Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE) **Vol. 42, No. 1, Spring 2019, p. 31-45**

EXTENDED ABSTRACT

Inferring Damage Effects of Subsurface Water Level Local Uplifting on Water and Wastewatwr Systems Using Analytical Hierarchy Process (Casy Study: Kerman City)

H. Riahi-Madvar[1*] and A. Seifi[2]

1*- Corresponding Author, Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran. *(h.riahi@vru.ac.ir)*

2- Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran.

Received: 26 July 2016 Revised: 26 May 2017 Accepted: 30 May 2017

Keywords: Damage, Effects of Subsurface Water, Environmental-Saintary, Operational-Technical, Structural Economical, AHP. ***DOI:*** 10.22055/jise.2017.18395.1333.

Introduction

With urban developments and the aging of urban water distribution pipes their demand for repair and maintenance is rapidly grown. There are several factors that affect the performance and leakage in water and wastewater distribution networks (Ameyaw and Chan, 2016). By increasing the water leakage from pipes and wastewater depletion from houses to the injection wells, water level under the city ground is rising and saturation condition will be created near the underground infrastructures. In recent years, local uplifting of subsurface water level in metropolises created different challenges over water and wastewater systems with multiple damage effects (Baah et al., 2015;Qiu et al., 2016).İn recent two decades, the rising of groundwater table in Kerman city have caused several challanges over the water and wasetwaer infrustructures. İn the ancint zone of the Kerman city, water level come up to 3 meter under the groundsurface and is interacted with several underground structures and basment flooding. The rising water table have several destructive effects over the urban infrastructures. The main purpose of the present study is to investigate the effects of rising subsurface water level in Kerman city by using an AHP based damage prioritization to depict the relative importance or urgency of a damages of water level rising over infrastructures.

Methodology

The City of Kerman as the case study of the present paper is located in the southeastern of Iran. It has an elevation of 1760 m from the sea level as the average altitude of the city. It has dry and relatively hot climate that suffers from water shortage and drought effects over the past decade. The city's water supply system is based on the groundwater transfer from nibeghour aquifers to the city. The city aquifer is composed of a soft clay and sand alluvial layers. The balancing parameters of water budghet in the city are mean annual precipitation: 140-mm, mean annual evaporation: 2050 mm, present population: 550,000, annual water usage: 40 MCM.. Currently, there are 75 water wells with average discharge of 1430 liter per second, two Qanats with 1550 litere per second, and a conveyance system of near regions having 80 km lenght with 600 liter per second discharge. These are three main sources of water supply for the urban demand. By water to wsetwaer conversion fraction of 0.8, there is a 2864 litere per second sewer dishcarge that infiltrats to the groundwater and causes the groundwater level rising .

As mentiond, The main purpose of this study is to identify, infer and weight the damage effects in Kerman city using analytical hierarchy process. Therefore, based on the analysis of subsurface

ground water level in Kerman city and investigating standards, regulations, guidelines in current references and expert opinions, damage indices ahead in 4 levels with 18 damage inferred are illustrated (Fig. 1). Ranking of damage preferences based on pairwise matrix and geometrical averaging of weights used for building group matrices. Inconsistency is controlled by I<0.1 and weight ratio and priority derived by AHP.

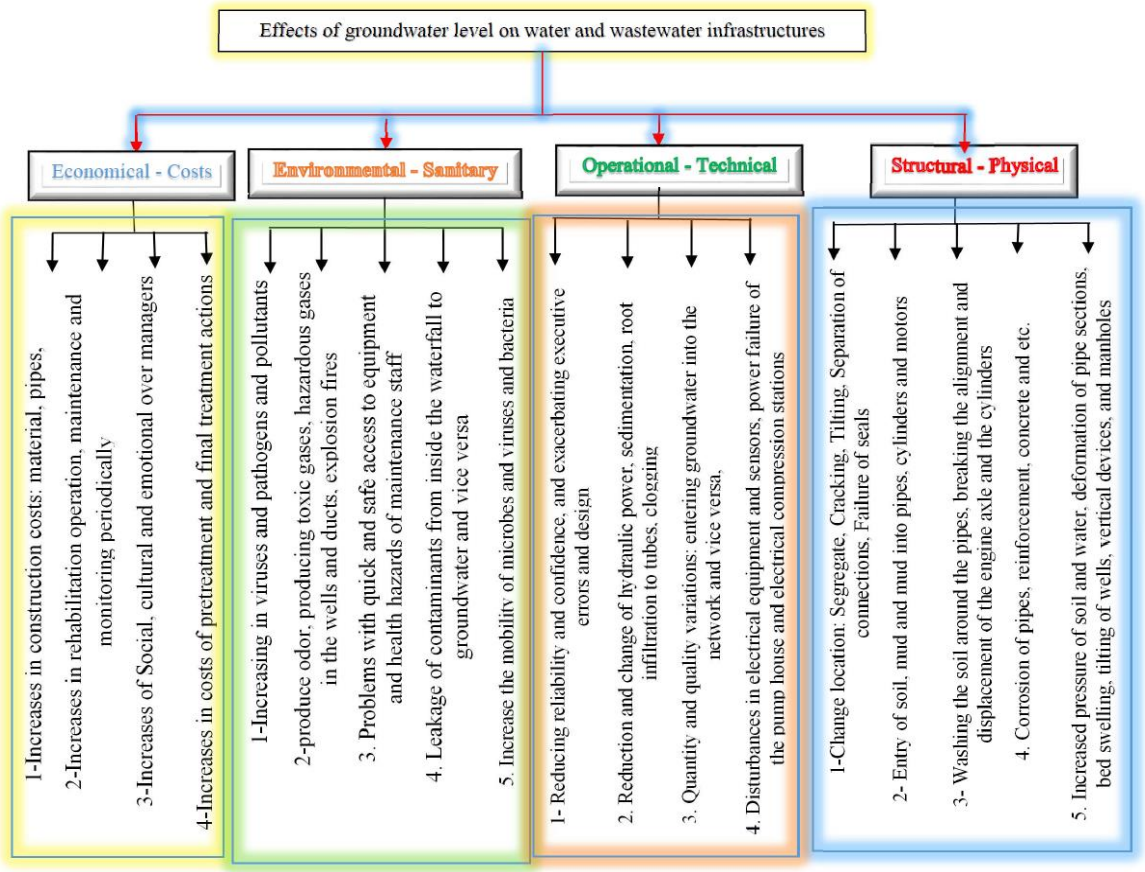
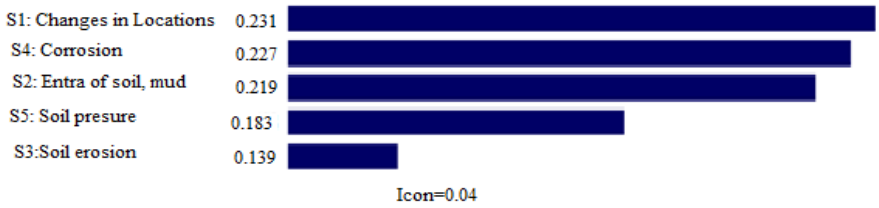


Fig. 1- Hierarchy process framework of subsurface level rising effects on water infrustructures

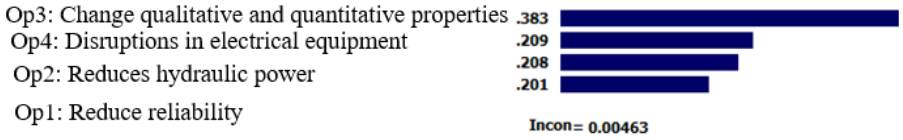
Results and Discussion

Based on the results that are provided for the model components in Fig. 2 it is decleared that, heath-environmental damages with a weight of 0.480, engineering-operational with a weight of 0.265, physical-structural with a weight of 0.145 and economics with a weight of 0.108 were ranked respectively. Sub-factors of structures displacement: subsidence, slope changes, junction and joint separation with a weight of 23.1 %, changes in quality and quantity of water and wastewater into network a with weight of 38.3, pollutant leakage from wastewater networks to the groundwater and reverse with a weight of 30.6%, primary and secondary treatment costs increasing with a weight of 32.1% were ranked as the highest damage inferences. Finally, sensitivity analysis of damages' weights and intensity was performed.

