فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ هشتم، شمارهٔ اوّل، بهار ۱۳۹۷
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 8, No. 1 (Spring 2018)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۳۰

شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های سیستم تأمین و توزیع آب:
با رویکرد ترکیبی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تودیم توسعه‌یافته (موردی:شهرستان قزوین)

جلال رضایی نور[۱]، المیرا سادات مذنب امام زاده[۲] و حامد ذاکر[۳]

۱. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه قم. قم.ایران. (نویسنده مسئول)j.rezaee@qom.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه قم .قم.ایران.elmira1100@yahoo.com

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه قم .قم.ایران.h.zaker73@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: با گرم شدن سراسری کره زمین بر اثر عواملی چون تغییرات اقلیمی و افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و در پی آن کاهش منابع آبی در دسترس، مسئله تأمین آب سالم و ایمن بیش از پیش مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. یکی از پر چالش‌ترین موضوع‌ها در این زمینه برای کشورها، موضوع مربوط به سلامت و بهداشت عمومی است. تأمین‌کنندگان آب باید از تمام ریسک‌هایی که در این زمینه وجود دارد، آگاهی داشته باشند و بر اساس اولویت‌بندی درصدد بر طرف کردن آن باشند. در این پژوهش به بررسی و اولویت‌بندی ریسک‌ها در سیستم تأمین و توزیع آب پرداخته شده است.

روش: در این پژوهش، ابتدا با استفاده از ادبیات تحقیق و نظر کارشناسان خبره، ریسک‌های تأثیرگذار و معیارهای اندازه‌گیری این ریسک‌ها تعیین شده است. سپس به وسیله روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی اهمیت معیارها محاسبه شده است. در انتها با روش تودیم (مخفف تصمیم‌گیری چند معیاره و تعاملی در زبان پرتغالی) توسعه‌یافته ریسک‌ها با توجه به اوزان و اهمیتشان رتبه‌بندی شده‌اند.

یافته‌ها: نتایج پژوهش نشان داد معیارهای تلفات بالقوه اقتصادی و آمادگی ظرفیت برگشت‌پذیری، دارای تأثیر بیشتری برای ارزیابی ریسک‌ها است؛ در حالی که آمادگی اثربخش بحران و احتمال رخداد مخاطره، دارای تأثیر کمتری نسبت به سایر معیارها برای تحلیل ریسک‌ها است.

در نهایت بر اساس اهمیت معیارها، ریسک‌های تخلیه مواد صنعتی به آب و نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه از اهمیت بالاتری برخوردار بوده، همچنین ریسک‌های رخداد تغییر شدید اقلیمی و نوسانات مصرفی از اهمیت کمتری برخوردار هستند.

نتایج: بر اساس یافته‌ها، عواملی همچون تلفات بالقوه اقتصادی و آمادگی ظرفیت برگشت‌پذیر و ریسک‌هایی همچون ریسک‌های نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه و پدیده فرونشست خاک دارای اهمیت بالایی در مدیریت ریسک است. با توجه به اینکه ریسک‌های موجود در سیستم تأمین و توزیع آب، نقش پر رنگی در تصمیم‌های مدیران ایفا می‌کند، یافته‌های پژوهش مورد مطالعه می‌تواند کمک شایانی به اتخاذ راهکارهای صحیح برای مقابله با این ریسک‌ها بکند.

کلمات کلیدی: تودیم توسعه‌یافته، ریسک سیستم تأمین و توزیع آب، فرایند تحلیل سلسله مراتبی

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** رضایی‌نور، جلال؛ مذنب امام‌زاده، المیرا‌سادات؛ ذاکر، حامد (بهار، ۱۳۹۷)، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های سیستم تأمین و توزیع آب: با رویکرد ترکیبی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تودیم توسعه‌یافته (موردی:شهرستان قزوین). *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۸* (۱)، ۶۶-۸۰.

Identification and prioritization the risks of water supply and distribution system with a hybrid approach of AHP and extended TODIM (Case study: Qazvin)

Jalal Rezaeenor[1], Elmira Sadat Mozneb Imamzadeh[2] & Hamed Zaker[3]

1.Associate Professor university of Qom, University of Qom, Department of Industrial Engineering, Qom, Iran. j.rezaee@qom.ac.ir

2.MSc. Student university of Qom, University of Qom, Department of Industrial Engineering, Qom, Iran. Elmira1100@yahoo.com

3.MSc. Student university of Qom, University of Qom, Department of Industrial Engineering, Qom, Iran. h.zaker73@gmail.com

Abstract

Background and objective: Healthy water supply is an interesting issue to researches since global warming of the earth due to factors such as climate changes and increasing fossil fuel consumption consequently reduce available water resources. One of the most challenging issues in this field is health and public health in countries. Water suppliers should aware of all risks evolved in this regard and tries to resolve them by prioritizing. This study considers risk priority in the water supply and distribution system.

Method: This study used experts' research and views, effective risks and their measurements. Then, by means of the hierarchical analysis process, the significance of the standards has been calculated. Finally, the risks are categorized based on their importance by using TEDIM method (abbr. of multi-criteria and interactive decision making in Portuguese).

Findings: The study results showed that the potential economic loses and refundable capabilities have the most impact on risks assessing; while being ready in crisis and probability of a risk occurrence have less impact than other standards to risks analysis. Finally, according to criteria importance, the risks of industrial material discharges to water and underground water infiltration to networ have the most importance, while severe climate changes and consumption fluctuation risks have less importance.

Results: Findings showed that factors such as potential economic losses and refundable capabilities, as well as underground water infiltration into network and soil subsidence have the most importance in risk management. Since the risks in water supply and distribution systems play a significant role in managers' decisions, findings of the study may help to take best decisions to confront the risks.

Keywords: Risk of water supply and distribution system, AHP, Extended TODIM.

