مجله آبخوان و قنات
جلد ۲ شماره ۲ پاییز و زمستان ۱۴۰۰
شماره صفحه : ۷۱-۵۶
http://dx.doi.org/10.22077/jaaq.2022.2197

رتبه‌بندی فازی اثرات بالا آمدن آب زیرسطحی در شهرهای فاقد شبکه فاضلاب بر سازه‌های آبی زیرزمینی (مطالعه موردی شهر کرمان)

۱- حسین ریاحی مدوار[۱،*]
*h.riahi@vru.ac.ir نویسنده مسئول:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹

چکیده

بالا بودن آب زیرسطحی شهر کرمان بر تأسیسات سامانه‌های آب و فاضلاب شهری اثرات مخربی گذاشته است و خطرات آلودگی میکرو بیولوژیکی و خوردگی را ایجاد می‌کند. همچنین اندر کنش و تقابل آب و خاک موجب تخریب سازه‌های در تماس با آب مانند شبکه لوله‌های توزیع آب شهری و شبکه‌های جمع آوری فاضلاب شهری می‌شوند. در این تحقیق جهت شناسایی و رتبه‌بندی اثرات بالا آمدن آب زیرسطحی شهر کرمان بر سازه‌های آبی زیرزمینی (شبکه‌های توزیع آب شرب شهری، شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری، خطوط انتقال آب و ایستگاه‌های پمپاژ زیرزمینی)، در ابتدا تحلیل وضعیت تراز آب زیرسطحی شهر کرمان انجام شد. سپس آسیب‌ها با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) و رتبه‌بندی بونیسون باکلی انجام شد. طبق نتایج رتبه‌بندی فازی، مخاطرات مخرب بهداشتی زیست‌محیطی با وزن نسبی ۰/۳۴، اثرات مخرب فنی عملکردی با وزن نسبی ۰/۲۷، اثرات مخرب اقتصادی با وزن نسبی ۰/۲۳، اثرات مخرب سازه‌ای– فیزیکی با وزن نسبی ۰/۱۵ به ترتیب اولویت قرار داشتند. در دسته آسیب‌های فیزیکی، درجه اهمیت و ریسک مخاطرات تشدید خوردگی لوله‌ها- آرماتورها- بتن و غیره (۰/۲۵) بالاترین رتبه را دارا بود. بر اساس وزن‌های حاصله برای درجه ریسک آسیب مخرب فنی عملکردی، کاهش قابلیت اعتماد و اطمینان (۰/۲۶)، کاهش و تغییر توان هیدرولیکی، رسوب‌گذاری، نفوذ ریشه گیاهان به داخل لوله‌ها و گرفتگی (۰/۲۳)، تغییر در کمیت و کیفیت آب و فاضلاب: نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و برعکس (۰/۲۳) در درجه بالاتر قرار داشتند. همچنین عامل درجه اهمیت و ریسک نشت آلاینده‌ها از داخل شبکه آبفا به آب زیرزمینی و برعکس (۰/۲۶) دارای بالاترین رتبه در دسته آسیب‌های مخرب بهداشتی زیست‌محیطی بود. درنهایت در دسته آسیب مخرب اقتصادی و هزینه‌ای نیز ریسک افزایش هزینه نگهداری- تعمیرات و بازرسی‌های دوره‌ای (۰/۳۱) به‌عنوان مهم‌ترین اثر مخرب شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: رتبه بندی‌فازی، آسیب پذیری سازه‌های آبی، آب زیرزمینی، شبکه فاضلاب شهری، تحلیل سلسله مراتبی.

[۱] گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران.

مقدمه

خطوط انتقال در سامانه‌های آبفای شهری به مثابه شریان‌های حیاتی برای پیکره این طرح‌ها به شمار می‌رود. شریان‌های حیاتی مهم‌ترین نشانه‌های توسعه و آبادانی هر جامعه‌ای محسوب می‌شوند. اطلاق کلمه حیاتی به سیستم‌های مزبور از دو جنبه مطرح است: اول آنکه تداوم حیات طرح به حفظ عملکرد این سیستم‌ها بستگی دارد. دوم آنکه آسیب دیدن این سیستم‌ها خود می‌تواند باعث وخیم‌تر شدن وضعیت بحران و صدمات اقتصادی و اجتماعی برای بهره برداران گردد. توجه به اندر کنش عملکردی -آسیبی این شریان‌ها از دو منظر قابل تأمل است. از سویی عملکرد شریان‌های حیاتی مختلف تا حدودی به دیگر سیستم‌ها بستگی داشته و از سویی دیگر آسیب دیدن برخی از شریان‌ها می‌تواند مستقیم و یا با واسطه به شریان‌های دیگر آسیب برساند (Ghohroudi et al., 2017; Hussein Zadeh et al., 2017). اندر کنش و تقابل آب و خاک موجب تخریب سازه‌های در تماس با آب مانند شبکه لوله‌های توزیع آب شهری و شبکه‌های جمع آوری فاضلاب شهری می‌شوند. از جمله این موارد می‌توان به روان گرایی، آبشستگی و تراوش، تورم، خزش، شکستگی و جدا شدن اتصالات و خوردگی اجزا اشاره کرد (Riahi-Madvar and Seifi, 2019) که از عوامل اصلی تخریب و انهدام ادوات سامانه‌های آب و فاضلاب می‌باشند.

با توسعه شهرنشینی همچنان که تغذیه مستقیم کاهش می‌یابد منابع و مسیرهای جدیدی برای تغذیه آبخوان شامل نشت از لوله‌های آب، فاضلاب، چاه‌های جذبی و سایر مجاری آب‌بر ایجاد می‌شود. از طرف دیگر تغییرات مکانی نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی آکیفر تومان (Ansarifar et al., 2020) اثر این تغییرات میزان تغذیه را نسبت به قبل از توسعه شهر افزایش می‌دهد. در مناطق خشک و در شهرهای متراکم که آب معمولاً از سایر نقاط جهت شرب تأمین می‌شود، نرخ افزایش قابل توجه می‌باشد (Lerner, 1990). در این شرایط انتقال و تأمین آب شرب به محدوده شهری و و به‌طور همزمان عدم برداشت آب از چاه‌های سطح شهر، منجر به افزایش سطح آب زیرزمینی خصوصاً در مناطق با تمرکز بالای جمعیتی و فاقد سیستم جمع‌آوری فاضلاب می‌شود و اثرات تخریبی بر سازه‌های آبی زیرزمینی خواهد داشت. از طرف دیگر با پایین رفتن سطح آب زیرزمینی به‌علت توسعه‌ی شبکه‌ی جمع آوری فاضلاب نگرانی در خصوص نشست زمین در بعضی مناطق به وجود خواهد آمد. در صورتی که خاک بستر سامانه‌های آب و فاضلاب شهری پتانسیل تورم و نشست در مجاورت آب را داشته باشند باعث جابه‌جایی‌های جزئی و ترک شده و تغییر مکان‌های حاصله باعث تخریب لوله‌ها و اتصالات توزیع آب و فاضلاب می‌شوند (Roozbahani et al., 2013; Tabesh et al., 2008). افزایش سن لوله‌ها نیز منجر به افزایش درجه آسیب پذیری آنها در برابر جریان آبهای زیرسطحی می‌شود.

