 \geq$ $850 <$	$700 \geq$ $700 <$	$550 \geq$ $550 <$	$400 \geq$ $400 <$	$250 \geq$ $250 <$	$250 \geq$	تجربی / میدانی
امنیتی	۴۱	پتانسیل تهدید هیدرولیکی (میلی متر)	$15 \geq$	$112 \geq$ $15 <$	$209 \geq$ $112 <$	$306 \geq$ $209 <$	$403 \geq$ $306 <$	$500 \geq$ $403 <$	$500 <$	تجربی / میدانی
	* جنس لوله ها = CI: چدن سخت (فولا سخت) / DI: چدن نشکن (فولاد نرم) / St: فولاد / AC: آزیست سیمان / C: بتن / PE: پلی اتیلن / PVC: پی وی سی / GRP: جی آر پی									
	** نوع خاک = A: درشت دانه تمیز کارخانه ای / IB: درشت دانه کارخانه ای / II: درشت دانه تمیز / III: مصالح درشت به همراه ریزدانه / IVA: ریزدانه غیر آلی / IVB: ریزدانه غیر آلی (میکا، دیاتومه و رس چاق) / V: ریزدانه آلی									
	چند لوله ها = CI: چدن سخت (فولا سخت) / DI: چدن نشکن (فولاد نرم) / St: فولاد / AC: آزیست سیمان / C: بتن / PE: پلی اتیلن / PVC: پی وی سی / GRP: جی آر پی									

"مقایسه راه حل های موجود": پس از ارزیابی هر یک از "راه حل های" موجود لازم است که شرایط هر یک از این راه حل ها نسبت به یکدیگر

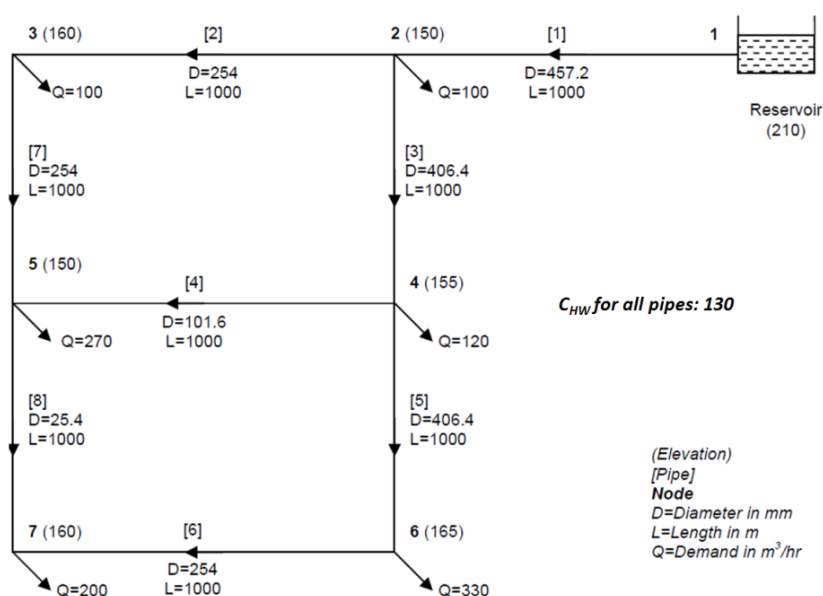
مورد مقایسه قرار گرفته و "بهترین راه حل" تعیین گردد. در این تحقیق جهت "مقایسه راه حل های موجود" شرایط هر یک از لوله ها (که با توجه به

معیارهای جدول استاندارد تعیین گردیده) با یکدیگر مقایسه شوند، و لوله‌ها به تناسب میزان اهمیت‌شان از حیث بازسازی اولویت‌بندی می‌شوند (لوله‌ای که شرایط بحرانی تری دارد در اولویت بالاتری جهت انجام عملیات بازسازی قرار می‌گیرد). در این تحقیق جهت انجام این مقایسه و تعیین اولویت‌بندی لوله‌ها (راه‌حل‌ها) از مدل تصمیم‌گیرنده گروهی چندمعیاره Fuzzy TOPSIS استفاده شده و بر این اساس نرم‌افزاری تحت عنوان WDRS مبتنی بر این مدل توسعه داده شده است.