▶**Citation (APA 6th ed.):** Rezaeenor J, Mozneb Imamzadeh E.S, Zaker H. (2018, Spring). Identification and prioritization the risks of water supply and distribution system with a hybrid approach of AHP and extended TODIM (Case study: Qazvin). *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 8*(1), 66-80.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، مسئله تخصیص منابع آب میان مصرف‌کنندگان به‌طور فزاینده‌ای باعث ایجاد نگرانی شده است. آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع برای توسعه اقتصادی- اجتماعی و سالم نگه داشتن محیط زیست می‌باشد(ایکس یو و کین[1]،۲۰۱۳). افزایش جمعیت و به دنبال آن توسعه بخش کشاورزی و صنعتی منجر به افزایش مصرف آب و ایجاد بحران کم آبی در سالیان اخیر شده است (وانگ و هوآنگ[2]،۲۰۱۴). محدود بودن منابع آب یکی از معضلات این حوزه است که در کنار عدم قطعی‌های ذاتی موجود برای مدیریت این منابع الهی مانند بارش و تقاضا، کار را برای مدیران این امر دشوارتر می‌کند. بر اساس گزارش‌های منتشره از سوی سازمان ملل، حدود ۷۰۰ میلیون انسان در ۴۳ کشور جهان از کمبود آب رنج می‌برند و پیش‌بینی‌شده است تا سال ۲۰۲۵ میلادی، ۱/۸ میلیارد انسان با کم آبی جدی در شهر یا کشور خود مواجه خواهند شد(موسوی، مهدی زاده و افشار،۲۰۰۴).

یک شبکه توزیع آب به‌طور معمول شامل سه مصرف‌کننده عمده است که عبارت‌اند از ۱: بخش خانوار ۲: بخش کشاورزی ۳: بخش صنعت. می‌توان گفت مهم‌ترین نیاز مربوط به بخش خانوار و نیاز شهری است. شبکه توزیع آب محدودیت‌های بسیاری مانند ارضای تقاضای آب، مسیر لوله‌گذاری برای انتقال آب و مسائل زیست محیطی را شامل می‌شود (ویلچ فورت و لوند[3]، ۱۹۹۷).

افرون بر این محدودیت‌های دیگری نیز به علت خاصیت فیزیکی و پیوستگی آب، مانند محدودیت‌های هیدرولوژیک، به مسئله اضافه می‌شود. برای مواجهه با این چالش‌ها و رساندن آب به دست مصرف‌کنندگان، راهی به جز حرکت به سوی اقدام یکپارچه‌سازی برای مدیریت عملیات و استفاده بهینه از این مائده الهی وجود ندارد. هدف از این اقدامات، آب منشاء حیات و الفبای عمران و آبادانی است؛ زیرا هر جا که اثری از آب بوده حیات نیز پدید آمده و نشانه‌هایی از آن باقی‌مانده است (ولایتی،۱۳۸۳، ص ۲۳۴).

یکی از اهداف سازمان جهانی آب تأمین آب آشامیدنی سالم تا سال ۲۰۲۵ برای همه است. گفتنی است بیشترین جمعیتی که از داشتن آب آشامیدنی سالم محروم‌اند در آسیا و آفریقا و در روستاها ساکن هستند (نوری سپهر، ۱۳۸۶). در حال حاضر حدود ۶۶ درصد از حجم آب شیرین قابل استحصال کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد. حفاظت از این مقدار آب که استحصال آن ساده‌ترین قسمت تأمین آب در کشور است، باید سرلوحه امور قرار بگیرد، استفاده از ۳۴ درصد بقیه با پیچیدگی‌ها و هزینه‌های زیاد همراه است و گذشته از این، استفاده تا سقف آب قابل استحصال منطقی نبوده و باید برای نسل‌های آینده نیز فرصت استفاده از آن را فراهم ساخت (آزادبخت و نوروزی،۱۳۸۷، ص ۲۱۰).

ازاین رو با توجه به جمعیت فراوان روستایی کشور و پراکنش ناهمگون آن و منابع آب شیرین محدود و وجود محدودیت‌های فراوان در این زمینه، ایران جزو کشورهایی است که در زمینهٔ تأمین آب آشامیدنی در نواحی روستایی با مشکلات فراوانی روبرو است. بنابراین، آنچه در این زمینه مهم و ضروری به نظر می‌رسد، استفاده درست و اصولی و مدیریت صحیح و کارآمد این منابع است. در این راستا و با در نظر داشتن این نکته که این منابع با ارزش و حیاتی همواره در معرض انواع آلودگی‌ها و ریسک‌های گوناگون قرار دارند، این تحقیق درصدد ارزیابی اولویت‌بندی ریسک‌های منابع آب آشامیدنی در شهر قزوین برآمده است و با این هدف گام به عرصه‌ی تحقیق نهاده است.

از این رو در این پژوهش مدل ترکیبی ارائه شده است که ابتدا ریسک‌های مؤثر بر سیستم تأمین و توزیع آب شهری تعیین شده و سپس به اولویت‌بندی آن‌ها پرداخته‌شده است. تصمیم‌گیری با لحاظ کردن معیارهای متنوع که هر یک از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند، تنها با به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ممکن می‌شود. در این روش‌ها از شاخصه‌های مختلفی متناسب با نوع رتبه‌بندی، استفاده می‌شود (خلیلی عراقی، ۱۳۸۷). هدف از این مقاله ارائه مدلی تصمیم‌گیری به منظور شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های سیستم تأمین و توزیع آب شهری با استفاده از معیارها و طبقه‌بندی حاصل‌شده است.

بنابراین می‌توان با در نظر گرفتن معیارهای تأثیرگذار بر سیستم تأمین و توزیع آب شهری شهرستان قزوین به‌عنوان شاخص‌ها و ریسک‌های این سیستم به‌عنوان گزینه‌ها و استفاده از روش‌های

1. Xu and Qin
2. Wang and Huang
3. Wilchfort and Lund

تـصمیم‌گیـری چنـد معیاره، اقـدام به کارگیری زمان و هزینه برای کاهش مهم‌ترین ریسک‌ها کـرد. بدین منظـور از روش ترکیبی فرایند تحلیل سلسله مراتبی[1] و تودیم گسترش‌یافته[2] برای رتبه‌بندی ریسک‌های تأمین و توزیع آب شهر قزوین استفاده شده است. این روش‌ها ازجمله مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری محسوب می‌شوند و انتظار می‌رود که ترکیب آن‌ها بتواند نتایج مطلوبی ارائه دهد.