در زمینه بررسی آسیب‌پذیری سامانه‌های آب و فاضلاب شهری تحقیقات متعددی صورت گرفته است زا جمله می‌توان به ارزیابی یکپارچه آسیب‌پذیری خطوط آب شهری (Inanlo et al., 2016)، تحلیل ریسک و خطر شبکه‌های آب شهری با روش سلسله مراتبی فازی (Fayaz et al., 2018)، بررسی میزان نشت آب به شبکه فاضلاب شهری با روش یادگیری ماشین (Liu et al., 2021)، تجزیه و تحلیل آسیب پذیری شبکه‌های توزیع آب در برابر ترکیدگی لوله (Weber et al., 2020)، بررسی بالا آمدن زیرسطحی در شهر جده (Al-Sefry and Sen, 2006)، بالا آمدن آب در زیر سطح شهر مدینه (Bob et al., 2016)، شناسایی عوامل بالا آمدن زیرسطحی در کویت (Al-Senafy et al., 2015)، مدل‌سازی بالا آمدن آب زیرسطحی در جده (Elfeki and Bahrawi, 2015) و کمتر به اثرات بالا آمدن آب زیرسطحی شهرها و خصوصاً اثرات مخرب آب بر سازه‌های آبی و زیرساخت‌های آبی شهرها در ایران پرداخته شده است. طی دو دهه اخیر، بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی و عدم وجود سیستم جمع آوری آن، در شهر کرمان شرایط بحرانی را ایجاد نموده است. به علت بالاآمدگی آب زیرزمینی شهر کرمان، در محدوده

بافت قدیمی شهر، عمق آب به ۳ متر رسیده است. در مناطق حاشیه‌ای شهر نیز عمق آب زیرزمینی بین ۱۰ تا ۲۰ متر متغیر است. خطرات بالقوه‌ی بالا آمدن آب‌های زیرسطحی محدود به بافت قدیم شهر کرمان و ساختمان‌ها نیست بلکه بالا بودن آب زیرسطحی شهر کرمان بر سامانه‌های آب و فاضلاب شهری اثرات تخریبی و چندگانه‌ای می‌گذارند و خطرات آلودگی میکرو بیولوژیکی و خوردگی را نیز ایجاد می‌کند (Kangi and Khatibi, 2012). طبق آمار و اطلاعات شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور بیش از ۲۰٪ کل درآمدهای این شرکت صرف ترمیم حوادث و اتفاقات شبکه آب و فاضلاب می‌شوند. در سال ۱۳۷۷ حدود ۲۰۰ میلیارد ریال برای رفع حوادث و اتفاقات در این شرکت هزینه شده است (تابش و همکاران، ۱۳۸۸) و در صورتی که در شهر کرمان سطح آبهای زیرسطحی نیز بالاست و با سامانه‌های آب و فاضلاب شهری تأثیر و تداخل دارد، که هزینه‌های پیش گفته بسیار بیشتر خواهد بود و ضرورت شناسایی دقیق و یکپارچه مولفه‌های مؤثر بر تغییرات تراز جریان آب زیرسطحی، اثرات متقابل آن بر سامانه‌های آب و فاضلاب شهری و تدوین راهکارهای کاربردی مقابله با چالش‌های پیش رو را مشهود می‌سازد.

این پدیده به جز در شهر کرمان، در دیگر مناطق کشور از جمله تهران، مشهد، و بجنورد نیز ثبت شده است. همچنین در برخی از شهرهای خارج از کشور از قبیل جده در عربستان (Al-Sefry and Sen, 2006)، به‌رغم وجود این تجربیات، نبود یک سیستم مدیریت دانش و نشر تجربیات باعث شده است که با ایجاد چنین پدیده‌ای، برخورد افراد با آن به عنوان یک پدیده‌ی نو ظهور صورت پذیرد. با این حال آنچه دارای اهمیت می‌باشد، اثرات متفاوت، فرصت‌ها و چالش‌های مختلفی است که در بروز این پدیده مستتر است. بالا آمدگی موضعی آب در شهر کرمان به عنوان یکی از مناطق خشک و کویری ایران در صورت مدیریت مناسب و صحیح می‌تواند به‌عنوان یک فرصت ارزیابی گردد و به همین دلیل در این تحقیق به بررسی اثرات حاصله از بالا آمدن آب زیر سطحی بر سامانه‌های آب و فاضلاب شهر کرمان و ارائه راهکارهای کاربردی با رویکرد آسیب سنجی و مدل‌سازی سناریوهای مدیریتی و کاربردی انجام شده است. هدف اصلی این تحقیق شناسایی آسیب‌ها و اثرات مخرب بالا آمدن آب زیر سطحی بر زیرساخت‌های آبی و سازه‌های آبی زیرزمینی شهر کرمان و ارائه راهکارهای کاربردی فنی اجرایی پیرامون سامانه‌های آبفا، مدیریت آب زیرسطحی شهری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر کرمان بر روی یک لایه ماسه با منشأ بادی به عمق ۱۰ متر قرار دارد که در زیر این افق ماسه‌ای، رسوبات با بافت ریزدانه رسی-سیلتی و نفوذپذیری کم که ضخامت آنها به چند صد متر می‌رسد واقع شده است. در نیمه اول قرن بیستم، وسعت شهر کرمان ۱۵ تا ۱۰ درصد امروزی بوده و آب مورد نیاز ساکنان شهر از قنات‌ها و چاه‌های خانگی تأمین می‌گردیده است. فاضلاب شهری نیز به صورت سنتی از طریق چاه‌های جذبی به سفره‌ی آب زیرزمینی منتقل می‌گردید . افزایش جمعیت، توسعه‌ی شهر و صنایع، باعث تولید فاضلاب بیشتری گردیده است. بنابراین میزان ورودی فاضلاب به زمین بیشتر از توان نفوذپذیری خاک بوده و در نتیجه سطح آب زیرزمینی شهری بالا آمده است (Kangi and Khatibi, 2012). همچنین شهر فاقد شبکه جمع آوری فاضلاب شهری است و عملیات اجرایی آن از سال ۱۳۷۶ شروع شده است و تا آبان ۱۴۰ پیشرفت فیزیکی آن ۲۳ درصد بوده است که بسیار کند و زمان‌بر است از طرف دیگر برآوردهای سازمان آبفای کرمان، میزان تلفات در شبکه توزیع آب شهر کرمان را ۱۹ درصد نشان می‌دهد.

آب زیرسطحی شهر کرمان

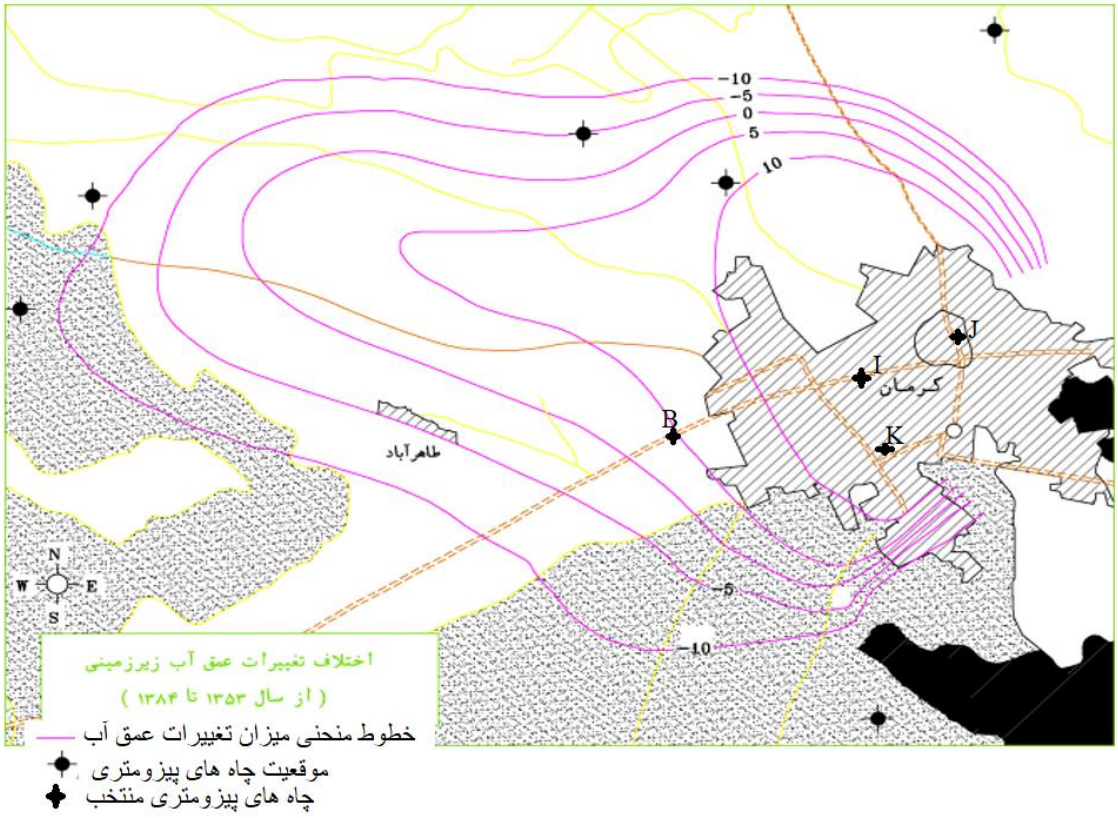
سفره آب زیرزمینی شهر کرمان از نوع آزاد بوده و در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای در شعاع ۷ کیلومتری شهر کرمان بالاآمدگی سطح آب زیرسطحی

مشاهده می‌شود (شکل ۱). در حال حاضر دبی متوسط فاضلاب تولیدی شهر کرمان ۲۸۶۴ لیتر بر ثانیه است که توسط چاه‌های جذبی وارد آبخوان زیرسطحی شهر می‌شود باعث بالا آمدن آب زیرسطحی شهر می‌شود. آب زیرسطحی در شهر کرمان در حال افزایش است و نشان این افزایش نم‌زدگی و تخریب برخی ابنیه است.