۳. برنامه ریزی عملیات بازسازی شبکه دو حلقه‌ای با استفاده از مدل WDRS

۳-۱. شرح مسئله

برای شرح چگونگی عملکرد مدل توسعه داده شده تصمیم‌گیری Fuzzy TOPSIS برای بازسازی شبکه‌های توزیع آب، از یک شبکه دو حلقه‌ای استفاده می‌شود؛ که اولین بار در سال ۱۹۷۷ جهت معرفی روش طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب توسعه داده شد [۱۹]. سپس در سال‌های آتی توسط پژوهشگران متعددی در حوزه آبرسانی شهری مورد استفاده قرار گرفت [۲۰، ۲۱]. طرح شماتیک این شبکه دو حلقه‌ای به صورت شکل ۱ می‌باشد.



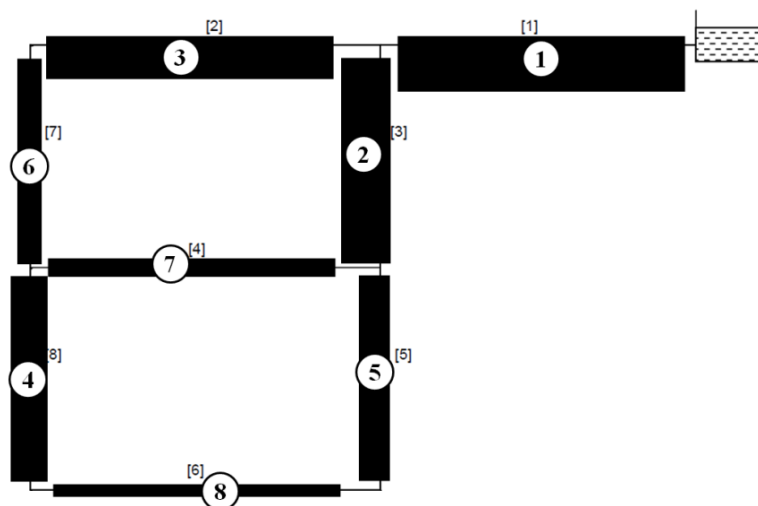
شکل ۱ - شبکه دو حلقه‌ای مورد تحقیق جهت برنامه‌ریزی بازسازی لوله‌های آن با استفاده از WDRS

۳-۲. حل مسئله با استاندارد پیش‌فرض مدل

جهت تحلیل شبکه و اولویت‌بندی لوله‌های آن برای بازسازی، لازم است که لایه استاندارد تعریف شود. به طور پیش‌فرض این لایه استاندارد براساس مقدار پیشنهاد شده توسط استانداردهای ایران تعیین شده است. لذا ابتدا این مسئله با استفاده از لایه استاندارد پیش‌فرض مدل تحلیل می‌شود. فقط لازم است که معیارهای تعیین شده در این مسئله در لایه استاندارد مشخص و دیگر معیارها به صورت غیر فعال تبدیل گردد. بر این مبنا لایه استاندارد پیش‌فرض مدل به همراه مقادیر حداکثر و حداقل آن به صورت جدول ۳ تبدیل می‌گردد. نتایج بدست آمده از این تحلیل در شکل شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۴ - لایه استاندارد مطابق با شرایط مسئله در مدل نرم افزاری WDSR برای اولویت بندی بازسازی لوله های شبکه دو حلقه ای