ادامه مقاله بدین صورت سازمان‌دهی شده است: ابتدا پیشینه‌ای از تحقیق همراه با ادبیات مرتبط با موضوع تحقیق ارائه می‌شود، در بخش دوم رویکرد ترکیبی مورد استفاده در این مقاله به‌طور کامل شرح داده می‌شود. در بخش بعدی، روش تصمیم‌گیری تشریح شده در رتبه‌بندی ریسک‌های سیستم تأمین و توزیع آب شهرستان قزوین به‌کار گرفته شده، یافته‌ها و نتایج به دست آمده، مورد بررسی قرار می‌گیرند. در نهایت در بخش آخر نتایج و مطالعات آینده مطرح می‌شود.

پیشینه تحقیق

در این بخش به مرور ادبیات پیرامون مطالعات صورت گرفته در حوزه مدیریت منابع آب خواهیم پرداخت که شامل مرور جامعی از ادبیات حوزه مدیریت منابع آب است. بیشتر تحقیقات در زمینهٔ طراحی شبکه توزیع آب صورت گرفته بر اساس شبیه‌سازی سیستم توزیع بوده که در مقالات چونگ، لانسی و والترز[3] (۲۰۰۹) و ماکروپولوس، ناتسیس، لین، میتاس و بوتلر[4] (۲۰۰۸) انجام شده است.

در این میان بعضی از مطالعات صورت گرفته روی شبکه آب، ریسک‌های شکست آن را نیز در نظرگرفته است. برای مثال فیرینگ و ماتالاس[5] (۱۹۹۰) به بررسی استواری برنامه تأمین آب با توجه به تغییرات اقلیم جهانی برای مناطقی که ظرفیت ذخیره آب محدود است، پرداختند. صدیق و همکاران (۲۰۰۴) روشی را برای تحلیل ریسک فازی کیفیت آب در شبکه‌های توزیع آب ارائه نمودند. آن‌ها با در نظر گرفتن احتمال و شدت خطرات مختلف تهدید کننده کیفیت آب در شبکه‌های آبرسانی به صورت فازی، تبدیل حاصلضرب آن‌ها به شکل اعداد صریح و سپس مقایسه ریسک محاسبه شده با یک سری ریسک‌های بیانی فازی از پیش تعیین شده (کم، متوسط، زیاد)، ریسک کلی این شبکه‌ها را در قالب یک مطالعه موردی محاسبه کرده‌اند. چورزوسکا[6] (۲۰۱۱) روشی را برای تحلیل ریسک سامانه‌های آبرسانی بر مبنای ساخت قوانین فازی بر مبنای ارتباط احتمال، شدت و آسیب‌پذیری ارائه داده‌اند و کاربرد آن‌را در شبکه‌ای در کشور لهستان به کار گرفته‌اند. جعفری و نیکو[7] (۲۰۱۶) یک روش مبتنی بر بهینه‌سازی برای تعیین ریسک‌های آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل درستیک[8] بر اساس مدل بهینه سازی الگوریتم ژنتیک پیشنهاد کرده‌اند. داوری و همکاران (۱۳۹۶) ریسک‌های تأمین آب مشهد را با استفاده از روش تئوری امکان و منطق فازی ارزیابی کرده‌اند.

مطالعات گذشته، دیدگاه مجزا به اجزای تأمین، انتقال، تصفیه و توزیع داشته؛ در حالی که سیستم آب شهری باید به صورت یک پارچه مورد بررسی قرار گیرد. در مقاله حاضر، رویکرد تحلیل ریسک یک‌پارچه سیستم‌های آب شهری از نقطه تأمین تا تحویل آب به مصرف کننده، بررسی شده است.

همچنین با بررسی پیشینه تحقیق، مشخص می‌شود تاکنون هیچ پژوهشی ریسک‌های سیستم تأمین و توزیع آب شهری را در داخل کشور ایران را با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری ارزیابی نکرده است. در نتیجه، در این پژوهش از روش ترکیبی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تودیم گسترش‌یافته برای اولویت‌بندی ریسک‌های سیستم تأمین و توزیع آب شهرستان قزوین استفاده شده است.

به‌طور کلی سیستم‌های آب شرب از نقطه تحویل آب تا محل دریافت آب، توسط مصرف‌کنندگان شامل اجزای مختلف و خطرپذیری است. بیشتر بخش‌های کلیدی مثل مخازن، تصفیه‌خانه‌ها و غیره قابل دسترس هستند، به همین دلیل دارای آسیب‌پذیری و ریسک شکست بالایی در برابر خطرات طبیعی و غیر طبیعی هستند. برخی اجزا مثل لوله‌های آبرسانی نیز با این که مدفون هستند، اما دچار حوادث عملکردی نامرئی مانند شکست،

1. Analytical Hierarchy process (AHP)
2. Extended TODIM
3. Chung, Lansey, and Bayraksan.
4. Makropoulos, Natsis, Liu, Mittas, and Butler
5. Fiering and Matalas
6. Tchórzewska
7. Jafari and Nikoo
8. DRASTIC

نشت و هدر رفت آب می‌شوند. همچنین بحث یک پارچه بودن این سیستم‌ها و همکاری مشترک اجزای آن‌ها در تأمین آب نیز بحث قابل توجهی است. این مسائل لزوم توجه اصولی به مسئله مدیریت ریسک را دو چندان می‌نماید.

با توجه به ادبیات و تحقیقات انجام شده در داخل و خارج از کشور و نظرات کارشناسی خبرگان در خصوص ریسک‌های سیستم تأمین و توزیع آب شهری، بیست و هفت متغیر به‌عنوان متغیرهای مستقل ریسک انتخاب شدند که در جدول یک آمده است.

سپس با استفاده از یک چارچوب کلی (مخاطره، آسیب‌پذیری، عدم آگاهی) و تشکیل جلسات طوفان فکری، معیارها برای سنجش ریسک‌ها تعیین و در جدول دو قرار داده شده است. در نهایت اقدام به تعیین میزان تأثیر هر یک از عوامل می‌کنیم.