طبق شکل ۱ در بخش‌هایی از شهر کرمان بالاآمدگی سطح آب‌های زیرزمینی رخ داده است. در اثر تغییرات در میزان نفوذپذیری، تغییر عمق و شکل سنگ بستر، تغییر در تغذیه تغذیه و ورود زهکش‌های جانبی به آبخوان، جهت آب زیرزمینی تغییر کرده است. بیشترین گرادیان هیدرولیکی یا شیب آب زیرزمینی متناسب با شرایط توپوگرافی و نوع آبرفت حدود ۷ در هزار و کمترین گرادیان حدود ۱/۵ در هزار مربوط به قسمت‌های مرکزی دشت در حوالی شهر کرمان می‌باشد (شکل ۱).

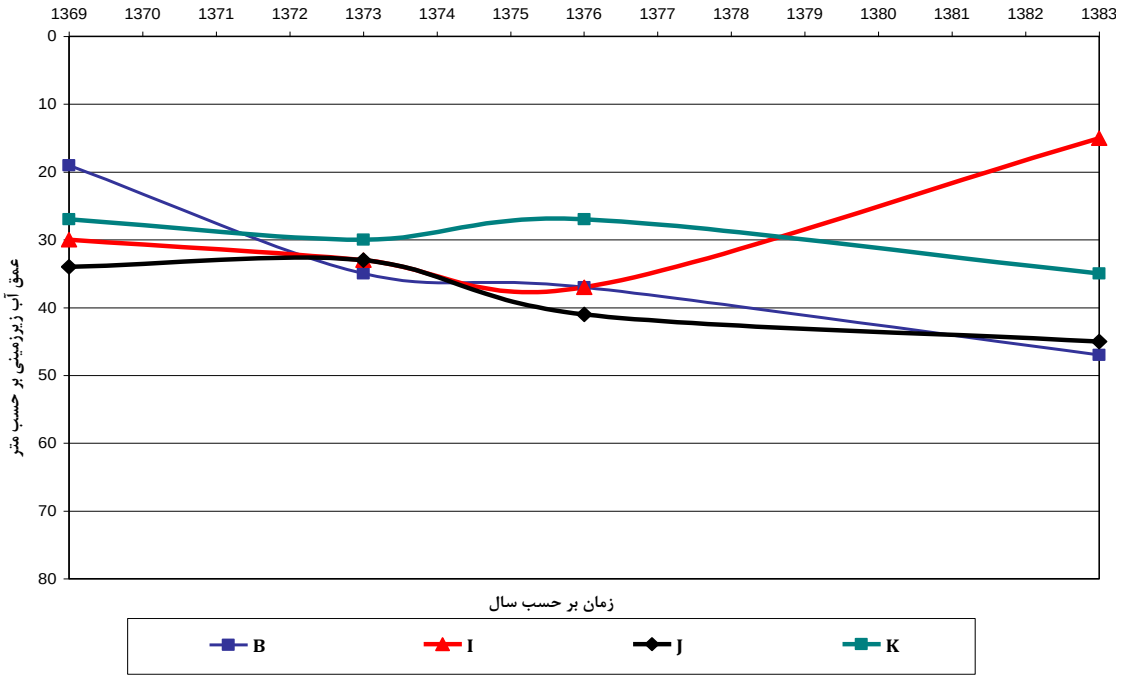
همان طور که از منحنی‌های هم عمق تغییرات آبهای زیرزمینی شهر کرمان در شکل ۱ مشخص است، سطح آب زیرزمینی شهر کرمان در محدوده چاه‌های آب مشروب و چاه‌های کشاورزی در جنوب و جنوب شرق شهر و در شمال شهر به‌طرف زنگی آباد دائماً در حال افت و پایین رفتن است و به همین دلیل تغییرات عمق آب زیرزمینی به صورت عدد منفی است و بیشترین افت در منطقه زنگی آباد و منطقه حسین‌آباد و دستجرد که چاه‌های آب مشروب شهر کرمان بهره برداری می‌شود، دیده می‌شود. کمترین عمق برخورد به آبهای زیرزمینی در نواحی مرکزی شهر بوده که به دلایل مختلف از جمله تغذیه از آب برگشت شهری، عدم بهره برداری چاه‌های کشاورزی در سطح شهر کرمان، شرایط هیدرو دینامیکی منطقه و عوامل دیگر عمق برخورد به آب کم شده است و تغییرات عمق آب زیرزمینی مثبت شده است و اعداد مثبت نشان‌دهنده بالا آمدن تراز آب زیرسطحی شهر است

وضعیت آبهای زیر زمینی در نواحی داخلی شهر کرمان در شکل ۲ و درصد افزایش آلاینده‌ها در جدول ۱ نمایش داده شده است، نقاطB ، I، J و K در قسمت‌های داخلی شهر واقع گردیده‌اند. شیب ملایم‌تر این منحنی‌ها نشان دهنده افت کمتر آبهای زیرزمینی در قسمت‌های مرکزی شهر است. در برخی از نواحی خصوصاً در مراکز پرجمعیت شهر به‌دلیل بازگشت فاضلاب شهری به سفره آبهای زیرزمینی بالاآمدگی سطح آبهای زیرزمینی دیده می‌شود. بر طبق مقادیر جدول ۱ غلظت یون‌های سدیم و کلر روند افزایشی دارند که این را می‌توان ناشی از ورود فاضلاب به سفره آب زیرزمینی دانست



شکل ۱- منحنی‌های تغییرات اختلاف سطح آب زیرزمینی طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۵۳.

Figure 1- The contours of groundwater level changes over 1976-2008.



شکل ۲- چگونگی تغییرات عمق آب زیرزمینی در سال‌های مختلف در نقاط داخلی شهر کرمان.

Figure 2- The groundwater level changes over years inside the Kermanc City.

جدول ۱ -مقایسه غلظت برخی یون‌ها در سال ۱۳۸۳ و ۱۳۷۳ در تعدادی از چاه‌های محدوده کرمان

Table 1- Vration of some ion concentration over years in Kerman wells

یون‌های محلول	متوسط در سال ۱۳۸۵ (mg/l)	متوسط در سال ۱۳۷۳ (mg/l)	ضریب افزایش طی ۱۲ سال	درصد افزایش سالانه
سدیم	۸۷۳/۳	۳۲۱/۳	۲/۷	۲۲
کلسیم	۹۵/۸	۹۵/۳	۱/۰۰۵	۸
منیزیم	۱۴۲/۸	۸۶/۹	۱/۶۴	۱۳/۷
کلرید	۵۱۷/۳	۳۸۵/۷	۱/۳۴	۱۱
سولفات	۸۵۱/۶	۵۸۶/۸	۱/۴۵	۱۲
بی‌کربنات	۴۵۵/۶	۲۷۲/۴	۱/۶۷	۱۴

شناسایی آسیب‌ها با تحلیل سلسله مراتبی فازی FAHP

در این پژوهش ازFAHP به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری استفاده شده است (Esmaeili et al., 2020; Asgarian et al., 2015). بنابراین در ابتدا بایستی یک درخت سلسله مراتبی مناسب که بیانگر مسئله تحت مطالعه است را فراهم نمود (شکل ۳). ساختار سلسله مراتبی از سطوح اهداف، معیارها و گزینه‌ها تشکیل شده است:

- سطح اول: هدف

هدف از کاربرد AHP در این تحقیق، شناسایی مولفه‌ها وزن شاخص‌های منتخب برای شناسایی و رتبه بندی آسیب‌های حاصله از تراز آب زیرسطحی بر سامانه‌های آبفا است.