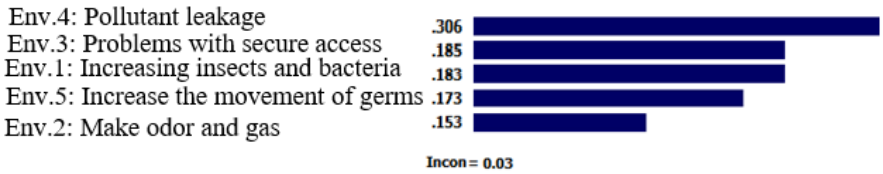
 DOI: 10.22055/jise.2017.18395.1333



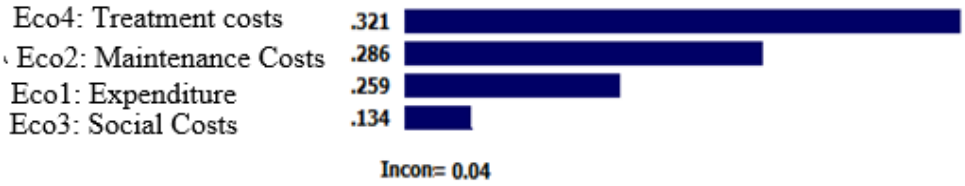
A) Structural - Physical damages



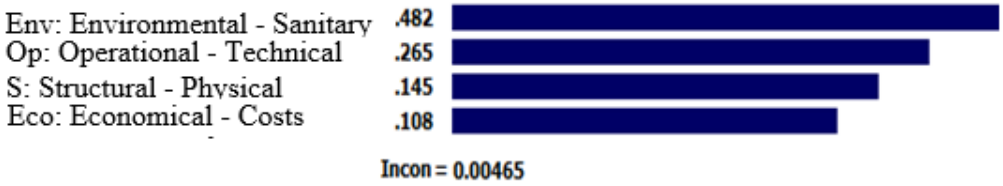
B) Operational - Technical damages



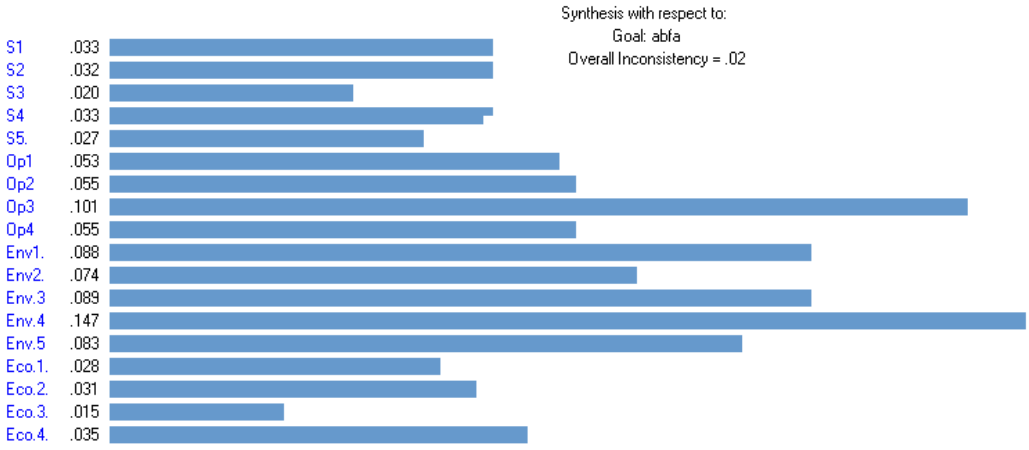
C) Environmental -Sanitary damages



D) Economical - Costs damages



E) Basic main level damages



F) Overall weights importance of damages based on the AHP framework

Fig. 2- Importance of each damage separately (A-E) and overall relative weights of subsurface rising damages on infrastructures

Conclusions

This paper showed that the AHP analysis is suitable to deal with complex decision-making problems, such as identification of the most severe damage threats contributing to better understand and decrease high groundwater level in urban areas. The environmental damages with 0.482 weight is the most important challenge, in second rank is the operational and technical damage with a weight of 0.265, the third one is structural damages with 0.145 weight and the final one is economic effects having a weight of 0.108.

Results of the study declared that retardation in developments of urban sewer networks simultaneous with the urban growth, especially in Kerman city that is located over an upper finer soil layer, will results in creation of several destroying factors of water and wastewater infrastructures.

Acknowledgement

This article is part of a research project approved by the Iran's National Elites Foundation and the national water and wastewater engineering Company (WWEC), with a code of 10316 95 p. Therefore, we are grateful to the support of the National Elite Foundation, and Eng. Atay, the head of the National Research Center of WWEC and Eng. Hayatabadi, Director of the Kerman WWEC research office .

References

1- Ameyaw, E.E. and Chan, A.P., 2016. A fuzzy approach for the allocation of risks in public–private partnership water-infrastructure projects in developing countries. *Journal of Infrastructure Systems*, 22(3), p.04016016.

2- Baah, K., Dubey, B., Harvey, R., & McBean, E. 2015. A risk-based approach to sanitary sewer pipe asset management. *Science of the Total Environment*, 505, pp.1011-1017.

3- Qiu, M., Shi, L., Teng, C. and Zhou, Y. 2016. Assessment of Water Inrush Risk Using the Fuzzy Delphi Analytic Hierarchy Process and Grey Relational Analysis in the Liangzhuang Coal Mine, China. Mine *Water and the Environment*, 1, pp.1-12.

© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری

جلد ۴۲، شماره‌ی۱، بهار ۹۸، ص. ۴۵-۳۱

استنتاج اثرات تخریبی بالاآمدگی موضعی آب زیرسطحی بر سامانه‌های آبفای شهری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(مطالعه موردی شهر کرمان)

حسین ریاحی مدوار[۱*] و اکرم سیفی[۲]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه ولیعصر(عج) رفسنجان h.riahi@vru.ac.ir

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه ولیعصر(عج) رفسنجان.

دریافت: ۱۳۹۵/۵/۵ بازنگری: ۱۳۹۶/۳/۵ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۹

چکیده

طی سال‌های اخیر بالا آمدن تراز آب زیرسطحی در کلان‌شهرها چالش‌های متعددی پیرامون سامانه‌های آب و فاضلاب شهری با اثرات تخریبی چندگانه ایجاد نموده است. این پژوهش با هدف شناسائی و وزن‌دهی مخاطرات بالا آمدگی آب زیرسطحی کرمان بر سامانه‌های آبفا با رویکرد مبتنی بر تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفته است. بدین منظور براساس تحلیل وضعیت تراز آب زیرسطحی شهرکرمان و با بررسی آیین نامه‌ها، دستورالعمل‌ها، منابع موجود و نظرات خبرگان شاخص‌های بیان‌گر چالش‌های پیش رو در ٤ سطح و ۱۸ آسیب استنتاج گردیده است. اولویت‌بندی ارجحیت آسیب‌ها براساس ماتریس مقایسه زوجی فردی و میانگین‌گیری هندسی وزن‌ها برای تبدیل به ماتریس مقایسه گروهی صورت گرفته و پس از تائید نرخ ناسازگاری سطوح آسیب و زیرمؤلفه‌های آن‌ها (I<0.1) تحلیل وزن‌های نسبی و رتبه‌بندی اولویت‌ها با تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفت. طبق نتایج آسیب‌های بهداشتی - زیست محیطی با وزن ۰/٤۸۲، فنی-عملکردی با وزن ۰/۲٦۵، سازه‌ای فیزیکی با وزن ۰/۱٤۵ و هزینه‌ای – اقتصادی با وزن ۰/۱۰۸ رتبه‌بندی گردید. زیرمؤلفه‌های تغییرمکان: نشست، ترک-خوردگی، تغییر شیب،جدایی اتصالات، خرابی آب‌بندها با وزن نسبی ۲۳/۱ درصد، تغییر در کمیت و کیفیت آب و فاضلاب: نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و برعکس با وزن نسبی ۳۸/۳ درصد، نشت آلاینده ها از داخل شبکه آبفا به آب زیرزمینی و برعکس با وزن نسبی ۳۰/٦ درصد، افزایش هزینه‌های تصفیه اولیه و نهایی با وزن نسبی ۳۲/۱ درصد، به‌عنوان بالاترین مخاطرات استنتاج گردید. تحلیل حساسیت مخاطرات نسبت به هرکدام از مؤلفه‌ها نیز انجام شد.

کلید واژه‌ها: آسیب، مخاطرات آب‌زیرسطحی، بهداشتی-زیست‌محیطی، فنی-عملکردی، سازه‌ای، اقتصادی، AHP.

مقدمه

با توسعه شهرها و با توجه به قدمت جوامع شهری، سن سامانه‌ها و شبکه‌های آب و فاضلاب (آبفا) شهری نیز به‌تدریج بالا می رود و نیاز به جایگزینی و مرمت آن‌ها روز به روز مشهودتر می‌شود. سوالی که اینجا مطرح است این است که چه مقدار از شبکه‌ها و سامانه‌ها و کدام یک از اجزاء آن را در آینده باید جایگزین کنیم و آیا امکان وقوع پیک جایگزینی و نوسازی سامانه‌های آبفا وجود دارد (Cuppens et al., 2013). از طرف دیگر میزان بالای املاح، آلودگی با عناصر کمیاب و وجود مواد آلی سم، پساب‌های صنعتی و پساب‌های شهری (زهکش‌های روباز)، زه‌آب آلوده و پساب‌ها می‌توانند عوارضی از قبیل تخریب خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، تخریب و خوردگی سامانه‌های آبفا شهری، مشکلات بهداشتی مرتبط با آب و آلودگی را به همراه داشته باشند. گسترش آبخیزهای شهری سلامت اکوسیستم‌های مرتبط را با ریسک‌های متعددی روبرو می‌کند. این ریسک‌ها توسط محرک‌های مختلفی همچون فیزیکی (حذف پوشش سبز گیاهی، گسترش سطوح نفوذ ناپذیر، به‌سازی رودخانه و مسیل‌ها)، شیمیائی (جریان پساب‌های صنعتی، ته‌نشینی ذرات آلاینده هوا، آلاینده‌های غیرنقطه‌ای در کاربری اراضی مختلف) و بیولوژیکی (پاتوژنهای انسانی و حیوانی، انواع ویروس و باکتری‌ها) ایجاد می‌شوند (Zandbergen, 1998). بالابودن سطح آب زیرسطحی در عملیات حفاری باعث هجوم جریان آب‌های زیرسطحی می‌شود. ریسک هجوم آب زیرسطحی تابع شش پارامتر خصوصیات آبدهی آبخوان، فشار هیدرولیکی آب، خصوصیات زمین‌شناسی گسل، ضخامت مؤثر آکی‌تارد، شکنندگی سنگ‌ها تعریف شده و با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی فازی اقدام به تهیه نقشه‌های ریسک گردیده است(Qiu et al., 2017). عملکرد صحیح زیرساخت‌های شهری و حفاظت آن‌ها پیش‌نیاز اساسی توسعه اجتماعی، اقتصادی پایدار شهری محسوب می‌شود. در برخی مواقع شدت تخریب و آسیب‌ها به سامانه به حدی است که روش‌ها و اعمال ترمیمی