جدول ۱. چارچوب ریسک‌های بررسی شده

بعد ریسک	شماره ریسک	عنوان ریسک	منبع
منابع تأمین آب	۱	نفوذ آب زیر زمینی به داخل شبکه	(فتاحی و فیاض، ۲۰۰۹)
	۲	تخلیه فاضلاب به آب	مصاحبه با کارشناسان و مطالعات میدانی
	۳	تخلیه مواد صنعتی به آب	مصاحبه با کارشناسان و مطالعات میدانی
	۴	رخداد تغییر شدید اقلیمی	(فتاحی و فیاض، ۲۰۰۹)
	۵	ریسک مخاطرات زیست‌محیطی	(ترنر[1]، ۲۰۱۰)
	۶	پدیده فرونشست خاک	(فتاحی و فیاض، ۲۰۰۹)
	۷	توسعه‌ی بی‌رویه اراضی کشاورزی	(گوستولیزی، لوسیلی و کولمبو[2]، ۲۰۰۹)
تصفیه خانه	۸	ریسک اختلاط نامناسب کلر با آب	(ترنر، ۲۰۱۰)
	۹	آلودگی شیمیایی	(فتاحی و فیاض، ۲۰۰۹)
	۱۰	عملکرد ضعیف پرسنل	مصاحبه با کارشناسان و مطالعات میدانی
	۱۱	عدم عملکرد مناسب تجهیزات آب	(ترنر، ۲۰۱۰)
	۱۲	مشکل فرآیندی	(گوستولیزی و همکاران، ۲۰۰۹)
	۱۳	سیستم پایش	(گوستولیزی و همکاران، ۲۰۰۹)
	۱۴	سیستم مانیتورینگ	(گوستولیزی و همکاران، ۲۰۰۹)
	۱۵	ذخیره اطلاعات	مصاحبه با کارشناسان و مطالعات میدانی
مراکز ذخیره	۱۶	زلزله	(بابایان، کاپلان و ساویچ[3]، ۲۰۰۵)
	۱۷	هدررفت‌ونشست آب در مسیر انتقال	(فتاحی و فیاض، ۲۰۰۹)
	۱۸	قابلیت اطمینان	(ترنر، ۲۰۱۰)
	۱۹	دما	(بابایان و همکاران، ۲۰۰۵)
	۲۰	امکانات و تجهیزات برای اجرای تعمیرات سریع خطوط	مصاحبه با کارشناسان و مطالعات میدانی
	۲۱	سیلاب	(بابایان و همکاران، ۲۰۰۵)
شبکه توزیع آب	۲۲	ذخیره سازی ضعیف و نامناسب	(ترنر، ۲۰۱۰)
	۲۳	ریسک عوامل محیطی	مصاحبه با کارشناسان و مطالعات میدانی
	۲۴	کمیت منابع آب نسبت به مصرف	(بابایان و همکاران، ۲۰۰۵)
	۲۵	نوسانات مصرفی	(فتاحی و فیاض، ۲۰۰۹)
	۲۶	سهولت دسترسی	مصاحبه با کارشناسان و مطالعات میدانی
	۲۷	کیفیت منابع آب	(گوستولیزی و همکاران، ۲۰۰۹)

1. Turner
2. Giustolisi, Laucelli, and Colombo
3. Babayan, Kapelan, and Savic

آسیب‌پذیری: درجه‌ای که سیستم‌های انسانی و محیطی، تحت آشفتگی‌ها و یا تنش‌ها، احتمال آسیب دیدن دارند (لورز، لوبل، اسکلار، ادامس و متسون[1]، ۲۰۰۳).

مخاطره: پدیده‌ای فیزیکی و مخرّب؛ که تلفات جانی، مالی، اجتماعی و اقتصادی در پی خواهد داشت (گریگ[2]، ۲۰۰۳).

عدم آمادگی: وضعیتی است که مانع می‌شود یک جامعه یا یک سامانه بتواند واکنش به موقع و مؤثری برای به حداقل رساندن پیامدهای منفی یک مخاطره از خود نشان دهد(مورلی[3]، ۲۰۱۲).

جدول ۲. چارچوب معیارهای بررسی شده

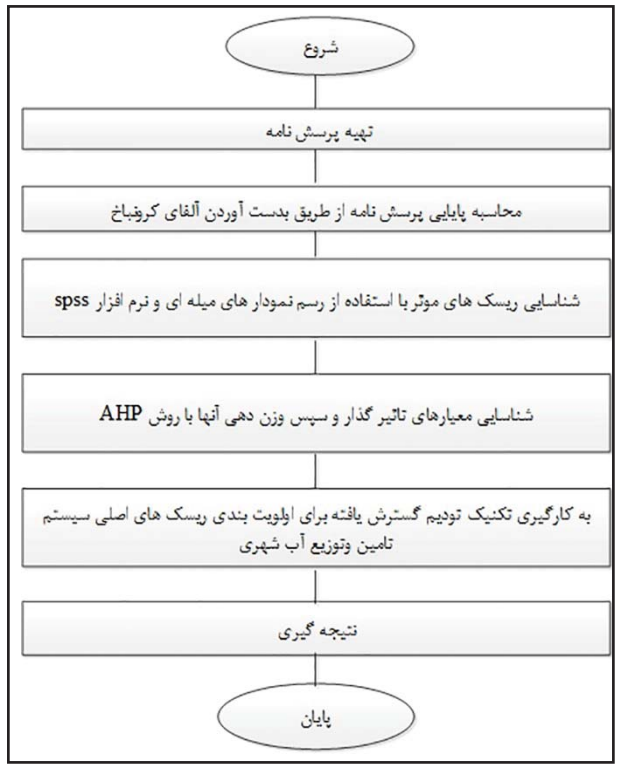
بعد معیار	عنوان معیار	منبع
آسیب پذیری	تلفات بالقوه اقتصادی	(لورز وهمکاران، ۲۰۰۳)
مخاطره	احتمال رخداد مخاطره	(وانگ و بلکمور[4]، ۲۰۰۹)
	شدت رخداد مخاطره	(وانگ و بلکمور، ۲۰۰۹)
عدم آمادگی	آمادگی اثربخش بحران نسبت به ریسک	(مورلی، ۲۰۱۲)
	امادگی ظرفیت برگشت پذیری (واکنش بهبود و بازیابی)	(مورلی، ۲۰۱۲)

روش پژوهش

معیارها و ریسک‌های مورد نیاز در این پژوهش به وسیله مطالعه گسترده ادبیات تحقیق و مطالعات میدانی شناسایی شده است. سپس از روش‌های فرایند سلسله مراتبی تحلیلی و تودیم گسترش یافته برای اولویت‌بندی ریسک‌های سیستم تأمین و توزیع آب استان قزوین استفاده شده است.