معیارها	معیارهای فنی	معیارهای اقتصادی	معیارهای اجتماعی	معیارهای زیست محیطی	معیارهای ایمنی	معیارهای زیست محیطی	معیارهای ایمنی	معیارهای زیست محیطی	معیارهای ایمنی
بسیار کم	کم	تا حدودی کم	متوسط	تا حدودی زیاد	زیاد	بسیار زیاد	بسیار کم	کم	تا حدودی کم
عدد فازی متناظر	(۰,۰,۱,۲)	(۱,۲,۳,۴)	(۲,۳,۴,۵)	(۳,۴,۵,۶)	(۴,۵,۶,۷)	(۵,۶,۷,۸)	(۶,۷,۸,۹)	(۷,۸,۹,۱۰)	(۸,۹,۱۰,۱۱)
فشار (متر)	۳۰	۳۳/۶۶ ≥ ۲۹/۳۲ ≤	۳۷/۳۲ ≥ ۲۸/۶۴ ≤	۴۰/۹۸ ≥ ۲۷/۹۶ ≤	۴۴/۶۴ ≥ ۲۷/۲۸ ≤	۴۸/۳ ≥ ۲۶/۶ ≤	۴۸/۳ ≥ ۲۶/۶ ≤	۴۸/۳ ≥ ۲۶/۶ ≤	۴۸/۳ ≥ ۲۶/۶ ≤
سرعت جریان (متر بر ثانیه)	۱ ≥ ۰/۸ ≤	۱/۱۸ ≥ ۰/۷۰۴ ≤	۱/۳۶ ≥ ۰/۶۰۸ ≤	۱/۵۴ ≥ ۰/۵۱۲ ≤	۱/۷۲ ≥ ۰/۴۱۶ ≤	۱/۹ ≥ ۰/۳۲ ≤	۱/۹ ≥ ۰/۳۲ ≤	۱/۹ ≥ ۰/۳۲ ≤	۱/۹ ≥ ۰/۳۲ ≤
طول لوله (متر)	۱۰ ≥ ۱۰ <	۱۰۸ ≥ ۱۰ <	۲۰۶ ≥ ۱۰۸ <	۳۰۴ ≥ ۲۰۶ <	۴۰۲ ≥ ۳۰۴ <	۵۰۰ ≥ ۴۰۲ <	۵۰۰ ≥ ۴۰۲ <	۵۰۰ ≥ ۴۰۲ <	۵۰۰ ≥ ۴۰۲ <
قطر لوله (میلی متر)	۴۵۷/۲ <	۴۵۷/۲ ≥ ۳۷۰/۸۴ <	۳۷۰/۸۴ ≥ ۲۸۴/۴۸ <	۲۸۴/۴۸ ≥ ۱۹۸/۱۲ <	۱۹۸/۱۲ ≥ ۱۱۱/۷۶ <	۱۱۱/۷۶ ≥ ۲۵/۴ <	۱۱۱/۷۶ ≥ ۲۵/۴ <	۱۱۱/۷۶ ≥ ۲۵/۴ <	۱۱۱/۷۶ ≥ ۲۵/۴ <
کمیت مصرف (لیتر بر ثانیه به ازای هر نفر)	۰/۲ ≥	۰/۲ <	۶۲/۳۸ <	۱۲۴/۵۶ <	۱۸۶/۷۴ <	۲۴۸/۹۲ <	۳۱۱/۱ <	۳۱۱/۱ <	۳۱۱/۱ <
پتانسیل تهدید هیدرولیکی (میلی متر)	۲۵/۴ ≥	۱۱۱/۷۶ ≥ ۲۵/۴ <	۱۹۸/۱۲ ≥ ۱۱۱/۷۶ <	۲۸۴/۴۸ ≥ ۱۹۸/۱۲ <	۳۷۰/۸۴ ≥ ۲۸۴/۴۸ <	۴۵۷/۲ ≥ ۳۷۰/۸۴ <	۴۵۷/۲ ≥ ۳۷۰/۸۴ <	۴۵۷/۲ ≥ ۳۷۰/۸۴ <	۴۵۷/۲ ≥ ۳۷۰/۸۴ <



شکل ۳ - شماره و اولویت هر یک از لوله ها برای عملیات بازسازی در حالت استاندارد مطابق با شرایط مسئله

۴. نتایج

با ارزیابی و مقایسه نتایج بدست آمده از اولویت بندی بازسازی لوله ها در هر دو حالت تحلیل شده توسط مدل WDSR می توان نتایج ذیل را بدست آورد:

اولویت اول: همانطور که در نتایج بدست آمده مشخص است، اولویت های ارجح بازسازی مربوط به لوله هایی است که نقشی حیاتی در آبرسانی شبکه مورد مطالعه دارند (لوله های ۱ الی ۳)؛ چرا که دیگر لوله های شبکه عملاً از این لوله ها تغذیه می شوند. لیکن با انطباق محدوده های استاندارد نسبت به شرایط حاکم بر شبکه، اولویت های بازسازی بهینه تر شده و عملاً لوله شماره ۱ که به عنوان خط اصلی تغذیه این دو شبکه محسوب می گردد، بالاترین اولویت را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که در حالت تحلیل با لایه استاندارد پیش فرض، اولویت این لوله در جایگاه دوم قرار داشت. لذا به نظر می رسد که عملکرد مدل در انتخاب این لوله به عنوان اولویت اول صحیح باشد.

اولویت دوم و سوم: این دو لوله پس از لوله ۱، عملاً لوله های تغذیه کننده دیگر لوله ها و گره های شبکه بوده؛ لذا از حیث مشخصات هیدرولیکی و مکانیکی شاخص تر می باشند. لیکن باید توجه داشت که در هر دو حالت تحلیل اول و دوم، لوله ۳ ارجحیت بازسازی بالاتری نسبت به لوله ۲ دارد؛ که با نگاهی بر مشخصات لوله ۳ اعم از فشار حاکم، سرعت جریان و کمیت مصرف (دبی) و مقایسه آن با لوله ۲ می توان صحت این ارجحیت را شناسایی نمود. لذا انتخاب مدل مبنی بر اولویت دوم بازسازی برای لوله ۳ و همچنین اولویت سوم برای لوله ۲ صحیح به نظر می رسد.

اولویت چهارم و پنجم: این اولویت‌ها در هر دو روش متعلق به لوله‌های شماره ۵ و ۸ می‌باشد. در حالت اول لوله شماره ۵ و در حالت دوم لوله شماره ۸ ارجح می‌باشد. باید توجه داشت که شرایط فشار حاکم بر هر دو لوله تقریباً شرایط یکسان و مطلوبی است. لیکن علیرغم آنکه لوله شماره ۵ دبی مصرفی بالاتری را تأمین می‌نماید، به علت آنکه لوله شماره ۸ دارای قطر کمتری بوده و شرایط نامطلوبی از حیث سرعت جریان دارد، لذا در تحلیل حالت دوم اولیبتی بالاتر از لوله شماره ۵ پیدا نموده است. البته باید توجه داشت که در شرایط عملی و با توجه به دبی تأمین کننده توسط لوله ۵، می‌توان اولویت بازسازی این دو لوله را عملاً یکسان در نظر گرفت.

اولویت ششم، هفتم و هشتم: در هر دو روش اول و دوم، این اولویت‌ها به ترتیب به لوله‌های ۷، ۴ و ۶ اختصاص یافته است. با ملاحظه مشخصات هر یک از این لوله‌ها مشخص می‌گردد که هر دو لوله ۷ و ۶ دبی مصرفی بالاتری را تأمین می‌نمایند؛ لیکن با توجه به آنکه دبی تأمین کننده لوله ۶ کمتر بوده و همچنین لوله ۴ قطر کوچکتری دارد، لذا ترتیب اولویت بازسازی این لوله‌ها به صورت لوله ۷، ۴ و ۶ می‌باشد؛ که به نظر می‌رسد عملکرد مدل در این محدوده نیز منطقی بوده است.