- سطح دوم: معیارها

این سطح شامل انواع عمده خطرات و آسیب‌های پیش روی سامانه‌های آبفا در حضور آب زیرسطحی است که در این تحقیق بر مبنای بررسی گزارش‌های آسیبها و حوادث و اتفاقات شبکه‌های آب و فاضلاب شهری و نظرسنجی از طریق خبرگان دانشگاهی معیارهای آسیب استنتاج گردید و با تلفیق کلیه موارد، شاخص‌های زیر مورد توافق تمامی آنها قرار گرفت.

۱- اثرات مخرب سازه‌ای - فیزیکی
۲- اثرات مخرب فنی عملکردی
۳- اثرات مخرب بهداشتی زیست‌محیطی
٤- اثرات مخرب اقتصادی

- سطح سوم: زیر شاخص‌ها و معیارها

برای انتخاب عناصر سطح سوم سلسله‌مراتب، با تلفیق دلایل و شرایط ایجادکننده آسیب در سامانه‌های آبفا و تلفیق نظرات کارشناسی پژوهشگران مشارکت کننده در طرح و نظرات کارشناسان، تاثیرگذارترین عوامل شناسایی و در نمودار تحلیل سلسله مراتبی لحاظ می‌شوند که این موارد به‌صورت زیر استنتاج گردیده است:

۱- آسیب مخرب سازه‌ای - فیزیکی

۱- تغییرمکان: نشست، ترک‌خوردگی، تغییر شیب، جدایی اتصالات، خرابی آب بندها
۲- ورود خاک، گل و لای به داخل لوله‌ها، تلمبه و موتورها
۳- شسته شدن خاک اطراف لوله‌ها، برهم‌خوردن تراز و جابه‌جایی محور موتور و پمپ‌ها
٤- تشدید خوردگی لوله‌ها، آرماتورها، بتن و...
٥- افزایش فشار خاک و آب و تغییر شکل مقطع لوله، متورم شدن بستر و کج شدن چاهک‌ها، ادوات قائم، و آدم‌روها

۲- آسیب مخرب فنی عملکردی

۱- کاهش قابلیت اعتماد و اطمینان، تشدید اشتباهات اجرایی و طراحی
۲- کاهش و تغییر توان هیدرولیکی، رسوب‌گذاری، نفوذ ریشه گیاهان به داخل لوله‌ها و گرفتگی
۳- تغییر در کمیت و کیفیت آب و فاضلاب: نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و برعکس،

٤- اختلال در ادوات الکتریکی و سنسورها، قطعی برق تلمبه خانه و ایستگاه‌های پمپاژ و شوک‌های الکتریکی

۳- آسیب مخرب بهداشتی زیست‌محیطی

۱- افزایش حشرات و موجودات موذی، تجمع باکتری، ویروس و عوامل بیماری‌زا و آلاینده

۲- ایجاد بو، تولید گازهای سمی، تجمع گازهای خطرناک داخل چاهک‌ها و مجاری، آتش سوزی و انفجار

۳- اشکال در دسترسی سریع و ایمن به تجهیزات و خطرات بهداشتی کارکنان نگهداری و تعمیر

٤- نشت آلاینده‌ها از داخل شبکه آبفا به آب زیرزمینی و برعکس

٥- افزایش قابلیت جابه‌جایی میکروب‌ها و ویروس‌ها و باکتری‌ها

٤- آسیب مخرب اقتصادی و هزینه‌ای

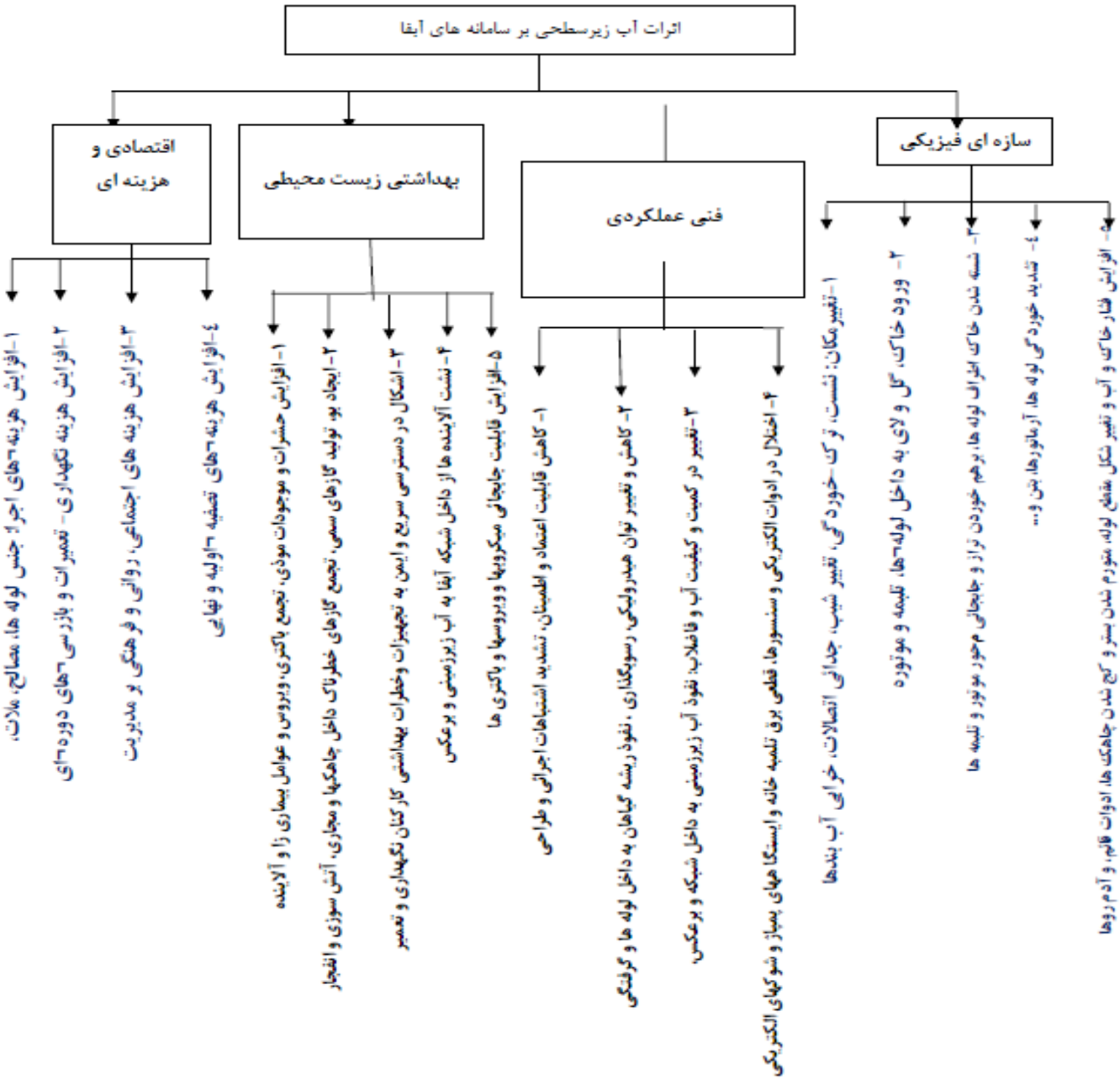
۱- افزایش هزینه‌های اجرا: جنس لوله‌ها، مصالح، ملات،