ساختار تحلیلی پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.

1. Luers, Lobell, Sklar, Addams, and Matson
2. Grigg
3. Morley
4. Wang and Blackmore



شکل ۱. چارچوب پژوهش

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

روش تحلیل سلسله مراتبی توسط ساعتی (۱۹۸۰)، برای کمک به تصمیم‌گیرندگان در محیط تصمیم‌گیری چند معیاره برای مقابله با پاسخ‌های مطلق و یا بدون ابهام ارائه شد.

در این تکنیک بعد از نرمالایز کردن ماتریس تصمیم و به دست آوردن میانگین سطری هر شاخص، وزن‌های مربوط به هر یک از شاخص‌ها را محاسبه می‌کنیم. برای انجام محاسبات زوجی در این تکنیک از نظرات کارشناسان و خبرگان توانمندسازی استفاده گردیده است(اصغر پور،۱۳۸۵، ص ۱۵۰).

این روش به طور گسترده در پژوهش‌ها استفاده شده است. ایزدی و فاضلی (۱۳۹۶) از روش تحلیل سلسله مراتبی برای شناسایی و مدیریت ریسک بلایای طبیعی و انسان ساخت حاصل از احداث سدها استفاده نموده‌اند. ایزدی (۱۳۹۶) از این روش برای شناسایی مؤلفه های مؤثر در کاهش تاب‌آوری سازمان‌ها در شرایط بحرانی بهره برده است.

مراحل انجام روش تحلیل سلسله مراتبی به صورت زیر است:

گام ۱: تشکیل ماتریس مقایسات زوجی به طوری که سطر و ستون‌ها همان شاخص‌های مورد نظر باشد.

گام ۲: از تصمیم‌گیرنده تقاضا می‌شود معیارها را دو به دو مقایسه کرده و میزان اهمیت هر یک را نسبت به معیار مقابل با استفاده از بازه عددی ۱ تا ۹ طبق جدول ۳ بیان نماید. بدیهی است در این ماتریس قطر اصلی همواره برابر یک بوده و مقایسه پایین قطر معکوس مقادیر متناظر در بالای قطر خواهد بود.

جدول ۳: میزان اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر

ارزش	وضعیت مقایسه معیار i نسبت به معیار j
۱	ترجیح یکسان
۳	کمی ارجح‌تر
۵	خیلی ارجح‌تر
۷	خیلی زیاد ارجح‌تر
۹	کاملا ارجح‌تر
۸-۶-۴-۲	بینابین

گام ۳: برای ترکیب جدول‌های مقایسه‌ای از میانگین هندسی استفاده می‌شود. میانگین هندسی به محقق کمک می‌کند ضمن در نظر گرفتن نظر هر کارمند به قضاوت کارکنان درباره هر مقایسه زوجی برسد. از آنجا که مقایسات زوجی داده‌هایی به صورت «نسبت» ایجاد خواهد کرد. میانگین هندسی از نظر ریاضی بهترین میانگین است. افزون بر این معکوس بودن ماتریس مقایسه استفاده از این میانگین را بیشتر از هر چیز موجه می‌سازد. همچنان که اکزل و ساعتی[1] (۱۹۸۳) نشان داده‌اند، میانگین هندسی، مناسب‌ترین قاعده ریاضی برای ترکیب قضاوت‌ها در روش تحلیل سلسله مراتبی است. به این خاطر که این میانگین خاصیت معکوس بودن را در ماتریس مقایسه زوجی حفظ می‌کند.

گام ۴: برای تعیین اولویت از مفهوم نرمال سازی و میانگین موزون استفاده می‌شود. برای نرمال سازی روش‌های متعددی وجود دارد. در روش تحلیل سلسله مراتبی برای نرمال کردن اعداد جدول‌های مقایسه‌ای، از رابطه ۲ استفاده می‌شود. در ماتریس مقایسات زوجی که در گام ۲ تشکیل شده است، با تقسیم هر عدد بر مجموع ستون خود فرایند نرمالیزه کردن صورت می پذیرد (روش نرمالیزه ساده) که در آن r_{ij} مؤلفه نرمال شده است.

1. Aczél and Saaty

$$r_{ij} = \frac{\overline{a}_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} \overline{a}_{ij}} \qquad (۱)$$

گام ۵: میانگین مقادیر هر سطر ماتریس که نرمالیزه شده است، نشاننده وزن معیار سطر مورد نظر می‌باشد.

در این مطالعه ما از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی گروهی برای محاسبه وزن‌های معیارها استفاده کرده‌ایم. در ادامه، برای رتبه‌بندی اولویت‌بندی ریسک‌ها در سیستم تأمین و توزیع آب شهرستان قزوین بر اساس معیارهای مشخص شده، تکنیک تودیم توسعه یافته استفاده شده است. بنابراین، در ادامه تکنیک تودیم توسعه یافته به‌طور کامل شرح داده می‌شود.