DOI: 10.22055/jise.2017.18395.1333

پاسخگو نبوده و ناچار به جایگزینی و تعویض بخش‌هایی از شبکه می‌باشیم و تاخیر در این زمینه بحران‌های زیست محیطی و بهداشتی شدیدی برای جوامع شهری و منابع آب زیرزمینی ایجاد می‌نماید (Trucco et al., 2012). Ameyaw و Chan (2016) با تحلیل دلفی فازی و استفاده از نظرات خبرگان شاخص‌های مؤثر بر ریسک زیرساخت‌های آب شهری را در بخش‌های شبکه آبرسانی عمومی و خصوصی بررسی نمودند.

Tabesh et al. (2008) نقش پارامترهای سن، جنس، قطر، طول و تعداد انشعاب بر حوادث در لوله‌های اصلی آبرسانی را بررسی نمودند. در زمینه ارزیابی ریسک و مخاطرات پیش روی زیرساخت‌ها و سامانه‌های آب و فاضلاب شهری پژوهش‌هائی همچون ارزیابی ریسک زیست محیطی سیستم زهکشی شهری اوکلند نیوزیلند با رویکرد ترکیبی کمی کیفیDavis et al (2002) بررسی ریسک یکپارچه زیرساخت‌های آب و راه شهری با روش تحلیل سلسله مراتبی و نزدیکترین همسایگی در شهر گلف کانادا Shahata و Zayed (2015) ، بررسی اثرات تغییرات اقلیمی روی زیرساخت‌های شهری با رویکرد تحلیل شبکه‌ای Wangو Wang (2016) ارزیابی عملکرد مبتنی بر ریسک شبکه جمع‌آوری فاضلاب و سیلاب‌های شهری انتاریو کانادا تحت شرایط تغییرات اقلیمی Nanos و Filion (2016) شناسایی ملزومات اولیه تدوین سیستم‌های یکپارچه ارزیابی ریسک سدهای خاکی در آمریکا .Gulgec et al (2015) ، ارزیابی یکپارچه شدت و توالی شکست و ریسک سامانه‌های آبفای شهری مبتنی بر شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در مونترال کانادا.Elsawah et al (2016)، تدوین مدلی برای ارزیابی ریسک زیست محیطی منتجه از فعالیت‌های مختلف بشری Garrido و Requena, (2014) انجام شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مطالعه‌های محدودی پیرامون اثرات بالاآمدگی تراز آب زیرسطحی شهری بر سامانه‌های آبفای شهری انجام شده است و لزوم تحقیق حاضر را مشهود می‌سازد.

سامانه‌های آبفای شهری از جمله زیرساخت‌های اساسی درتوسعه شهری محسوب می‌شوند و تداوم حیات طرح‌های توسعه پایدار به حفظ عملکرد این سیستم‌ها بستگی دارد. آسیب دیدن این سامانه‌ها علاوه بر صدمات درون‌زا، صدمات اقتصادی و اجتماعی ایجاد می‌نماید و عملکرد صحیح سایر زیرساخت‌های شهری را نیز با چالش روبرو نماید (Bostani et al., 2014). توسعه شهرنشینی با گسترش سطوح نفوذناپذیر، تغذیه مستقیم آبخوان شهری راکاهش می‌دهند ولی نشت از لوله‌های توزیع آب شهری، شبکه‌های فاضلاب، چاه‌های جذبی و سایر مسیرهای انتقال آب باعث تغذیه آبخوان‌های شهری می‌شود (Torabi, 2015). این تغییرات اغلب تغذیه را نسبت به قبل از توسعه شهر افزایش می‌دهد. در مناطق خشک و در شهرهای متراکم که آب معمولاً از حوزه‌های مجاور برای شرب تأمین می‌شود، نرخ افزایش قابل توجه می‌باشد (Lerner, 1990). در شهر کرمان انتقال و تأمین آب شرب به محدوده شهری، وجود چاه‌های جذبی فاضلاب و به طور هم‌زمان عدم برداشت آب از چاه‌های سطح شهر، منجر به افزایش سطح آب زیرزمینی خصوصاً در مناطق با تمرکز بالای جمعیتی و فاقد سیستم جمع آوری فاضلاب شده است. درنیمه اول قرن بیستم، وسعت شهر کرمان ۱۵ تا ۱۰ درصد امروزی بوده و آب موردنیاز ساکنان شهر از قنوات و چاه خانگی تأمین می‌شده است و فاضلاب‌های خانگی نیز به روش سنتی با چاه جذبی به سفره‌ی آب زیرزمینی انتقال می‌یابد. رشد جمعیت، توسعه‌ی شهر و صنایع، باعث افزایش حجم فاضلاب تولیدی شده است. در این شرایط مقدار فاضلاب وارد شده به زمین از ظرفیت نفوذپذیری خاک بیشتر شده و در نبود شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری، سطح آب زیرزمینی شهر کرمان افزایش یافته است (Kangi and Khatibi, 2012). طی دو دهه اخیر، بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی و عدم وجود سیستم جمع آوری آن، در شهر کرمان شرایط بحرانی را ایجاد نموده است. در محدوده بافت قدیمی شهر، عمق آب به سه متر و در مناطق حاشیه‌ای شهر بین ۱۰ تا ۲۰ متر قرار دارد. خطرات بالقوه‌ی بالا آمدن آب‌های زیر سطحی محدود به بافت قدیم شهر کرمان و ساختمان‌ها نیست بلکه بالابودن آب زیرسطحی شهر کرمان بر سامانه‌های آب و فاضلاب شهری اثرات تخریبی و چندگانه‌ای می‌گذارند و خطرات آلودگی میکروبیولوژیکی و خوردگی را نیز ایجاد می‌کند. این پدیده به جز شهر کرمان، در دیگر مناطق کشور از جمله تهران، مشهد، شیراز و بجنورد نیز ثبت شده است. به رغم وجود این تجربیات، نبود یک سیستم مدیریت دانش و نشر تجربیات باعث شده است که با ایجاد چنین پدیده‌ای، مدیریت آن به‌عنوان یک پدیده‌ی نوظهور صورت پذیرد. اکنون برای کنترل آن شهرداری کرمان نسبت به حفاری چاه اقدام و آب استحصال شده به مصارف فضای سبز تخصیص داده شده است. از طرف دیگر درصورت پایین رفتن سطح آب زیرزمینی با توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب نگرانی در خصوص نشست زمین و مخاطرات آن به وجود خواهد آمد. با این حال آنچه دارای اهمیت می‌باشد، اثرات متفاوت، فرصت‌ها و چالش‌های مختلفی است که در بروز این پدیده مستتر است. بالاآمدگی موضعی آب در شهر کرمان به‌عنوان یکی از مناطق خشک و کویری ایران در صورت مدیریت مناسب و صحیح می‌تواند به‌عنوان یک فرصت ارزیابی گردد. با توجه به شدت تخریب و آسیب‌های حاصله از بالابودن سطح آب زیرسطحی بر سامانه‌های آب و فاضلاب شهری از یک طرف و هزینه‌های تعمیر و مرمت سامانه‌های آب و فاضلاب شهریو مدیریت حوادث و اتفاقات در آبفای شهری، از طرف دیگر، ضرورت بررسی اثرات حاصله از بالاآمدن آب زیر سطحی بر سامانه های آب و فاضلاب را نشان می‌دهد. آسیب‌سنجی تخریب‌های ایجاد شده برای کاهش درجه آسیب و ارائه راهکارهای کاربردی با توجه به سناریوهای مدیریتی مختلف پیش‌روی آبفای شهری ضروری است. با توجه به کمبود محسوس مطالعه‌ها در زمینه بالا آمدگی آب زیرسطحی و اثرات مخرب آن

بر سازه‌ها و سامانه‌های آبفا، این تحقیق با هدف شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌ها و اثرات تخریبی پیش‌روی سامانه‌های آبفای شهری در اثر بالاآمدگی موضعی آب زیرسطحی کلان‌شهرها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر کرمان مرکز استان کرمان در مختصات جغرافیائی ۵۷ درجه و۵ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. متوسط میزان بارندگی در این شهر۱۴۰ میلی‌متر در سال است. مساحت این شهر ۴۸۷۹۷ کیلومترمربع، ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۷۶۰ متر می‌باشد. شهر کرمان بر روی یک لایه ماسه با منشاء بادی به عمق ۱۰ متر قرار دارد که در زیر این افق ماسه‌ای، رسوبات با بافت ریزدانه رسی–سیلتی و نفوذپذیری کم که ضخامت آن‌هابه چند صد متر می رسد واقع شده است (Hasanpour et al.,2001).