۲- افزایش هزینه نگهداری- تعمیرات و بازرسی‌های دوره‌ای

۳- افزایش هزینه‌های اجتماعی، روانی و فرهنگی بر مدیریت

٤- افزایش هزینه‌های تصفیه اولیه و نهایی

در این پژوهش با استفاده از رویکرد فازی عبارات زبانی شدت آسیب در سطوح مختلف، به‌صورت عدد فازی ذوزنقه‌ای (a, b, c, d) در ماتریس مقایسه زوجی مشخص شده و با میانگین‌گیری هندسی، وزن فازی هرکدام از آسیب‌ها یعنی بردار Wj به‌دست آمد. برای تعیین امتیاز فازی آسیب‌ها و شدت مخاطره فازی آن‌ها از روش بونیسون و باکلی استفاده شده است. اگر درایه‌های فازی ماتریس مقایسه زوجی به صورت کلی $A= [(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}] \ i,j=1, \ldots, N$ نمایش داده شود که $(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ نمایش فازی درایه ij ام ماتریسA و N تعداد شاخص‌های مورد بررسی باشد، در این صورت طبق روش باکلی در هر سطر از ماتریس Wi یا همان وزن شاخص iام در قیاس با سایر شاخص‌ها به شکل به‌صورت نسبی تعریف می‌شود و مقادیر فازی ارجحیت آسیبها، طبق روش باکلی به‌صورت اعداد فازی تبدیل می‌شوند. در نهایت با استفاده از نتایج محاسبات فازی روش بونیسون وزن غیر فازی به روش دیگر تعیین شد که بر اساس مقادیر وزن محاسبه شده رتبه‌بندی مربوطه نیز انجام شده است.



شکل ۳- چارچوب سلسله مراتبی تحلیل اثرات مخرب آب زیرسطحی بر سازه‌های آبی با FAHP

Figure 3- The analytical hierarchy process framework for analysing the effects of subsurface water over water structures by FAHP

نتایج و بحث

طبق شکل (۳) در سطح بعدی آسیب‌های چهارگانه سازه‌ای– فیزیکی، فنی عملکردی، بهداشتی زیست‌محیطی و اقتصادی است و در سطح سوم آسیب‌های جزئی هر کدام از مخاطرات چهارگانه سطح قبلی ارائه می‌شود. پس از ساخت سلسله مراتبی و وزن‌دهی براساس روشFAHP ضریب ناسازگاری کلیه معیارها وگزینه‌ها محاسبه و سازگاری تحلیل‌ها اثبات گردید.

پس از مشخص شدن سازگاری ماتریس‌های قضاوت و مقایسه زوجی برای رتبه بندی شدت آسیب‌ها از تحلیل سلسله مراتبی فازی آسیب‌ها

استفاده گردید. در این قسمت با استفاده از جدول تبدیل فازی، عبارات زبانی شامل شدت آسیب مطلق کامل، شدت آسیب خیلی قوی، شدت آسیب قوی، شدت آسیب کم، تا شدت آسیب یکسان به‌صورت عدد فازی ذوزنقه‌ای (a, b, c, d) تبدیل می‌شوند و با میانگین گیری هندسی، وزن فازی هرکدام از آسیبها یعنی بردار Wj به‌دست می‌آید. در این تحقیق به‌منظور تعیین امتیاز فازی آسیبها و شدت مخاطره فازی آنها از روش بونیسون باکلی استفاده شده است و نتایج در جداول ۲ تا ۶ ارائه شده است. در نهایت وزن غیر فازی آسیبها در روش تحلیل سلسله مراتبی FAHP به‌دست آمد که بر اساس مقادیر وزن محاسبه شده رتبه‌بندی مشخص می‌شود.

مطابق نتایج وزن‌های ارائه شده در جدول ۷ ملاحظه می‌شود که از منظر مخاطرات فیزیکی و سازه‌ای گزینه شماره ۴ یا آسیب تشدید خوردگی لوله‌ها، آرماتورها، بتن و ...با وزن نسبی ۲۵ درصد شدیدترین آسیب می‌باشد و بدین‌منظور باید با استفاده از راهکارهای اجرایی و طراحی کاربردی مناسب تجمع گازهای خورنده را کاهش داد. از منظر آسیب‌های فنی و عملکردی بر سازه‌های آبی زیرزمینی در اثر بالا بودن تراز آب زیرسطحی شهری ملاحظه می‌شود که در این مورد بالاترین ریسک مربوط به عامل شماره ۳ یعنی تغییر در کمیت و کیفیت آب و فاضلاب: نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و برعکس، با وزن نسبی ۳۲ درصد است و بر این اساس بالا آمدن آب زیرسطحی در شهر کرمان منجر به افزایش بار جرمی و بار آلایندگی در شبکه جمع آوری فاضلاب شهر کرمان و همچنین افزایش حجم تولید فاضلاب در سفره زیرسطحی شهر می‌گردد. در دسته آسیب‌های بهداشتی و زیست‌محیطی همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در این وضعیت نشت آلاینده‌ها از داخل شبکه آبفا به آب زیرزمینی و برعکس بالاترین خطر را با درجه اهمیت ۲۶ درصد ایجاد می‌نماید و باعث آلایندگی منابع آب زیرزمینی و همچنین شبکه‌های توزیع آب شرب شهری و فاضلاب شهری می‌شود و انگل، باکتری، ویروس و عوامل بیماری‌زا را از موقعیت و مکان‌هایی که تراز آب زیرسطحی بالاست به کل شبکه توزیع و جمع‌آوری گسترش داده و باعث افزایش پهنه‌های آسیب‌پذیری و ریسک پذیری می‌گردد. از منظر آسیب‌های اقتصادی پیش‌روی سازه‌های آبی در اثر بالا آمدن تراز آب زیرسطحی شهری افزایش هزینه نگهداری- تعمیرات و بازرسی‌های دوره‌ای به عنوان مهم‌ترین آسیب مخرب اقتصادی است.

براساس وزن‌دهی صورت گرفته و وزن نسبی آسیب‌های مهم و اساسی و سطح اول پیش روی سازه‌های آبی زیرزمینی در شرایط بالا بودن تراز آب زیرسطحی و مقادیر محاسبه شده در جدول ۷ مشاهده می‌شود که طبق نتایج در این سطح اولویت اول ریسک مخاطره مربوط به آسیب‌های بهداشتی و زیست‌محیطی با وزن ۳۴ درصد است که از یک‌طرف مربوط به مخاطرات مستقیم بهداشتی و بیماری‌ها و ایجاد بستر مناسب برای رشد و گسترش این بیماری‌ها است و از طرف دیگر مربوط به مسائل زیست‌محیطی است که کیفیت منابع آب زیرزمینی و همچنین کیفیت منابع آب شرب شهری را کاهش داده و هزینه‌های پالایش و تصفیه را نیز افزایش می‌دهد. مقایسه مطالعات قبلی با نتایج تحقیق حاضر ضمن تأیید پارامترها و مولفه‌های استخراج شده نشان می‌دهد مهم‌ترین مخاطرات بالا آمدن آب زیرزمینی در شهرها به ترتیب عبارتند از اثرات بهداشتی و زیست‌محیطی در رتبه اول، در رتبه دوم اثرات فنی و عملکردی بهره‌برداری که در تطابق با نتایج بالا آمدن آب زیرزمینی در شهر دورهام است (Younger, 1993). همچنین مهم‌ترین مولفه‌های ریسک و مخاطرات تهدیدکننده کمیت و کیفیت آب در سیستم‌های تأمین آب شهری در تحقیق Roozbahani et al. (2013) تخلیه فاضلاب، تخلیه مواد صنعتی، آلوده کردن منابع آب، تخریب سازه‌ای، نشت فاضلاب بیان شده است که منطبق با مولفه‌های شناسایی پژوهش حاضر است.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای موردنیاز روش باکلی آسیب‌های سطح اول به‌صورت اعداد فازی $(a_{i,j}, b_{i,j}, c_{i,j}, d_{i,j})$

Table 2 The parameters in the Buckley method for first-level damages in fuzzy $(a_{i,j}, b_{i,j}, c_{i,j}, d_{i,j})$

	ai	bi	ci	di
۱-اثرات مخرب سازه‌ای - فیزیکی	1	0.67	0.4	0.33
۲-اثرات مخرب فنی عملکردی	1	1.5	2.5	3
۳-اثرات مخرب بهداشتی زیست‌محیطی	1	4.5	7.5	15
۴-اثرات مخرب اقتصادی	1	0.22	0.13	0.07
مجموع	4	6.89	10.53	18.4