تئوری مجموعه فازی

زاده (۱۹۶۵) مفهوم تئوری مجموعه فازی برای کنترل عدم قطعیت، ابهامات، قضاوت‌های ذهنی برای شرایط واقعی مختلف ارائه کرد. تئوری مجموعه‌های فازی داده‌های مبهم را به‌عنوان توزیع احتمال به صورت تعریف اعضا که منجر به یک ورودی برای استدلال منطقی می‌شود، مدیریت می‌کند. افزون بر این، زیمرمن[1] (۱۹۷۸، ۱۹۸۳) بر استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی در زمینه تحقیق در عملیات، که شامل آثاری مانند برنامه‌ریزی خطی فازی است، تأکید کرد.

فرض کنید Z یک مجموعه است

$$Z = \{z_1, z_2, z_2, z_3, ..., z_n\}.$$

$\tilde{S}$ یک مجموعه فازی Z توسط تابع عضویت $\pi_S(z)$ تعریف می‌شود. که هر عنصر z در Z یک عدد واقعی در بازه $[0,1]$ است. مقدار تابع $\pi_S(z)$ به‌عنوان درجه عضویت z در $\tilde{S}$ نامیده می‌شود.

اعداد فازی

امروزه انواع مختلفی از اعداد فازی وجود دارد. اما اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای دارای بیشترین کاربرد در تئوری مجموعه فازی است(لیو و وانگ[2]، ۲۰۰۷). با توجه به سهولت در محاسبه، اعداد فازی مثلثی کاربرد بیشتری دارد. (تیلان، بافیل، عبدالله و کابلی[3]، ۲۰۱۴). بنابراین، در مطالعه حاضر، اعداد فازی مثلثی به نمایندگی از متغیرهای زبانی ترجیح داده شده است. یک عدد فازی مثلثی $\tilde{S}$ می تواند به صورت (p,q,r) نشان داده شود و تابع عضویت آن $\pi_S(z)$ می تواند به صورت زیر به دست بیاید:

$$\pi_S(z) = \begin{cases} 0, & z < p \\ \dfrac{z-p}{q-p}, & p \le z \le p \\ \dfrac{r-z}{r-q}, & q \le z \le r \\ 0, & z > r \end{cases} \qquad (۲)$$

که $p \le q \le r$ و r,q,p به ترتیب نشان دهنده حداقل مقدار ممکن، بیشترین مقدار ممکن، بزرگترین مقدار ممکن از یک رویداد فازی است.

اگر $z_1 = (p_1, q_1, r_1)$ و $z_2 = (p_2, q_2, r_2)$ دو عدد فازی مثلثی مثبت و k یک عدد واقعی باشد. زاده (۱۹۶۵) شرح داده است که عملیات جبری روی دو عدد فازی z_1 و z_2 به صورت زیر بدست می آید:

$$z_1 + z_2 = (p_1 + p_2, q_1 + q_2, r_1 + r_2), \qquad (۳)$$

$$z_1 - z_2 = (p_1 - p_2, q_1 - q_2, r_1 - r_2), \qquad (۴)$$

$$z_1 * z_2 = (p_1 * p_2, q_1 * q_2, r_1 * r_2), \qquad (۵)$$

(۶)

$$K * z_1 = (K * p_1, K * q_1, K * r_1), And\ K * z_2 = (K * p_2, K * q_2, K * r_2)$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{(p_1, q_1, r_1)}{(p_2, q_2, r_2)} = \left(\frac{p_1}{r_2}, \frac{q_1}{q_2}, \frac{r_1}{p_2}\right) \qquad (۷)$$

(۸)

$$(z_1)^{-1} = \left(\frac{1}{r_1}, \frac{1}{q_1}, \frac{1}{p_1}\right), And\ (z_2)^{-1} = \left(\frac{1}{r_2}, \frac{1}{q_2}, \frac{1}{p_2}\right),$$

عبارات (۲)-(۷) به ترتیب جمع، تفریق، ضرب، ضرب با عدد ثابت، تقسیم و عملیات معکوس، روی اعداد فازی را نشان‌می‌دهد.

متغیر های زبانی

متغیرهایی که می تواند به صورت زبانی بیان شود متغیرهای زبانی نامیده می‌شود. متغیر زبانی در موقعیت‌های مبهم بسیار مفید است. در این مطالعه، متغیرهای زبانی استفاده شده در تودیم توسعه یافته در جدول ۴ شرح داده شده است.

1. Zimmermann
2. Liu and Wang
3. Taylan, Bafail, Abdulaal, Kabli

جدول ۴. مقدار عددی متغیرهای زبانی

متغیر زبانی	اعداد فازی روش تودیم توسعه‌یافته
خیلی ضعیف	(۰،۰،۰/۲۵)
ضعیف	(۰،۰/۲۵ ،۰/۵۰)
متوسط	(۰/۲۵ ،۰/۵۰ ،۰/۷۵)
خوب	(۰/۵۰ ،۰/۷۵ ،۱)
خیلی خوب	(۰/۷۵ ،۱،۱)

روش تودیم توسعه یافته

روش تودیم (مخفف تصمیم‌گیری چندمعیاره و تعاملی در زبان پرتغالی) یک روش چند معیاره گسسته مبتنی بر تئوری چشم‌انداز است که ابتدا توسط گومز و لینا[1] (۱۹۹۲) توسعه یافت. این روش را می‌توان برای بررسی مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه که در آن مقادیر معیارها در قالب اعداد واضح و مشخص می‌باشد، استفاده کرد. سپس کروهیلینگ و سوزا[2] (۲۰۱۲) روش تودیم را برای مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه با مقادیر معیارها در قالب اعداد فازی گسترش داده‌اند.