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در اغلب تحقیقات مربوط به بازسازی شبکه توزیع آب، این عملیات مبتنی بر یک دیدگاه کلی بوده، که آن دیدگاه افزایش قابلیت اطمینان هیدرولیکی و مکانیکال شبکه ناشی از گسیختگی لوله‌ها می‌باشد. در واقع معیارهای در نظر گرفته شده در این تحقیقات اغلب محدود به معیارهای فنی بوده، و معیارهای غیر فنی مانند معیارهای اجتماعی و امنیتی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در حالی که در مدل تصمیم‌گیری نرم‌افزار WDSR، برای تعیین اهمیت نواحی مختلف شبکه و لوله‌های مرتبط با آنها و اولویت‌بندی عملیات بازسازی، به طور هم‌زمان معیارهای فنی و غیر فنی مورد بررسی قرار می‌گیرند. از جمله نقاط قوت این مدل نرم‌افزاری استفاده از ساختارهای تصمیم‌گیری گروهی برای تعیین اوزان معیارهای متعدد و همچنین استفاده از مدل قوی و معتبر Fuzzy TOPSIS برای این امر می‌باشد؛ چرا که Fuzzy TOPSIS دارای نقاط قوت قابل توجهی نسبت به دیگر مدل‌های تصمیم‌گیری است، که از مهم‌ترین این مزایا می‌توان به این موارد اشاره نمود؛ که در این مدل (۱) تصمیم‌گیری در صورت وجود معیارهای مثبت و منفی امکان‌پذیر است؛ (۲) برای تعیین بهترین گزینه می‌توان تعداد قابل توجهی معیار را مورد بررسی قرار داد، در حالی که در مدل‌هایی مانند AHP عملاً در این زمینه محدودیت‌هایی وجود دارد؛ (۳) این روش ساده و دارای سرعت مناسب بوده و برای تعداد زیادی گزینه و معیار به خوبی پاسخگو می‌باشد؛ (۴) خروجی سیستم در این مدل به صورت کمی بوده و علاوه بر تعیین گزینه برتر، رتبه سایر گزینه‌ها به صورت عددی بیان می‌شود. این مقدار عددی همان نزدیکی نسبی است، که پایه قوی این روش را بیان می‌کند؛ (۵) این امکان وجود دارد که بتوان تأثیر ضریب اهمیت معیارها را بر روی رتبه‌بندی گزینه‌ها به صورت عددی مشاهده نمود. لذا عملاً استفاده از مدل Fuzzy TOPSIS تحت نرم‌افزار WDSR برای برنامه‌ریزی طرح‌های بازسازی شبکه‌های توزیع آب می‌تواند مزایای قابل توجهی نسبت به دیگر مدل‌های موجود ایجاد نماید. از دیگر مزایای این مدل می‌توان به قابلیت انطباق آن با شرایط محیطی و امکان ویرایش معیارها متناسب با شرایط حاکم بر شبکه توزیع آب مورد نظر را اشاره نمود. همچنین استفاده از چنین نرم‌افزاری منجر به آن می‌گردد، که یک بانک اطلاعاتی وسیع و کارآمد در اختیار بهره‌برداران شبکه‌های توزیع آب قرار گیرد، که می‌تواند در مدیریت بهتر این تأسیسات نقش قابل توجهی داشته باشد (علیرغم اینکه جمع‌آوری این اطلاعات در گام‌های نخستین می‌تواند سخت و پیچیده باشد). ساختار C# این نرم‌افزار نیز امکان اتصال آن به اغلب نرم‌افزارهای هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب را فراهم نموده، و همواره توسعه این نرم‌افزار و اتصال آن به دیگر نرم‌افزارهای موجود امکان‌پذیر می‌باشد. از طرفی امکان اتصال این مدل به نرم‌افزار Excel و دریافت و انتقال اطلاعات به آن، امکان مدیریت بهتر نتایج بدست آمده در این نرم‌افزار را فراهم نموده، که از دیگر نقاط قوت مدل نرم‌افزاری WDSR است. با استفاده از این مدل می‌توان سناریوهای مختلفی از تصمیم‌گیری گروهی و متشکل از معیارهای گوناگون مورد بررسی قرار داد، و بهینه‌ترین مسیر انجام عملیات بازسازی شبکه‌های توزیع آب را تعیین نمود.

۶. مراجع

1. Kabir, G., Tesfamariam, S., Francisque, A., & Sadiq, R. (2015). Evaluating risk of water mains failure using a Bayesian belief network model. *European Journal of Operational Research*, 240(1), 220-234.