جدول ۳- مقادیر پارامترهای موردنیاز روش باکلی آسیب‌های مخرب سازه‌ای فیزیکی به‌صورت اعداد فازی $(a_{i,j}, b_{i,j}, c_{i,j}, d_{i,j})$

Table 3 The parameters in the Buckley method for structural-physical damages in fuzzy $(a_{i,j}, b_{i,j}, c_{i,j}, d_{i,j})$

	ai	bi	ci	di
۱-تغییرمکان: نشست، ترک‌خوردگی، تغییر شیب، جدایی اتصالات، خرابی آب بندها	1	1.5	2.5	3
۲-ورود خاک، گل و لای به داخل لوله‌ها، تلبمه و موتورها	1	0.67	0.4	0.33
۳- شسته شدن خاک اطراف لوله‌ها، برهم‌خوردن تراز و جابه‌جایی محور موتور و تلبمه ها	1	2.25	6.25	9
۴- تشدید خوردگی لوله‌ها، آرماتورها، بتن و...	1	0.30	0.06	0.04
۵- افزایش فشار خاک و آب و تغییر شکل مقطع لوله، متورم شدن بستر و کج شدن چاهک‌ها، ادوات قائم، و آدم‌رو ها	1	1.5	2.5	3
مجموع	5	6.22	11.71	15.37

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی آسیب‌های مخرب فنی عملکردی به‌صورت اعداد فازی $(a_{i,j}, b_{i,j}, c_{i,j}, d_{i,j})$

Table 4 The parameters in Buckley method for operational damages in fuzzy $(a_{i,j}, b_{i,j}, c_{i,j}, d_{i,j})$

	ai	bi	ci	di
۱-کاهش قابلیت اعتماد و اطمینان، تشدید اشتباهات اجرایی و طراحی	1	0.5	0.83	0.6
۲-کاهش و تغییر توان هیدرولیکی، رسوب‌گذاری، نفوذ ریشه گیاهان به داخل لوله‌ها و گرفتگی	1	0.33	0.33	0.2
۳-تغییر در کمیت و کیفیت آب و فاضلاب: نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و برعکس،	1	27	27	125
۴- اختلال در ادوات الکتریکی و سنسورها، قطعی برق تلمبه خانه و ایستگاه‌های پمپاژ و شوک‌های الکتریکی	1	0.22	0.13	0.07
مجموع	4	28.06	28.3	125.87

جدول ۵- ماتریس مقایسه زوجی آسیب‌های مخرب بهداشتی زیست‌محیطی به‌صورت اعداد فازی ($a_{i,j}, b_{i,j}, c_{i,j}, d_{i,j}$)

Table 5 The parameters in the Buckley method for healthy-environmental effects in fuzzy ($a_{i,j}, b_{i,j}, c_{i,j}, d_{i,j}$)

	ai	bi	ci	di
۱- افزایش حشرات و موجودات موذی، تجمع باکتری، ویروس و عوامل بیماری‌زا و آلاینده	1	0.667	0.4	0.33
۲- ایجاد بو، تولید گازهای سمی، تجمع گازهای خطرناک داخل چاهک‌ها و مجاری، آتش سوزی و انفجار	1	0.15	0.05	0.02
۳- اشکال در دسترسی سریع و ایمن به تجهیزات و خطرات بهداشتی کارکنان نگهداری و تعمیر	1	0.67	0.4	0.33
۴- نشت آلاینده‌ها از داخل شبکه آبفا به آب زیرزمینی و برعکس	1	5.06	39.06	81
۵- افزایش قابلیت جابه‌جایی میکروب‌ها و ویروس‌ها و باکتری‌ها	1	3	3	5
مجموع	**5**	9.54	42.92	86.69

جدول ۶- ماتریس مقایسه زوجی آسیب‌های مخرب اقتصادی هزینه‌ای به‌صورت اعداد فازی ($a_{i,j}, b_{i,j}, c_{i,j}, d_{i,j}$)

Table 6 The parameters in Buckley method for cost effects in fuzzy ($a_{i,j}, b_{i,j}, c_{i,j}, d_{i,j}$)

	ai	bi	ci	di
۱- افزایش هزینه‌های اجرا: جنس لوله‌ها، مصالح، ملات،	1	1	1	1
۲- افزایش هزینه نگهداری- تعمیرات و بازرسی‌های دوره‌ای	1	4.5	7.5	15
۳- ۱ افزایش هزینه‌های اجتماعی، روانی و فرهنگی بر مدیریت	1	0.15	0.05	0.02
۴-افزایش هزینه‌های تصفیه اولیه و نهایی	1	1.5	2.5	3
مجموع	4	7.15	11.05	19.02

جدول ۷- مقادیر وزن نهایی حاصله از روش FAHP

Table 7 The final weights of damages in the FAHP method

آسیب	وزن نهایی روش *FAHP*
۱-اثرات مخرب سازه‌ای - فیزیکی	0.15
۲-اثرات مخرب فنی عملکردی	0.27
۳-اثرات مخرب بهداشتی زیست‌محیطی	0.34
۴-اثرات مخرب اقتصادی	0.23
۱-تغییرمکان: نشست، ترک‌خوردگی، تغییر شیب، جدایی اتصالات، خرابی آب بندها	0.20
۲-ورود خاک، گل و لای به داخل لوله‌ها، تلبمه و موتورها	0.11
۳- شسته شدن خاک اطراف لوله‌ها، برهم‌خوردن تراز و جابه‌جایی محور موتور و تلبمه ها	0.24
۴- تشدید خوردگی لوله‌ها، آرماتورها، بتن و...	0.25
۵- افزایش فشار خاک و آب و تغییر شکل مقطع لوله، متورم شدن بستر و کج شدن چاهک‌ها، ادوات قائم، و آدم روها	0.20
۱-کاهش قابلیت اعتماد و اطمینان، تشدید اشتباهات اجرایی و طراحی	0.26
۲-کاهش و تغییر توان هیدرولیکی، رسوب‌گذاری، نفوذ ریشه گیاهان به داخل لوله‌ها و گرفتگی	0.23

۳-تغییر در کمیت و کیفیت آب و فاضلاب: نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و برعکس،	0.32
۴- اختلال در ادوات الکتریکی و سنسورها، قطعی برق تلمبه خانه و ایستگاه‌های پمپاژ و شوک‌های الکتریکی	0.19
۱- افزایش حشرات و موجودات موذی، تجمع باکتری، ویروس و عوامل بیماری‌زا و آلاینده	0.18
۲- ایجاد بو، تولید گازهای سمی، تجمع گازهای خطرناک داخل چاهک‌ها و مجاری، آتش سوزی و انفجار	0.14
۳- اشکال در دسترسی سریع و ایمن به تجهیزات و خطرات بهداشتی کارکنان نگهداری و تعمیر	0.18
۴- نشت آلاینده‌ها از داخل شبکه آبفا به آب زیرزمینی و برعکس	0.26
۵- افزایش قابلیت جابه‌جایی میکروب‌ها و ویروس‌ها و باکتری‌ها	0.24
۱- افزایش هزینه‌های اجرا: جنس لوله‌ها، مصالح، ملات،	0.22
۲- افزایش هزینه نگهداری- تعمیرات و بازرسی‌های دوره‌ای	0.31
۳- ۱ افزایش هزینه‌های اجتماعی، روانی و فرهنگی بر مدیریت	0.22
۴-افزایش هزینه‌های تصفیه اولیه و نهایی	0.26