از آنجا که در واقعیت مشخص کردن دقیق مقادیر معیارها در تصمیم‌گیری چند شاخصه، دشوار و یا غیر ممکن است، مناسب‌تر است که آن‌ها را در چندین فرمت در نظر بگیریم. فان، ژانگ، چن و لو[3] (۲۰۱۳) روش گسترش یافته تودیم را برای مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه ترکیبی با سه فرمت از مقادیر معیارها (اعداد مشخص، اعداد بازه ای، اعداد فازی) ارائه داده‌اند. در روش گسترش یافته تودیم دو روش کلی برای فرایند محاسبه معرفی شده است. یک روش، تبدیل سه فرمت از مقادیر معیارها به همان فرمت است که اعداد مشخص، اعداد بازه‌ای و اعداد فازی به فرمت مقادیر تصادفی با توابع توزیع تجمعی، تبدیل می‌شود. روش دیگر، محاسبه سود و زیان هر گزینه نسبت به گزینه دیگر بر اساس مقایسه دو به دو از توابع توزیع تجمعی است. روش تودیم توسعه یافته در مطالعات کمی مورد مطالعه قرار گرفته است. کین و همکاران[4] (۲۰۱۷) از روش تودیم توسعه یافته برای انتخاب تأمین کننده سبز در محیط فازی نوع دوم استفاده کرده‌اند. لی و همکاران[5] (۲۰۱۵) از روش تودیم توسعه یافته با مجموعه فازی برای انتخاب مکان فرودگاه استفاده کرده‌اند.

مراحل روش تودیم گسترش یافته به شرح زیر است:

گام ۱: تبدیل سه فرمت از ارزش معیارها

برای راحتی تجزیه و تحلیل و محاسبه، لازم است فرمت‌های مختلف از مقادیر معیارها به یک فرمت تبدیل شوند. ما تبدیل سه فرمت از مقادیر معیارها (اعداد مشخص، اعداد بازه ای، اعداد فازی) به فرمت متغیر تصادفی با تابع توزیع تجمعی در نظر می‌گیریم. فرایند تبدیل و محاسبه فرمول‌های هر فرمت به صورت زیر شرح داده شده است:

عدد مشخص: اگر xij یک عدد مشخص باشد و $x = xij'$ تابع توزیع تجمعی آن به صورت زیر است:

$$F_{ij}(\mathrm{x}) = \begin{cases} 0, & \mathrm{x} < x'_{ij}, \\ 1, & x \geq x'_{ij}, \end{cases} \quad \mathrm{i} \in M, \mathrm{j} \in N^K. \qquad (۹)$$

عدد بازه ای: اگر xij یک عدد بازه ای باشد و $xij = \bar{x}ij = [xijl, xiju]$ ، یک مقدار دلخواه در بازه $[xijl , xiju]$ است. تابع توزیع تجمعی آن به صورت زیر است:

$$F_{ij}(\mathrm{x}) = \begin{cases} 0, & \mathrm{x} < x'_{ij}, \\ \dfrac{x - x_{ij}^{l}}{x_{ij}^{u} - x_{ij}^{l}}, & x_{ij}^{l} \leq x < x_{ij}^{u} \quad \mathrm{i} \in M, \mathrm{j} \in N^I \\ 1, & x \geq x'_{ij}, \end{cases} \qquad (۱۰)$$

عدد فازی: اگر xij یک عدد فازی مثلثی باشد $x_{ij} = \tilde{x}_{ij} = (p_{ij}, q_{ij}, r_{ij})$، نیز آن را به‌عنوان متغیر تصادفی منحصر به فرد در نظر می گیریم. تابع توزیع تجمعی آن به صورت زیر است:

$$F_{ij}(\mathrm{x}) = \begin{cases} 0, & \mathrm{x} < \alpha_{ij} \\ \dfrac{(\mathrm{X} - \alpha_{ij})^2}{(\beta_{ij} - \alpha_{ij})(\gamma_{ij} - \alpha_{ij})}, & \alpha_{ij} \leq x < \beta_{ij} \\ \dfrac{-x^2 + 2\gamma_{ij}x - \alpha_{ij}\gamma_{ij} + \alpha_{ij}\beta_{ij} - \beta_{ij}\gamma_{ij}}{(\gamma_{ij} - \beta_{ij})(\gamma_{ij} - \alpha_{ij})}, & \beta_{ij} \leq x < \gamma_{ij} \\ 1, & x \geq \gamma_{ij}, \end{cases} \qquad (۱۱)$$

1. Gomes and Lima
2. Krohling and Souza
3. Fan, Zhang, Chen, and Liu
4. Qin, Liu, and Pedrycz
5. Li, Shan, and Liu

به وسیله آنالیزی که در بالا آمده، سه فرمت از مقادیر معیارها می تواند به فرمتی از متغیرهای تصادفی با تابع توزیع تجمعی تبدیل شود.

گام ۲: محاسبه سود و زیان

برای محاسبه سود و زیان مربوط به هر یک از گزینه ها، فرمول های محاسبه برای مقادیر پایین و بالا، در مورد مقایسه دو تابع توزیع تجمعی، ارائه می‌دهیم.

اگر xij و xkj به ترتیب مقادیر گزینه های Ai و Ak با در نظر گرفتن معیار Cj باشد و $Fij(x)$ و Fkj به ترتیب تابع توزیع تجمعی xij و xkj باشد. برای معیار درآمد، مقادیر بالا و پایین $Fij(x)$ نسبت به Fkj به ترتیب به صورت زیر بیان می‌شود:

(۱۲)

$$D(F_{ij}(\mathrm{x}),F_{kj}(\mathrm{x}))=\int_{\Omega_{ik}^{j}}[F_{kj}(\mathrm{x})-F_{ij}(\mathrm{x})]dx,\ \ \mathrm{i,k}\in \mathrm{M},\ \mathrm{j}\in \mathrm{N}_b$$

(۱۳)

$$T(F_{ij}(\mathrm{x}),F_{kj}(\mathrm{x}))=\int_{\theta_{ik}^{j}}[F_{ij}(\mathrm{x})-F_{kj}(\mathrm{x})]dx,\ \ \mathrm{i,k}\in \mathrm{M},\ \mathrm{j}\in \mathrm{N}_b$$

که $\Omega_{ik}^{j}=\{x\mid F_{ij}(x)<F_{kj}(x),x\in[a_{ik}^{j^*},b_{ik}^{j^*}]$ و $\theta_{ik}^{j}=\{x\mid F_{ij}(x)>F_{kj}(x),x\in[a_{ik}^{j^*},b_{ik}^{j^*}]$ همچنین و $b_{ik}^{j^*}=\min\{b_{ij},b_{kj}\}$