آب زیرسطحی شهر کرمان

سفره آب زیرزمینی شهر کرمان از نوع آزاد بوده و و در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای در شعاع هفت کیلومتری شهر کرمان بالاآمدگی سطح آب زیرسطحی مشاهده می‌شود (شکل ۱). آب شرب شهر کرمان از آبخوان دشت کرمان- ماهان – جوپار توسط ۶۴ حلقه چاه تأمین می‌گردد که هفت حلقه آن با توسعه شهر و بالا آمدن آب زیرسطحی ونفوذ آلودگی فاضلاب شهری به شعاع تأثیر آن‌ها از مدار شبکه خارج گردیده‌اند. در حال حاضر ۵۷ حلقه چاه با آبدهی متوسط ۱۴۳۰ لیتر بر ثانیه، دو رشته قنات با آبدهی متوسط ۱۵۵۰ لیتر بر ثانیه، طرح انتقال آب‌های زیرزمینی از ۸۰ کیلومتری جنوب کرمان با آبدهی ۶۰۰ لیتر در ثانیه منابع تامین کننده آب شرب شهر می‌باشند که با نرخ تبدیل ۸۰ درصد دبی فاضلاب تولید شده توسط سیستم شهری ۲۸۶۴ لیتر بر ثانیه است که توسط چاه‌های جذبی وارد آبخوان زیرسطحی شهر می‌شود و مطابق شکل (۱) باعث بالا آمدن آب زیرسطحی شهر می‌شود. در شکل (۱) تغییرات تراز آب زیرسطحی شهر کرمان درسال‌های ۱۳۶۸ و۱۳۸۴ نشان داده شده است. طبق شکل در بخش‌هایی از شهر کرمان بالا آمدگی سطح آب‌های زیرزمینی، تغییرات در میزان نفوذپذیری، عمق و شکل سنگ کف، تغذیه و زهکش‌های جانبی آبخوان، جهت جریان آب زیرزمینی تغییر کرده است. بیشترین گرادیان هیدرولیکی یا شیب آب زیرزمینی متناسب با شرایط توپوگرافی و نوع آبرفت حدود هفت در هزار و کمترین گرادیان حدود ۱/۵ در هزار مربوط به قسمت‌های مرکزی دشت در حوالی شهر کرمان می‌باشد (شکل ۱). روند شیب آب‌های زیر زمینی در حوالی دانشگاه کرمان نسبت به گذشته از ۱/۵ در هزار به ۰/۵ در هزار رسیده و این عامل نشان می‌دهد که بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی در سطح شهر با کاهش شیب هیدرولیکی، جریان آب‌های زیرزمینی را به سمت چاه‌های تامین کننده آب مشروب کرمان تغییر داده است. از مناطق جنوبی به سمت ناحیه مرکز و شمال غربی دشت، عمق آب زیرسطحی کم می‌شود. در حاشیه ارتفاعات غربی این عمق به ۷۰ تا ۸۰ متر رسیده و در حاشیه ارتفاعات شرقی به ۳۰ متر و در بافت قدیم شهر به سه متر کاهش می‌یابد. 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 هیدرودینامیکی منطقه، فقدان شبکه فاضلاب شهری و وجود چاه‌های جذبی، تغییر اراضی کشاورزی به مسکونی، تخریب و خشک شدن قنات‌های سطح شهر ایجاد شده است.

شیب ملایم این منحنی‌ها نشان دهنده افت کمتر آب‌های زیرزمینی در قسمت‌های مرکزی شهر است. در برخی از نواحی خصوصاً در مراکز پرجمعیت شهر به دلیل بازگشت فاضلاب شهری به سفره آبهای زیرزمینی بالاآمدگی سطح آبهای زیرزمینی دیده می‌شود و این در حالی است که در مناطق خارج از محدوده شهری (محدوده سعیدی در شکل ۱) که چاه‌های کشاورزی آب زیرزمینی را تخلیه می‌کنند افت سطح آب اتفاق افتاده است. بنابراین طبق اطلاعات شکل (۱) مشاهده می‌شود که در محدوده داخل شهر کرمان در اثر ورود فاضلاب شهری تراز آب زیرسطحی افزایش یافته ولی در مناطق خارج از محدوده توسعه شهری تراز آب زیرزمینی کاهش یافته و افت محسوس سطح آب رخ داده است که بعلت برداشت بیش از حد توسط چاه‌های عمیق کشاورزی است. بنابراین ملاحظه می‌شود آب زیرسطحی در محدوده داخل شهر کرمان در حال افزایش است و این افزایش باعث نم‌زدگی و تخریب برخی ابنیه تاریخی شده است. حمام باغ لـله و مسجد جامع کرمان دو نمونه از این بناها هستند که در اثر بالا آمدن آب زیرسطحی کرمان، نم‌زده‌اند و در حال تخریب هستند. از منظر زیست محیطی و آلودگی نیز میانگین غلظت یون‌های Cl- ,SO4 ,Mg2+,Ca2+,Na+HCO3 سنجش شده در نمونه‌های شش چاه پمپاژ محدوده کرمان در سال‌های ۱۳۷۳ و ۱۳۸۵ در جدول (۱) مقایسه شده است. برطبق این جدول غلظت یون‌های سدیم و کلر روند افزایشی دارند که این را می‌توان ناشی از ورود فاضلاب به سفرهٔ آب زیرزمینی دانست .ورود فاضلاب خانگی به آب زیرسطحی شهر باعث افزایش غلظت یون‌های نیترات، سدیم و کلراید شده و با آزاد کردن یون کلسیم از سطح رس و جایگزینی با سدیم، باعث افزایش غلظت کلسیم در آبزیر سطحی شهرکرمان می‌شود.

تدوین پرسشنامه‌های تخصصی و استنتاج معیارهای تخریبی آب‌زیرسطحی با AHP

در مراحل مختلف این پژوهش همچون شناسائی شاخص‌ها و مولفه‌ها و آسیب و معیارها، وزن‌دهی، رتبه‌بندی و ارزیابی آسیب‌های پیش‌رو از رویکرد طراحی پرسشنامه‌های فنی و

DOI: 10.22055/jise.2017.18395.1333

تخصصی , AHP و استفاده از نظرات پژوهشگران دانشگاهی، کارشناسان و مدیران شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و محققین مستقل استفاده گردید. ابتدا پرسشنامه طراحی شده در اختیار پنج تن از اساتید دانشگاهی و کارشناسان فنی قرار گرفت و پس از بازبینی نظرات، پرسشنامه نهائی تهیه شد.

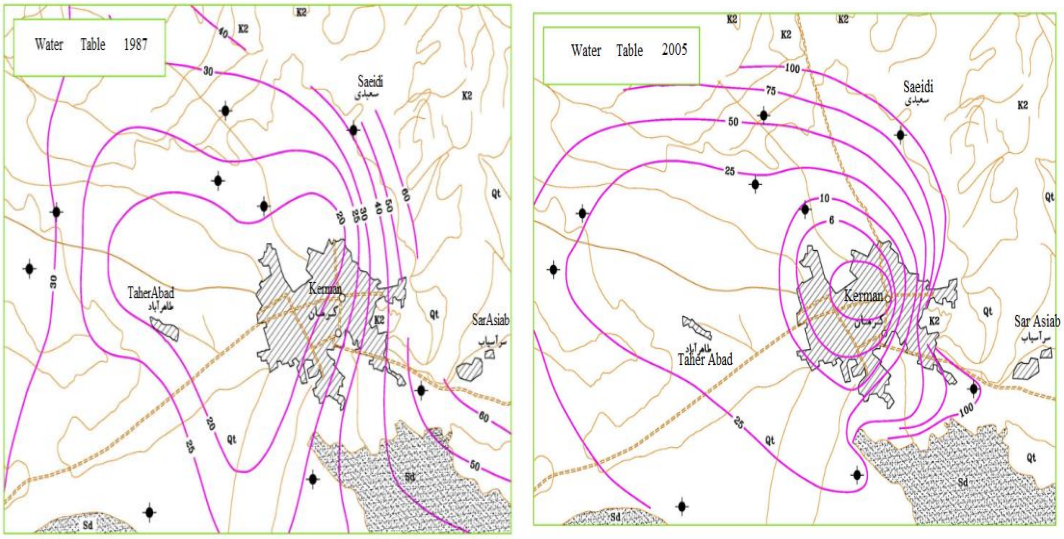


Fig 1- Countrours of groundwater level in 1987 and 2005 in Kerman city
شکل ۱- نقشه منحنی‌های هم عمق آب زیرزمینی شهر کرمان در سال‌های ۱۳۶۸و ۱۳۸٤ (Nikdel, 2014)

جدول ۱ –میزان تغییرات آلاینده‌های آب زیرزمینی شهر کرمان در سال‌های ۱۳۷۳ و۱۳۸۵ (Nikdel, 2014)
Table 1- Changes in groundwater contaminets in Kerman city 1992 and 2006

Parameters	Yearly Changes (%)	Changes in 12 years	Values in 2006 (ppm)	Values in 1992 (ppm)
Na	22	2.7	873.2	321.3
Ca	8	1.01	96.3	95.3
Mg	14	1.64	142.8	86.9
Cl	11	1.34	517.3	385.7
SO4	12	1.45	851.6	586.8
HCO3	14	1.67	455.6	272.4