بر طبق نتایج تحقیق، راهکار اساسی و دراز مدت برای حل مشکل تراز آب زیرسطحی در اغلب شهرهای ایران توسعه سامانه‌های جمع‌آوری فاضلاب شهری است که به‌تدریج جلوی ورود فاضلاب‌های شهری از طریق چاه‌های جذبی به آب زیرسطحی را گرفته و در درازمدت منجر به رعایت حدود تعادل در تراز آب زیرسطحی می‌شوند و تراز آب زیرسطحی شهری را در عمق مناسب با ایمنی مطلوب تنظیم می‌نماید. از آنجا که طبق تجربیات اغلب شهرهای ایران به‌علت عدم پیوستگی در تأمین مالی بودجه طرح‌های کلان عمرانی و زیرساختی امکان توسعه کوتاه مدت سامانه و شبکه‌های جمع آوری فاضلاب شهری وجود ندارد و این فرآیند اغلب چندین دهه طول می‌کشد. طولانی شدن زمان اجرا و بهره برداری از شبکه‌های گردآوری فاضلاب شهری اغلب حتی بیشتر از دوره طراحی آنها ادامه می‌یابد که در این حالت حتی اگر در نهایت شبکه گردآوری فاضلاب شهری اجرایی شود به‌دلیل تراکم‌سازی در مناطق شهری ظرفیت فاضلاب تولیدی با نرخ بیشتری افزایش یافته و شبکه‌های فاضلاب طراحی شده امکان جمع آوری حجم فاضلاب تولیدی را ندارند و ظرفیت طراحی و اجرای شبکه فاضلاب کمتر از ظرفیت فاضلاب تولیدی می‌باشد و مشکلات دیگری از جمله جاری شدن فاضلاب در خیابان‌ها و سطح شهر، تحت فشار عمل کردن شبکه‌های فاضلاب، پس‌زدگی فاضلاب به درون خانه‌ها، ترکیدگی و استهلاک بیشتر سامانه‌های آبفا را با خود به‌دنبال خواهند داشت. با توجه به مسائل فوق‌الذکر حل مشکل تراز آب زیرسطحی بالا در شهرهای ایران با تکیه بر راه حل دراز مدت توسعه سیستم جمع آوری فاضلاب مرتفع نخواهد شد و در این زمینه لازم است که راه حلهای جانبی و کوتاه مدت نیز استفاده گردید. این راهکارها عبارتند از: آب بندی ترک‌ها؛ کنترل نفوذ و ورود رواناب‌های سطحی به داخل و اطراف ادوات زیرزمینی؛ اعمال مشوق و جریمه از طرف شرکت‌های آبفا با هدف کاهش تولید فاضلاب شهروندان؛ تعیین سطح تراز بحرانی آب زیرسطحی شهری؛ جداکردن لوله ناودان و رواناب‌های پشت‌بام‌ها از سیستم‌های فاضلاب و چاه‌های جذبی؛ رعایت تراز حداقل برای ساختمان‌ها نسبت به سطح خیابان و باغچه؛ احداث تنبوشه و لوله زهکش اطراف فونداسیون و سامانه‌های زیرسطحی؛ نصب شیر کنترل برگشت فاضلاب به درون خانه؛ نگهداری لوله‌های لاترال فاضلاب خانگی؛ تقویت سیستم دفع رواناب در مجاورت سیستم دفع فاضلاب؛ احداث زهکش اطراف نورگیر و پنجره زیرزمین‌ها.

نتیجه‌گیری

بالا بودن آب زیرسطحی شهر کرمان بر سامانه‌های آب و فاضلاب شهری اثرات تخریبی و چندگانه‌ای می‌گذارند و خطرات آلودگی میکرو بیولوژیکی و خوردگی را نیز ایجاد می‌کند. اندر کنش و تقابل آب و خاک موجب تخریب سازه‌های در تماس با آب مانند شبکه لوله‌های توزیع آب شهری و شبکه‌های جمع آوری فاضلاب شهری می‌شوند. جهت شناسایی و رتبه بندی مخاطرات آب زیرسطحی کرمان بر سامانه‌های آبفا، در این تحقیق مراحل مختلفی طی شد که در ابتدا تحلیل وضعیت تراز آب زیرسطحی شهر کرمان انجام شد و در مرحله بعدی معیارهای مؤثر در آسیبها شناسایی شد. این معیارها با بررسی آیین‌نامه‌ها، دستورالعمل‌ها، منابع موجود و نظرات کارشناسان معین گردیدند که این موارد به‌صورت زیر استنتاج گردیده است: آسیب مخرب سازه‌ای – فیزیکی: تغییرمکان: نشست، ترک‌خوردگی، تغییر شیب، جدایی اتصالات، خرابی آب بندها، ورود خاک، گل و لای به داخل لوله‌ها، تلبمه و موتورها، شسته شدن خاک اطراف لوله‌ها، برهم‌خوردن تراز و جابه‌جایی محور موتور و تلبمه ها؛ تشدید خوردگی لوله‌ها، آرماتورها، بتن و...؛ افزایش فشار خاک و آب و تغییر شکل مقطع لوله، متورم شدن بستر و کج شدن چاهک‌ها، ادوات قائم، و آدم روها؛ آسیب مخرب فنی عملکردی: کاهش قابلیت اعتماد و اطمینان، تشدید اشتباهات اجرایی و طراحی؛ کاهش و تغییر توان هیدرولیکی، رسوب‌گذاری، نفوذ ریشه گیاهان به داخل لوله‌ها و گرفتگی؛ تغییر در کمیت و کیفیت آب و فاضلاب: نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و برعکس؛ اختلال در ادوات الکتریکی و سنسورها، قطعی برق تلمبه خانه و ایستگاه‌های پمپاژ و شوک‌های الکتریکی؛ آسیب مخرب بهداشتی زیست‌محیطی: افزایش حشرات و موجودات موذی، تجمع باکتری، ویروس و عوامل بیماری‌زا و آلاینده؛ ایجاد بو، تولید گازهای سمی، تجمع گازهای خطرناک داخل چاهک‌ها و مجاری، آتش سوزی و انفجار؛ اشکال در دسترسی سریع و ایمن به تجهیزات و خطرات بهداشتی کارکنان نگهداری و تعمیر؛ نشت آلاینده‌ها از داخل شبکه آبفا به آب زیرزمینی و برعکس؛ افزایش قابلیت جابه‌جایی میکروب‌ها و ویروس‌ها و باکتری‌ها؛ آسیب مخرب اقتصادی و هزینه‌ای: افزایش هزینه‌های اجرا: جنس لوله‌ها، مصالح، ملات،؛ افزایش هزینه نگهداری- تعمیرات و بازرسیهای دورهای؛ افزایش هزینه‌های اجتماعی، روانی و فرهنگی بر مدیریت؛ افزایش هزینه‌های تصفیه اولیه و نهایی؛ پس از مشخص نمودن معیارها، داده‌های مورد نظر جمع آوری شدند برای انجام رتبه بندی آسیبها از به روش FAHP استفاده گردید و رتبه بندی آسیبها و مخاطرات انجام شد.

طبق نتایج رتبه‌بندی فازی مشخص شد در سطح اول به ترتیب مخاطرات مخرب بهداشتی زیست محیطی با وزن نسبی ۰/۳۴، اثرات مخرب فنی عملکردی با وزن نسبی ۰/۲۷، اثرات مخرب اقتصادی با وزن نسبی ۰/۲۳، اثرات مخرب سازه‌ای – فیزیکی با وزن نسبی ۰/۱۵ قرار دارند. در دسته آسیب‌های فیزیکی درجه اهمیت و ریسک مخاطرات به صورت تغییرمکان (نشست، ترک‌خوردگی، تغییر شیب، جدایی اتصالات، خرابی آب بندها) (۰/۲)، ورود خاک، گل و لای به داخل لوله‌ها- تلبمه -موتورها(۰/۱۱)، شسته شدن خاک اطراف لوله‌ها- برهم‌خوردن تراز- جابه‌جایی محور موتور- تلبمه ها(۰/۲۴)؛ تشدید خوردگی لوله‌ها- آرماتورها- بتن و...(۰/۲۵)؛ افزایش فشار خاک - آب و تغییر شکل مقطع لوله- متورم شدن بستر -کج شدن چاهک‌ها- ادوات قائم- و آدم روها (۰/۲)؛ است. درجه ریسک آسیب مخرب فنی عملکردی به صورت: کاهش قابلیت اعتماد و اطمینان(۰/۲۶)، کاهش و تغییر توان هیدرولیکی، رسوب‌گذاری، نفوذ ریشه گیاهان به داخل لوله‌ها و گرفتگی(۰/۲۳)؛ تغییر در کمیت و کیفیت آب و فاضلاب: نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و برعکس(۰/۲۳)؛ اختلال در ادوات الکتریکی و سنسورها، قطعی برق تلمبه خانه و ایستگاه‌های پمپاژ و شوک‌های الکتریکی(۰/۱۹) به‌دست آمد. در دسته آسیب‌های مخرب بهداشتی زیست محیطی درجات