2. Tabesh, M., & Saber, H. (2012). A prioritization model for rehabilitation of water distribution networks using GIS. *Water resources management*, 26(1), 225-241.
3. Tee, K. F., Khan, L. R., Chen, H. P., & Alani, A. M. (2014). Reliability based life cycle cost optimization for underground pipeline networks. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 43, 32-40.
4. Sægrov, S., Melo Baptista, J., Conroy, P., Herz, R., LeGauffre, P., Moss, G., . . . Schiatti, M. (1999). Rehabilitation of water networks: Survey of research needs and on-going efforts. *Urban Water*, 1(1), 15-22.
5. Scholten, L., Scheidegger, A., Reichert, P., Mauer, M., & Lienert, J. (2014). Strategic rehabilitation planning of piped water networks using multi-criteria decision analysis. *Water research*, 49, 124-143.
6. Herz, R. (1998). Exploring rehabilitation needs and strategies for water distribution networks. *Aqua*, 47, 275-283.
7. Kleiner, Y. (1998). Water distribution network rehabilitation: selection and scheduling of pipe rehabilitation alternatives: *University of Toronto*.
8. Hadzilacos, T., Kalles, D., Preston, N., Melbourne, P., Camarinopoulos, L., Eimermacher, M., . . . Saegrov, S. (2000). UtilNets: a water mains rehabilitation decision-support system. *Computers, environment and urban systems*, 24(3), 215-232.
9. Burn, S., Tucker, S., Rahilly, M., Davis, P., Jarrett, R., & Po, M. (2003). Asset planning for water reticulation systems-the PARMS model. *Water Supply*, 3(1-2), 55-62.
10. Engelhardt, M., Savic, D., Skipworth, P., Cashman, A., Saul, A., & Walters, G. (2003). Whole life costing: application to water distribution network. *Water Supply*, 3(1-2), 87-93.
11. Kleiner, Y., & Rajani, B. (2004). Quantifying effectiveness of cathodic protection in water mains: theory. *Journal of Infrastructure Systems*, 10(2), 43-51.
12. Saegrov, S. (2005). CARE-W: Computer aided rehabilitation for water networks, *IWA Publishing*.
13. Moglia, M., Burn, S., & Meddings, S. (2006). Decision support system for water pipeline renewal prioritization, *ITcon*.
14. Fuchs-Hanusch, D., Gangl, G., Kornberger, B., Kölbl, J., Hofrichter, J., & Kainz, H. (2008). PiReM-Pipe Rehabilitation Management. Developing a Decision Support System for Rehabilitation Planning of Water Mains. *Water Pract Technol*, 3(1).
15. Cardoso, M., Silva, M. S., Coelho, S., Almeida, M., & Covas, D. (2012). Urban water infrastructure asset management—a structured approach in four water utilities. *Water Science & Technology*, 66(12), 2702-2711.
16. Renaud, E., Le Gat, Y., & Poulton, M. (2011). Using a break prediction model for drinking water networks asset management: From research to practice. *The International water association, 4 th keadubg edge conference on strategic Asset management*.
17. Kleiner, Y., & Rajani, B. (2010). I-WARP: Individual water main renewal planner. *Drinking Water Engineering and Science*, 3, 71-77.
18. Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). Multiple attribute decision-making: methods and applications: *CRC Press*.
19. Alperovits, E., & Shamir, U. (1977). Design of optimal water distribution systems. *Water resources research*, 13(6), 885-900.



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
دانشگاه تهران، تهران
۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



20. Gomes, H. P., Bezerra, S. d. T. M., & Srinivasan, V. S. (2008). An iterative optimisation procedure for the rehabilitation of water-supply pipe networks. *Water SA*, 34(2), 225-235.
21. Sil, B. S., Banerjee, P., Kumar, A., Bui, P. J., & Saikia, P. (2013). Use of Excel-Solver as an Optimization Tool in Design of Pipe Network. *International Journal of Hydraulic Engineering*, 2(4), 59-63.