پرسشنامه برای ۵۰ تن از افراد مرتبط در سه بخش دانشگاهی، شرکت‌های آبفا و محققین مستقل ارسال شد و سپس تحلیل نتایج پرسشنامه‌های تکمیل شده با رویکرد AHP انجام شد. شناسائی مؤلفه‌های تخریب و آسیب با بررسی آیین نامه‌ها، دستورالعمل‌ها، منابع موجود همچون نشریات شماره ۱۸۵، ۲۹۸، ۶۸۷ Management و Planning Organization (2014)؛ National Water و Wastewater Company (2008)؛ Mozhdeganifar و Rahnema (2009)؛ Roozbahani et al. (2013) و Tabesh et al. (2008) انجام شد. در شهر کرمان سطح آب‌های زیرسطحی بالاست و با سامانه های آب و فاضلاب شهری تأثیر و تداخل دارد، که هزینه‌های نگهداری، بهره‌برداری، و ریسک‌ها بسیار بیشتر خواهد بود و ضرورت شناسایی اثرات متقابل آن بر سامانه‌های آب و فاضلاب شهری و تدوین راهکارهای کاربردی مقابله با چالش‌های پیش‌رو را مشهود می‌سازد. برای استنتاج معیارهای اثرات تخریبی باید مهمترین اثرات تخریبی بالازدگی موضعی آب زیرسطحی بر سامانه‌های آبفا را شناسایی نمود تا در فاز بعدی بتوان راه‌های کاهش اثرات تخریبی آن را مشخص کرده و استراتژی‌های مدیریتی و اجرایی مناسب را استفاده نمود. در این تحقیق از AHP به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری استفاده شد.Nakhaee et al (2016)، بدین‌منظور در ابتدا درخت سلسله مراتبی مدل مفهومی طرح طبق شکل (۲) فراهم شد. باکاربرد AHP، شناسایی مؤلفه‌ها و وزن شاخص‌های منتخب برای شناسایی و رتبه بندی آسیب‌های بالا آمدن آب زیر سطحی برسامانه‌های آبفا صورت گرفت. در این تحقیق بر مبنای بررسی گزارش‌های آسیب‌ها، حوادث و اتفاقات شبکه‌های آب و فاضلاب شهری، و نظرسنجی از طریق خبرگان دانشگاهی معیارهای آسیب استنتاج گردید. با تلفیق کلیه موارد، شاخص‌های زیر در سطح اول آسیب قرار گرفت: ۱- اثرات مخرب سازه ای– فیزیکی، ۲- اثرات مخرب فنی عملکردی، ۳–اثرات مخرب بهداشتی زیست محیطی، ۴–اثرات مخرب اقتصادی و هزینه‌ای. بر اساس مدل مفهومی طرح شده در شکل (۲) مقایسه زوجی هر کدام از آسیب‌های حاصله از بالا آمدن آب زیرسطحی دو

به دو مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرند که در نهایت ارجحیت هر مخاطره نسبت به مخاطره دیگر تعیین می‌شود.

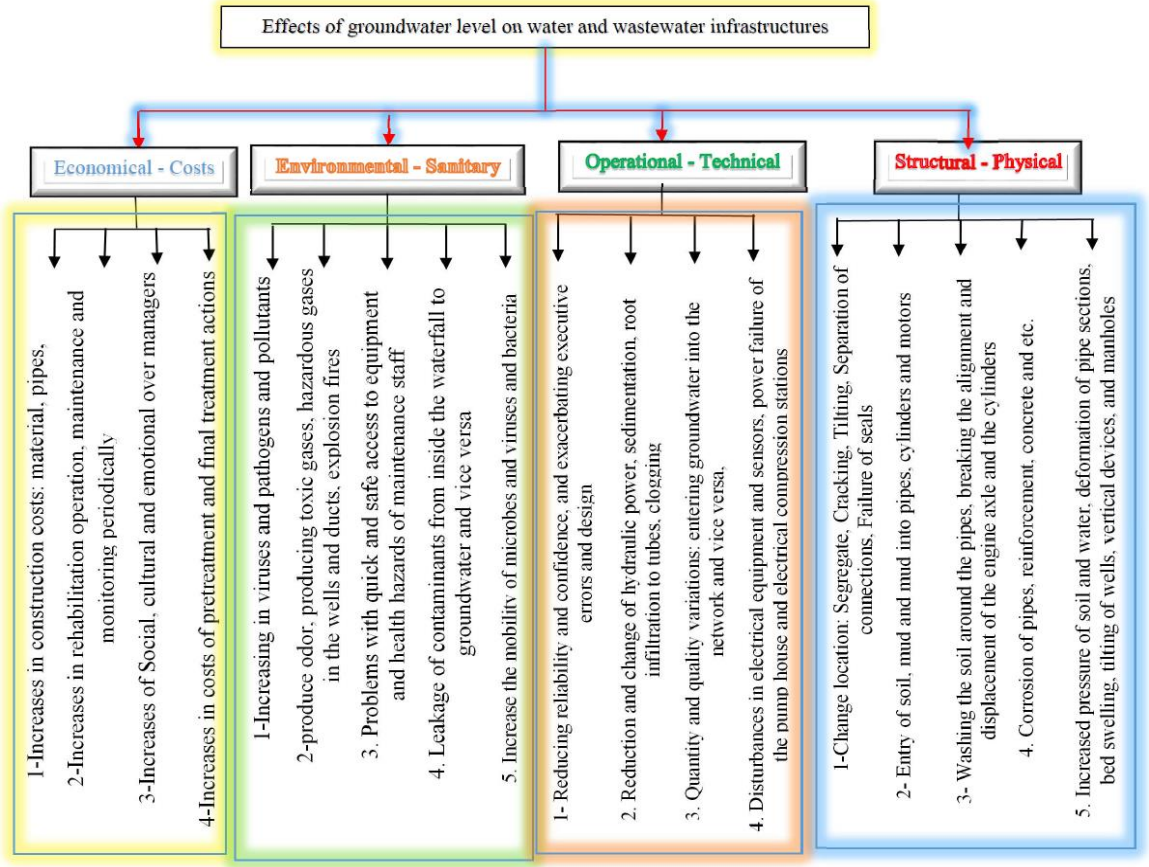


Fig 2- Hierarchy process framework of subsurface level rising effects on water infrustructures

شکل ۲- چارچوب سلسله مراتبی اثرات تخریبی بالا آمدن آب زیرسطحی بر سامانه‌های آبفا

در مقایسه اثرات تخریبی از مقایسه زبانی استفاده شد، بدین صورت که اگرآسیب i با آسیب j مقایسه شود کارشناس خبره مشخص می‌نماید که اهمیت i بر j چگونه است و این قضاوت‌ها به مقادیر کمی بین یک تا نه تبدیل شده است. بدین صورت عبارات زبانی به معیارهای عددی تبدیل شده و وزن‌دهی و اولویت‌بندی روی آن‌ها صورت می‌گیرد (Chitsazan et al., 2014). نتایج حاصل از رتبه های هرکدام از آسیب‌ها برای تبدیل مقایسات فردی به گروهی، وزن‌ها به روش هندسی میانگین‌گیری می‌شوند. برای جمع‌بندی ارجحیت یک آسیب نسبت به آسیب دیگر لازم است که برآیندی از مجموع مقایسه‌های زوجی حاصل شود. پس از تکمیل ماتریس مقایسه زوجی آسیب‌ها و محاسبات مربوط به آنها مدل مفهومی طرح در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. همچنین اقدام به تحلیل و محاسبات نرخ ناسازگاری هر کدام از آسیب‌ها و مولفه‌های آن‌ها گردید. در محاسبات وزن مطلق آسیب‌ها، ماتریس‌ها در صورت از شرط ناسازگاری و بزرگتر بودن نرخ ناسازگاری از ۰/۱ استفاده گردید.Asefi et al (2014) و در شرایطی که یکی از ماتریس‌ها نرخ ناسازگاری بزرگتر از حد آستانه داشت، ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌های مربوط به آن شاخص را بازبینی و ماتریسی که فاقد شرط فوق‌الذکر است را از تحلیل‌ها خارج نموده و مجدد محاسبات وزن‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

ایجاد مدل در روش AHP از سطح صفر یا هدف شروع شده و به سمت سطوح پایین‌تر سلسله مراتبی یعنی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها توسعه می‌یابد. در سطح اول هدف واقع می‌شود که در اینجا آسیب‌های سامانه‌های آبفا از تغییرات تراز آب زیرسطحی است. طبق شکل (۲) در سطح بعدی آسیب‌های چهارگانه سازه‌ای– فیزیکی، فنی عملکردی، بهداشتی زیست محیطی و اقتصادی است و در سطح سوم آسیب‌های جزیی هر کدام از مخاطرات چهارگانه سطح قبلی ارائه می‌شود. همان‌گونه که در قسمت قبلی ذکر شد در تحلیل سلسله مراتبی همواره می‌توان سازگاری تصمیم را محاسبه نمود و نسبت به خوب و بد بودن و یا قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد. بنابراین پس از ساخت سلسله مراتبی و وزن‌دهی براساس روش AHP ضریب ناسازگاری کلیه معیارها و گزینه‌ها محاسبه و سازگاری تحلیل‌ها اثبات گردید که در جدول‌های (۲) تا (۶) ماتریس مقایسه زوجی و نرخ‌های ناسازگاری مربوطه تحت عنوان Incon ارائه گردیده است وملاحظه می‌شود

که درستی شرط سازگاری تحلیل برقرار است و می‌توان از نتایج برای رتبه‌بندی آسیب‌ها و تعیین اهمیت اثرات آن‌ها استفاده نمود.