اهمیت و ریسک به صورت افزایش حشرات و موجودات موذی، تجمع باکتری، ویروس و عوامل بیماری‌زا و آلاینده(۰/۱۸)؛ ایجاد بو، تولید گازهای سمی، تجمع گازهای خطرناک داخل چاهک‌ها و مجاری، آتش سوزی و انفجار(۰/۱۴)؛ اشکال در دسترسی سریع و ایمن به تجهیزات و خطرات بهداشتی کارکنان نگهداری و تعمیر(۰/۱۸)؛ نشت آلاینده‌ها از داخل شبکه آبفا به آب زیرزمینی و برعکس(۰/۲۶)؛ افزایش قابلیت جابه‌جایی میکروب‌ها و ویروس‌ها و باکتری‌ها(۰/۲۴) حاصل شد. درنهایت در دسته آسیب مخرب اقتصادی و هزینه‌ای نیز درجات ریسک برابر افزایش هزینه‌های اجرا: جنس لوله‌ها، مصالح، ملات(۰/۲۲)؛ افزایش هزینه نگهداری- تعمیرات و بازرسی‌های دوره‌ای(۰/۳۱)؛ افزایش هزینه‌های اجتماعی، روانی و فرهنگی بر مدیریت(۰/۲۲)؛ افزایش هزینه‌های تصفیه اولیه و نهایی (۰/۲۶) به‌دست آمد.

منابع

1- Lerner, D.N., 1990. Groundwater recharge in urban areas. Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere, 24(1), pp.29-33..

2- Hussein Zadeh M M, Norouzi Tiula R. 2017. Vulnerability mapping of the metropolitan area of Regiom 2 Tehran using the hybrid model FUZZY_AHP. Rescue and Relief ، Vol: 9 ،Issue: 3. 9 (3):1-16. [in Persian]

3- Esmaeili Alavijeh, E., Karimi, S., Alavipoor, F. 2020. Vulnerability Assessment in Urban Areas against Flood with Fuzzy Logic (case study: Tehran District 22). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(3), 349-361. doi: 10.22034/jest.2020.10940.

4- Riahi-Madvar, H., & Seifi, A. 2019. Inferring Damage Effects of Subsurface Water Level Local Uplifting on Water and Wastewater Systems Using Analytical Hierarchy Process (Casy Study: Kerman City). Irrigation Sciences and Engineering, 42(1), 31-45. [in Persian]

5- Kangi A, Khatibi D .2012. Evaluation of liquefaction potential in the Kerman city based on spt. J Geotech Gology (applied geology) 8, 73–82. [in Persian]

6- Asgarian, M., Tabesh, M., & Rouzbahni, A. 2015. Risk assessment of wastewater collection performance using the fuzzy decision-making approach. Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in Persian), 26(4), 74-87. [in Persian]

7- Sivandipour, A. 2018. Probabilistic Earthquake Hazard Zonation in Kerman using Statistical Analysis and Artificial Neural Networks. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 10(Number 3 & 4), 1-9.

8- Ghohroudi Talli, M., Soltani, S., Derafshi, K., Norouzi, R. 2017. The water and wastewater facilities' vulnerability in North of Tehran against Runoff (ABFA region 1). *Environmental Management Hazards*, 4(1), 83-96. doi: 10.22059/jhsci.2017.241485.276 [in Persian]

9- Roozbahani, A., Zahraie, B., & Tabesh, M. 2013. Water quantity and quality risk assessment of urban water supply systems with consideration of uncertainties. Water Wastewater, 24(4), 2-14. [in Persian]

10- Tabesh, M., Aghaei, A., Abrishami, J. 2008. Investigation of the Effects of Influential Parameters on Pipe Burst in Water Distribution Systems Using Evolutionary Polynomial Regression Method, Journal of the College of Engineering, 42(6), pp691-703. [in Persian]

11- Younger, P. L. 1993. Possible environmental impact of the closure of two collieries in County Durham. Water and Environment Journal, 7(5), 521-531.

12- Inanloo, B., Tansel, B., Shams, K., Jin, X., & Gan, A. (2016). A decision aid GIS-based risk assessment and vulnerability analysis approach for transportation and pipeline networks. Safety Science, 84, 57-66.

13- Fayaz, M., Ahmad, S., Ullah, I., & Kim, D. (2018). A blended risk index modelling and visualisation based on hierarchical fuzzy logic for water supply pipeline assessment and management. Processes, 6(5), 61.

14- Liu, T., Ramirez-Marquez, J. E., Jagupilla, S. C., & Prigiobbe, V. (2021). Combining a statistical model with machine learning to predict groundwater flooding (or infiltration) into sewer networks. Journal of Hydrology, 603, 126916.

15- Wéber, R., Huzsvár, T., & Hős, C. (2020). Vulnerability analysis of water distribution

networks to an accidental pipe burst. Water Research, 184, 116178.

16- Ansarifar, M. M., Salarijazi, M., Ghorbani, K., & Kaboli, A. R. (2020). Spatial estimation of aquifer's hydraulic parameters by a combination of borehole data and inverse solution. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 79(2), 729-738.

17- Al-Sefry, S. A., & Şen, Z. (2006). Groundwater rise problem and risk evaluation in major cities of arid lands–Jeddah Case in Kingdom of Saudi Arabia. Water Resources Management, 20(1), 91-108.

18- Bob, M., Rahman, N., Elamin, A., & Taher, S. (2016). Rising groundwater levels problem in urban areas: a case study from the Central Area of Madinah City, Saudi Arabia. Arabian Journal for Science and Engineering, 41(4), 1461-1472.

19- Al-Senafy, M., Hadi, K., Fadlelmawla, A., Al-Fahad, K., Al-Khalid, A., & Bhandary, H. (2015). Causes of groundwater rise at Al-Qurain residential area, Kuwait. Procedia Environmental Sciences, 25, 4-10.

20- Elfeki, A. M., & Bahrawi, J. (2015). A fully distributed spreadsheet modelling as a tool for analysing groundwater level rise problem in Jeddah city. Arabian Journal of Geosciences, 8(4), 2313-2325.

Journal of Aqiufer and Qanat (semi-annual)

Vol 2., No2, Fall & Winter, 2022

p.56-71

http://dx.doi.org/10.22077/jaaq.2022.2197

University of Birjand

Fuzzy ranking the effects of subsurface water level rising in un-sewer network cities on the underground water structures (Case study: Kerman city)

1- Hossien Riahi-Madvar[1,*]

*Corresponding author: h.riahi@vru.ac.ir

Received: 2022/01/20; Accepted: 2022/07/26

Abstract

The rising of subsurface groundwater level has different multiple damages to the water and wastewater infrastructures in Kerman City. In the current study to identify the damage effects of rising water levels on the underground water structures (urban water distribution networks, sewer collection network, water transfer lines and underground pumping stations) firstly the water level changes are studied, then the FAHP is used to infer and ranking the destructive effects. based on the results of fuzzy ranking, healthy and environmentally destructive effects with 0.34 relative weight are the most important ones. The operational and performance damages with 0.27 relative weight and the structural and physical damages with 0.15 relative weights are ranked. In the physical class of damages, the corrosive damage of pipes and concretes with 0.25 relative weight has the highest level of risk. In the physical class of damages, the reduction in reliability and insurance has a 0.26 relative weight followed by the reduction of hydraulic power, sedimentation and entering the roots with 0.2 relative weight, and changes in water and wastewater quality and quantity have a relative weight of 0.23. Also, the leakage of pollutants from and into the water-wastewater networks has a relative weight of 0.26 in the class of health and environmental damages. Finally, in the class of economic and cost damages the risk of increasing the operation and maintenance of the networks with 0.31 relative weights is identified as the most important destructive damage.

Keywords: Fuzzy ranking, Vulnerability of water structures, groundwater, sewer network, analytical hierarchy process.

[1] Department of Water Structures Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.