جدول ۲- ماتریس مقایسه زوجی و نرخ ناسازگاری آسیب‌های سطح اول

Table 2- Paired comparison matrix and rate of inconsistence at first level damages

Damage	S	OP	Env	Eco
S: Structural - Physical	1	0.5	0.33	1.3
Op: Operational - Technical		1	0.5	2.6
Env: Environmental - Sanitary			1	4.2
Eco: Economical - Costs				1
				Icon=0.00

جدول ۳- ماتریس مقایسه زوجی و نرخ ناسازگاری آسیب‌های سازه‌ای – فیزیکی

Table 3- Paired comparison matrix and rate of inconsistence Structural - Physical damages

Damage	S1	S2	S3	S4	S5
S1: Changes in Locations	1	1.8	1.6	0.25	1
S2: Entra of soil, mud		1	1.3	1.2	1.8
S3:Soil erosion			1	0.2	0.143
S4: Corrosion				1	1.3
S5: Soil presure					1
				Icon=0.04	

جدول ٤- ماتریس مقایسه زوجی و نرخ ناسازگاری آسیب‌های فنی – عملکردی

Table 4- Paired comparison matrix and rate of inconsistence Operational - Technical damages

Damage	Op1	Op2	Op3	Op4
Op1: Reduce reliability	۱	۱	۰/۵۶	۰/۸۳
Op2: Reduces hydraulic power		۱	۰/۵۶	۱/۱
Op3: Change qualitative and quantitative properties			۱	۲
Op4: Disruptions in electrical equipment				۱
				Icon=0.00

جدول ۵- ماتریس مقایسه زوجی و نرخ ناسازگاری آسیب‌های بهداشتی – زیست محیطی

Table 5- Paired comparison matrix and rate of inconsistence Environmental - Sanitary damages

Damage	Env1	Env2	Env3	Env4	Env5
Env.1: Increasing insects and bacteria	1	1.5	0.83	0.83	0.72
Env.2: Make odor and gas		1	1	0.5	1
Env.3: Problems with secure access			1	0.5	1.4
Env.4: Pollutant leakage				1	2
Env.5: Increase the movement of germs and viruses					1
				Icon=0.03	

جدول ٦- ماتریس مقایسه زوجی و نرخ ناسازگاری آسیب‌های اقتصادی

Table 6- Paired comparison matrix and rate of inconsistence Economical - Costs damages

Damage	Eco1	Eco2	Eco3	Eco4
Eco1: Expenditure	1	1.4	1.7	0.56
Eco2: Maintenance Costs		1	2.4	1.2
Eco3: Social Costs			1	0.455
Eco4: Treatment costs				1
				Icon=0.04

بحث رتبه بندی شدت آسیب‌ها

پس از مشخص شدن سازگاری ماتریس‌های قضاوت و مقایسه زوجی برای رتبه بندی شدت آسیب‌ها از تحلیل وزن نسبی آسیب‌ها استفاده گردید. مطابق نتایج وزن‌های ارائه شده در شکل (۳) ملاحظه می‌شود که از منظر مخاطرات فیزیکی و سازه‌ای گزینه شماره یک یا آسیب تغییرمکان: نشست، ترک–خوردگی،

تغییر شیب، جدائی اتصالات، خرابی آب بندها با وزن نسبی ۲۳/۱ درصد و نرخ ناسازگاری ۰/۰۴ شدیدترین آسیب می‌باشد و بدین منظور باید با استفاده از راهکارهای اجرایی و طراحی کاربردی مناسب تغییرمکان لوله و اتصالات زیرزمینی را کاهش داده و از اعمال بارهای فشار مضاعف بر سازه ها و ادوات جلوگیری نماید. در شکل (۴) آسیب‌های فنی و عملکردی سامانه‌های آبفا در اثر بالا بودن تراز آب زیرسطحی شهری ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که در این مورد بالاترین ریسک مربوط به عامل شماره سه یعنی تغییر در کمیت و کیفیت آب و فاضلاب: نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و برعکس، با وزن نسبی ۳۸/۳ 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 شکل (۵) آسیب‌های بهداشتی و زیست محیطی بالا بودن آب زیرسطحی پیش روی سامانه‌های آبفا ارائه گردید است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در این وضعیت آسیب بهداشتی و زیست محیطی شماره چهار با وزن نسبی ۳۰/۶ درصد، نشت آلاینده ها از داخل شبکه آبفا به آب زیرزمینی و برعکس بالاترین خطر را 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. در شکل (۶) آسیب‌های اقتصادی پیش‌روی سامانه‌های آبفا در اثر بالا آمدن تراز آب زیرسطحی شهری نمایش داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در این حالت آسیب اقتصادی شماره چهار یعنی افزایش هزینه‌های تصفیه اولیه و نهایی به‌عنوان مهمترین آسیب مخرب اقتصادی پیش روی شرکت‌های آبفای شهری می‌باشد. هر چند معضل بالا آمدن آب زیرسطحی در شهرها عمدتاً بر اثر تأخیر در تامین مالی پروژه‌های شبکه‌ها و سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب شهری ایجاد گردیده است ولی به طور غیرمستقیم خود این عامل با هزینه نمودن بودجه‌های جاری شرکت‌های آبفا در نگهداری و تعمیرات، تأثیر بازخوردی منفی نیز بر نرخ توسعه و سرعت رشد شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب دارد. براین اساس عدم تأمین مالی به موقع در پروژه‌های آب و فاضلاب شهری یک چالش صرفا سازه‌های فیزیکی را به تدریج و در درازمدت به یک چالش فرسایشی تبدیل نموده که هزینه‌های چندگانه و مخاطرات متناقضی بازتولید می نماید.

در شکل (۷) وزن نسبی آسیب‌های مهم و اساسی و سطح اول پیش روی سامانه‌های آبفا در شرایط بالا بودن تراز آب زیرسطحی آمده است. طبق نتایج در این شکل ملاحظه می‌شود که در اولویت اول ریسک مخاطره مربوط به آسیب‌های بهداشتی و زیست محیطی با وزن ۴۸/۲ 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 زیست محیطی 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. در شکل (۸) اهمیت وزن نسبی کلیه آسیب‌های پیش روی سامانه‌های آبفا از بالا بودن تراز آب زیرسطحی شهر کرمان به صورت یکپارچه آمده است و مشاهده می‌شود که بالاترین وزن ۰/۱۴۷ مربوط به آسیب زیست محیطی شماره چهار یعنی نشت آلاینده‌ها از فاضلاب به منابع آب زیرزمینی و شبکه‌های آب شهری است. پس از شناسائی وزن نسبی آسیب‌ها، و رتبه‌بندی آنها تحلیل حساسیت روی شدت اثر تمامی مؤلفه‌ها و آسیب‌ها صورت گرفت.

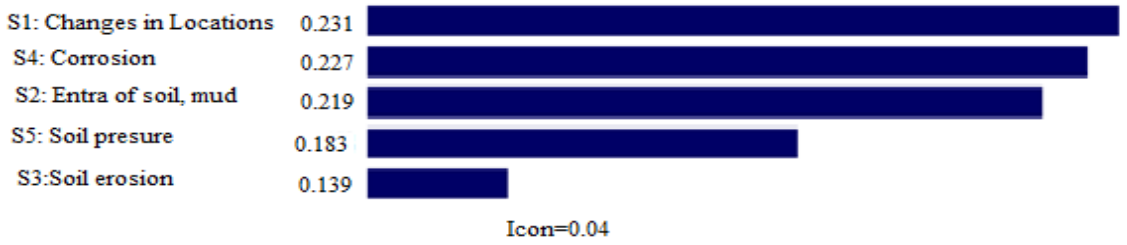


Fig 3- Relative weights of Structural - Physical damages in water and wastewater infrustructures

شکل۳- وزن نسبی آسیب‌های فیزیکی – سازه‌ای در سامانه‌های آبفا

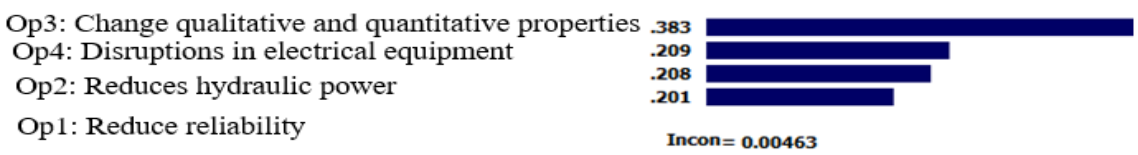


Fig 4- Relative weights of Operational - Technical damages in water / wastewater infrustructures

شکل٤- وزن نسبی آسیب‌های فنی – عملکردی در سامانه‌های آبفا

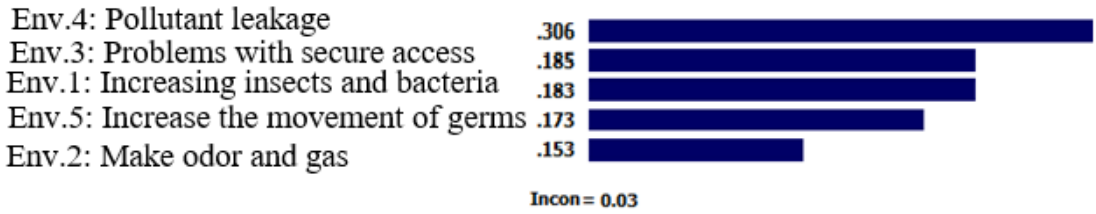


Fig 5- Relative weights of Environmental -Sanitary damages in water/wastewater infrustructures

شکل۵–وزن نسبی آسیب‌های بهداشتی – زیست محیطی در سامانه‌های آبفا

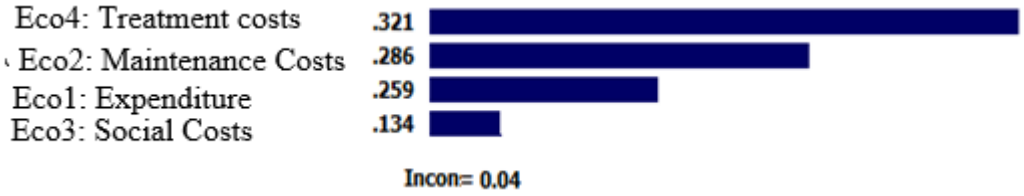


Fig 6- Relative weights of Economical - Costs damages in water / wastewater infrustructures

شکل٦– وزن نسبی آسیب‌های اقتصادی در سامانه‌های آبفا

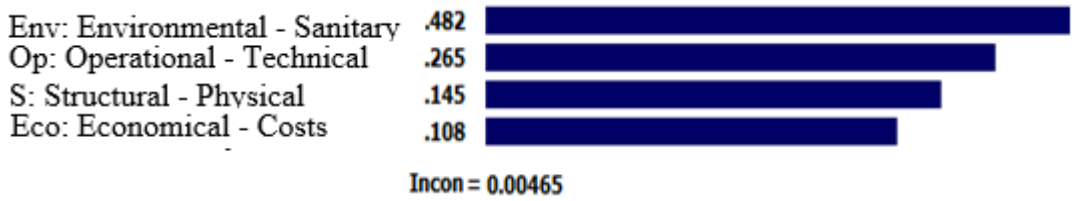


Fig 7- Relative weights of basic main level damages in water and wastewater infrustructures

شکل۷– وزن نسبی آسیب‌های سطح اول اساسی در سامانه‌های آبفا

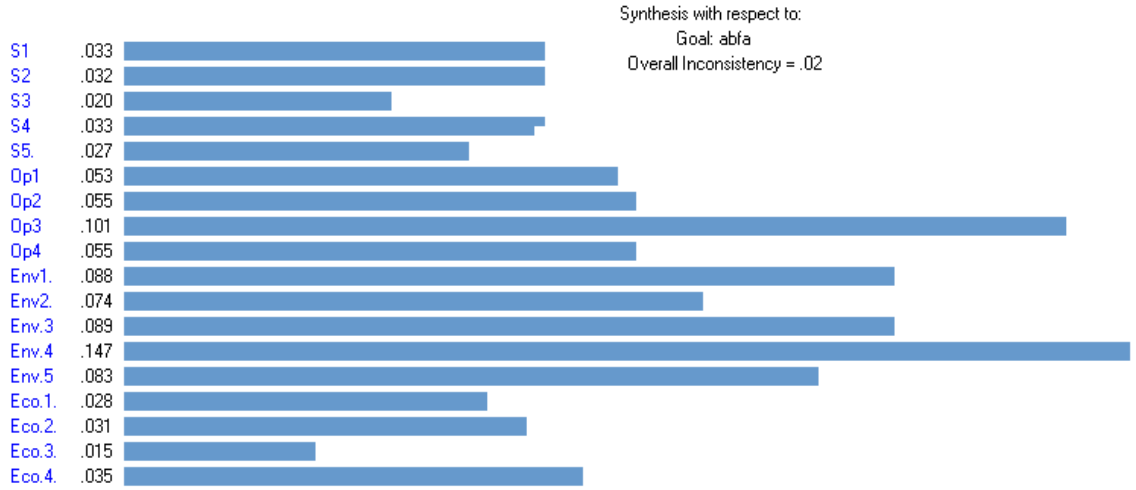


Fig 8- Importance of overall relative weights of subsurface rising damages on infrustructures

شکل۸– اهمیت وزن نسبی کلی اثرات تخریبی بالا آمدگی موضعی تراز آب زیرسطحی بر سامانه‌های آبفا

در حالتی که سلسله مراتبی سه سطح داشته باشد، تحلیل حساسیت از گره هدف، حساسیت مخاطرات را نسبت به آسیب‌های موجود در زیر هدف نشان خواهد داد .تحلیل حساسیت بر اساس روش‌هایی از جمله روش کارآیی، دینامیک، گرادیانی، سربه‌سر و روش دوبعدی محاسبه شد طبق نتایج تحلیل حساسیت کارآئی وزن خسارت سازه ای و فیزیکی برای آسیب سازه ای شماره پنج یعنی افزایش فشار خاک و آب و تغییر شکل مقطع لوله، متورم شدن بستر و کج شدن چاهک ها، ادوات قائم، و آدم روها بالاترین بوده و ۲۵ درصد است و برای آسیب سازه‌ای شماره یک

تغییر مکان: نشست، ترک‌خوردگی، تغییر شیب، جدائی اتصالات، خرابی آب‌بندها برابر۲۳درصد می‌باشد. حساسیت خسارت فنی و عملکردی برای شاخص فنی سه یعنی تغییر در کمیت و کیفیت آب و فاضلاب: نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و برعکس بالاترین مقدار و برابر ۳۸ درصد بدست آمد. از منظر زیست محیطی و بهداشتی نیز شاخص نشت آلاینده ها از داخل شبکه آبفا به آب زیرزمینی و برعکس با ۲۵ درصد بالاترین حساسیت را نشان داد. از منظر اقتصادی نیز خسارت افزایش هزینه نگهداری- تعمیرات و بازرسی‌های دوره‌ای بالاترین حساسیت ۳۲ درصد را نشان داد. مقایسه پژوهش‌های قبلی با نتایج تحقیق حاضر ضمن تائید پارامترها و مولفه‌های استخراج شده نشان می‌دهد مهمترین مخاطرات بالا آمدن آب زیرسطحی در شهرها به ترتیب عبارتند از اثرات بهداشتی و زیست محیطی در رتبه اول، در رتبه دوم اثرات فنی و عملکردی بهره‌برداری، رتبه سوم مخاطرات سازه‌ای و فیزیکی و رتبه چهارم مربوط به اثرات اقتصادی هزینه‌ای است که در تطابق با نتایج بالا آمدن آب زیرزمینی در شهر دورهام است (Younger, 1993).

طبق نتایج تحقیق ایشان آلودگی منابع آب سطحی و آبخوان زیرزمینی منطقه، انتقال و تسری آلودگی از مکان‌های دفن زباله به منابع آب، حمله آبهای زیرزمینی الوده به سولفات و خوردگی سازه‌های بتنی و اثرات مخرب تورم و لغزش فونداسیون سازه‌ها از مهمترین اثرات بالا آمدن آب زیرزمینی در مناطق شهری محسوب می‌شود. در ماتریس ارزیابی ریسک شبکه فاضلاب شهری آنتاریو نیز به شاخص‌هایی همچون وجود آب و رطوبت بالا در خاک، خصوصیات سازه‌ای خاک اطراف لوله، نزدیکی به رودخانه و منابع آب سطحی بالاترین وزن در ماتریس مخاطرات اختصاص یافته است(Baah et al., 2015). طبق مطالعه‌ای در کالیفرنیا مشخص شد اثرات خوردگی سولفاتی در حضور رطوبت و آب زیرزمینی باعث افزایش مخاطرات پیش روی سامانه‌های آبفا می‌شود. مهمترین مولفه‌های ریسک و مخاطرات تهدید کننده کمیت و کیفیت آب در سیستم‌های تامین 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 مؤلفه‌های شناسائی پژوهش حاضر است.

Asgarian et al. (2015) نیز ریسک شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب تصفیه خانه غرب تهران را براساس مؤلفه‌های آلایندگی منابع آب، تغییر در کمیت و کیفیت فاضلاب، تخریب سازه‌ای و مشکلات فنی و بهره‌برداری دسته‌بندی نموده‌اند که یافته‌های مقاله حاضر در زمینه تخریب‌های منتجه از حضور آب زیرزمینی را تائید می‌نماید. قابل توجه است که پژوهش‌های قبلی اثرات بالا آمدن آب زیرزمینی در مناطق شهری را در مطالعات آسیب-پذیری و ریسک لحاظ ننموده‌اند که از این منظر رویکرد استفاده شده در تحقیق حاضر گام روبه جلوئی در بررسی اثرات تخریبی بالا آمدن موضعی آب زیرزمینی در مناطق شهری محسوب می‌شود. و با وزن‌دهی و رتبه‌بندی صورت گرفته روی آسیب‌های استخراج شده می‌توان ریسک آسیب‌پذیری را مشاهده نمود. نکته قابل توجه دیگر این‌است که اهمیت کنترل تراز آب زیرزمینی شهری به‌عنوان زیربنای توسعه یکپارچه شهری محسوب شده و اجرای شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب بسیاری از مشکلات زیست محیطی، عملکردی و فنی سامانه‌های آبفا را مرتفع می‌سازد.

نتیجه‌گیری

شهر کرمان بدلیل فقدان سیستم جمع‌آوری فاضلاب شهری با معضل بالاآمدگی موضعی آب زیرسطحی در محدوده داخل شهر و تخریب تاسیسات آبفای شهری روبرو است. در این تحقیق برای اولین بار با توسعه یک چارچوب تحلیل سلسله مراتبی AHP اثرات تخریبی بالاآمدگی آب زیرسطحی بر سامانه‌های آبفا بررسی شده است و رتبه‌بندی و وزن‌دهی مخاطرات شبکه‌های آبفای شهری در اثر بروز این پدیده انجام شده است طبق نتایج آسیب‌های بهداشتی-زیست محیطی با وزن ۰/۴۸۲، فنی عملکردی با وزن ۰/۲۶۵، سازه¬ای فیزیکی با وزن ۰/۱۴۵ و هزینه‌ای-اقتصادی با وزن ۰/۱۰۸ رتبه‌بندی گردید. زیرمؤلفه‌های تغییر مکان: نشست، ترک-خوردگی، تغییرشیب، جدائی اتصالات، خرابی آب‌بندها با وزن نسبی ۲۳/۱ درصد، تغییر در کمیت و کیفیت آب و فاضلاب: نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و برعکس با وزن نسبی ۳۸/۳ درصد، نشت آلاینده‌ها از داخل شبکه آبفا به آب زیرزمینی و برعکس با وزن نسبی ۳۰/۶ درصد، افزایش هزینه‌های تصفیه اولیه ونهایی با وزن نسبی ۳۲/۱ درصد، به‌عنوان بالاترین مخاطرات استنتاج گردید. در انتها نیز تحلیل حساسیت روی وزن و شدت اثر آسیب‌ها صورت گرفت. نتایج تحقیق حاضر بیانگر اثرات عدم توسعه متوازن شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب شهری همزمان با گسترش شهرها است و لزوم اجرای صحیح و بهنگام سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب شهری را در شهرهائی که دفع فاضلاب به روش سنتی چاه جذبی انجام می‌شود، مشهود می‌سازد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح پژوهشی مصوب بنیاد نخبگان و شرکت آبفای کشوری با کد ۹۵/۱۰۳۱۶ص است. بدین‌وسیله نهایت قدردانی از حمایتهای بنیاد ملی نخبگان، آقای مهندس عطایی ریاست مرکز تحقیقات آبفای کشوری و مهندس حیات ابدی مدیر دفتر تحقیقات آبفای استان کرمان در مراحل مختلف طرح به‌عمل می‌آید.

References

1- Ameyaw, E.E. and Chan, A.P., 2016. A fuzzy approach for the allocation of risks in public–private partnership water-infrastructure projects in developing countries. *Journal of Infrastructure Systems*, *22*(3), p.04016016.

2- Asefi, M., Radmanesh, F., Zarei, H., 2014. Optimization of DRASTIC and SINTACS Models According to Geographical Information System with the Use in Analytical Hierarchy Process (AHP) (Case Study: Andimeshk Plain), *Journal of Environmental Studies*, 40(1), pp. 79-94. (In Persian).

3- Asgarian, M., Tabesh, and M., Rouzbahni, A., 2015. Risk Assessment of Wastewater Collection Performance Using the Fuzzy Decision-making Approach, *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab*, 26(4), pp. 74-87. (In Persian).

4- Baah, K., Dubey, B., Harvey, R. and McBean, E., 2015. A risk-based approach to sanitary sewer pipe asset management. *Science of the Total Environment*, *505*, pp.1011-1017.

5- Bostani A., Golmiz., Ansariyah. and calvinists. M., 2014. Modeling of tube and bed deformation due to loading in water transmission networks, *Water and Sustainable Development* , 1 (1). (In Persian).

6- ChitSazan, M., Dehghani, F., Mirzaei, Y., and Monsesh, F., 2014. Comparison of Hierarchical process methods, Linear-Weighted Composition, Fuzzy Hierarchical Process Analysis in Locating Properly for the Purification of Solid Municipal Solid Wastes (Case Study: Ramhormoz Town), *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 37(1), PP.11-20. (In Persian).

7- Cuppens, A., Smets, I. and Wyseure, G., 2013. Identifying sustainable rehabilitation strategies for urban wastewater systems: A retrospective and interdisciplinary approach. Case study of Coronel Oviedo, Paraguay. *Journal of Environmental Management*, *114*, pp.423-432.

8- Davis, M.D., Barton, M., Darbyshire, E. and Ursem, O., 2002. Comparative Environmental Risk Assessment of Auckland City's Drainage System. In *Global Solutions for Urban Drainage* (pp. 1-16).

9- Elsawah, H., Bakry, I. and Moselhi, O., 2016. Decision support model for integrated risk assessment and prioritization of intervention plans of municipal infrastructure. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, *7*(4), p.04016010.

10- Garrido, J. and Requena, I., 2014. Developing Environmental Risk Assessment Methodologies. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *29*(6), p.04014083.

11- Gulgec, N.S., Ergan, S., Akinci, B. and Kelly, C.J., 2015. Integrated Information Repository for Risk Assessment of Embankment Dams: Requirements Identification for Evaluating the Risk of Internal Erosion. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *30*(3), p.04015038.

12- Hasanpour, N., Abbasnejad, A., Dadollahi, H., and Ghasemi, Y., 2001. The effect of rising groundwater level in Kerman city on the quality of aquifer in the city, *In 5th Specialized Conference on Environmental Engineering*, Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian).

13- Kangi, A., and Khatibi, D., 2012. Estimation of Liquefaction Potential in Kerman Based on Standard Penetration Test (SPT), *Journal of Geotechnical Geology*, 89(1), pp.73-82. (In Persian).

14- Lerner, D.N., 1990. Groundwater recharge in urban areas. *Atmospheric Environment Part B: Urban Atmosphere AEBAE 5 Vol. 24 B*, (1), pp.29-33.

15- Management and Planning Organization. 2014. Structural design criteria for water pipelines on concrete underground, *Journal No. 185*. (In Persian).

16- Management and Planning Organization. 2014. Structural design criteria for water pipelines on concrete underground, *Journal No. 298*. (In Persian).

17- Management and Planning Organization. 2014. Structural design criteria for water pipelines on concrete underground, *Journal No.* 687. (In Persian).

18- Mozhdeganifar, and N., Rahnema, B., 2009. Investigation of observation wells in Kerman and Abat Abad range due to elevation of groundwater level in parts of Kerman city, *In 10th National Irrigation Seminar and Evaporation Reduction*, Kerman University, Kerman, Iran. (In Persian).

19- Nakhaee, M., Hashemi, R., Khashee Sivaki, A., and Ahmadi, M., 2016. Optimization of Crop Pattern Using Analytical Hierarchy Process and Linear Programming (Case Study: Plain Birjand), *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 39(2), pp. 115-124. doi: 10.22055/jise.2016.12116. (In Persian).

20- Nanos, M.G. and Filion, Y., 2016. Risk-Based Performance Assessment of Stormwater Drainage Networks under Climate Change: A Case Study in the City of Kingston, ON. In *World Environmental and Water Resources Congress* (pp. 73-81).

21- National Water and Wastewater Company. 2008. Operating instructions for reducing and controlling of unaccounted water, *Full report*. (In Persian).

22- Nikdel, R., 2014. Investigating the elevation of water level in the city of Kerman. Kerman Regional Water Company, *Full report*. (In Persian).

23- Qiu, M., Shi, L., Teng, C. and Zhou, Y., 2017. Assessment of water inrush risk using the fuzzy delphi analytic hierarchy process and grey relational analysis in the liangzhuang coal mine, China. *Mine Water and the Environment*, *36*(1), pp.39-50.

24- Roozbahani, A., Zahraei, B., Tabesh, M., 2013. Water Quantity and Quality Risk Assessment of Urban Water Supply Systems with Consideration of Uncertainties, *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab*, 24(4), pp. 2-14. (In Persian).

25- Shahata, K. and Zayed, T., 2015. Integrated risk-assessment framework for municipal infrastructure. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(1), p.04015052.

26- 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).

27- Torabi, F., 2015. Evaluation of rising water level and its problems in downtown Mashhad, Thesis, *Ferdousi Mashhad University*, Iran. 141p. (In Persian).

28- Trucco, P., Cagno, E. and De Ambroggi, M., 2012. Dynamic functional modelling of vulnerability and interoperability of Critical Infrastructures. *Reliability Engineering & System Safety*, *105*, pp.51-63.

29- Wang, T. and Wang, X., 2016. A Bayesian Network-Based Risk Assessment Framework for the Impact of Climate Change on Infrastructure. *In Construction Research Congress* , (pp. 1353-1361).

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

31- Zandbergen, P.A., 1998. Urban watershed ecological risk assessment using GIS: a case study of the Brunette River watershed in British Columbia, Canada. *Journal of Hazardous Materials*, *61*(1-3), pp.163-173.