اگر اعداد، عدد قطعی باشد داریم:

$$a_{ij}=b_{ij}=x'_{ij},a_{kj}=b_{kj}=x'_{kj}$$

اگر اعداد بازه ای باشد داریم:

$$a_{ij}=x_{ij}^{l},b_{ij}=x_{ij}^{u},a_{kj}=x_{kj}^{l},b_{kj}=x_{kj}^{u}$$

اگر اعداد فازی باشد داریم:

$$a_{ij}=p_{ij},b_{ij}=r_{ij},a_{kj}=p_{kj},b_{kj}=r_{kj}$$

به همین طریق برای معیار هزینه، مقادیر بالا و پایین $Fij(x)$ نسبت به Fkj به ترتیب به صورت زیر بیان می‌شود:

(۱۴)

$$D(F_{ij}(\mathrm{x}),F_{kj}(\mathrm{x}))=\int_{\theta_{ik}^{j}}[F_{ij}(\mathrm{x})-F_{kj}(\mathrm{x})]dx,\quad \mathrm{i,k}\in \mathrm{M},\ \mathrm{j}\in \mathrm{N}_c$$

(۱۵)

$$T(F_{ij}(\mathrm{x}),F_{kj}(\mathrm{x}))=\int_{\Omega_{ik}^{j}}[F_{kj}(\mathrm{x})-F_{ij}(\mathrm{x})]dx,\quad \mathrm{i,k}\in \mathrm{M},\ \mathrm{j}\in \mathrm{N}_c$$

تعریف از سود و زیان، یک گزینه نسبت به گزینه دیگر، به صورت زیر است.

سود گزینه Ai نسبت به گزینه Ak با در نظر گرفتن معیار Cj، که با $Gikj$ نشان داده می‌شود به صورت زیر بیان می‌شود:

$$G_{ik}^{j}=D(F_{ij}(\mathrm{x}),F_{kj}(\mathrm{x})),\quad \mathrm{i,k}\in \mathrm{M},\ \mathrm{j}\in \mathrm{N}. \qquad (۱۶)$$

به همین طریق زیان گزینه Ai نسبت به گزینه Ak، که با $Likj$ نشان داده می‌شود، به شرح زیر بیان می‌شود:

$$L_{ik}^{j}=-T(F_{ij}(\mathrm{x}),F_{kj}(\mathrm{x})),\quad \mathrm{i,k}\in \mathrm{M},\ \mathrm{j}\in \mathrm{N}. \qquad (۱۷)$$

گام ۳: رتبه‌بندی گزینه ها

از آنجا که سود و زیان مربوط به معیارهای مختلف به‌طور کلی قابل مقایسه نیست، بنابراین آن‌ها نیاز به نرمالیزه شدن دارند تا آن‌ها را تبدیل به مقادیر قابل مقایسه بکند. این به وسیله نرمال کردن عنصر G_{ik}^{j} و L_{ik}^{j} به دست می آید.

$$\mathrm{Y}_{ik}^{j}=\frac{G_{ik}^{j}-G_{j}^{\min}}{G_{j}^{\max}-G_{j}^{\min}},\qquad \mathrm{i,k}\in \mathrm{M},\ \mathrm{j}\in \mathrm{N}, \qquad (۱۸)$$

$$Z_{ik}^{j}=\frac{L_{ik}^{j}-L_{j}^{\min}}{L_{j}^{\max}-L_{j}^{\min}},\qquad \mathrm{i,k}\in \mathrm{M},\ \mathrm{j}\in \mathrm{N}. \qquad (۱۹)$$

برای مقادیر پیوسته، سود و زیان هر گزینه Ai نسبت به گزینه Ak،$Gikj$ و $Likj$ ممکن است به‌طور همزمان وجود داشته باشد، بنابراین درجه تسلط برای سود و زیان باید ابتدا به ترتیب محاسبه می‌شود، و سپس جمع می‌شود. درجه تسلط برای سود ،$(+)$ ϕikj، تسلط فرمول زیر به‌دست می‌آید:

$$\Phi_{ik}^{j(+)}=\sqrt{\frac{w_{j}Y_{ik}^{j}}{w_{r}\sum_{j=1}^{n}(\mathrm{w}_{j}/\mathrm{w}_{r})}},\quad \mathrm{i,k}\in \mathrm{M},\ \mathrm{j}\in \mathrm{N}. \qquad (۲۰)$$

همچنین درجه تسلط برای زیان توسط فرمول زیر به‌دست می‌آید:

(۲۱)

$$\Phi_{ik}^{j(-)}=\frac{1}{\theta}\sqrt{\frac{-Z_{ik}^{j}\,\mathrm{w}_{r}}{\mathrm{w}_{i}}\sum_{j=1}^{n}(\mathrm{w}_{j}/\mathrm{w}_{r})},\mathrm{i,k}\in \mathrm{M},\mathrm{j}\in \mathrm{N}$$

در حالی‌که $wr=\max\{wj|j\in N\}$ و θ فاکتور کاهش

تلفات از زیان است. θ نشان‌دهنده درجه از دست دادن ناسازگاری تصمیم گیرنده است و $\theta \geq 0$. به‌طور واضح $\phi ikj(+) > 1 \geq 0$ و $\phi ikj(-) \geq 0$ بنابراین درجه تسلط $\phi ikj(+)$ و $\phi ikj(-)$ جمع می‌شود.

$$\Phi_{ik}^{j} = \Phi_{ik}^{j(+)} + \Phi_{ik}^{j(-)}, \quad i,k \in M,\ j \in N. \qquad (۲۲)$$

بنابراین ماتریس درجه تسلط با در نظر گرفتن معیار Cj، ϕj را می‌توان ساخت:

$$\Phi_{ik}^{j} = [\Phi_{ik}^{j}]_{m\times m} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{pmatrix} \Phi_{11}^{j} & \Phi_{12}^{j} & \cdots & \Phi_{1m}^{j} \\ \Phi_{21}^{j} & \Phi_{22}^{j} & \cdots & \Phi_{2m}^{j} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \Phi_{m1}^{j} & \Phi_{m2}^{j} & \cdots & \Phi_{mm}^{j} \end{pmatrix}, \ j \in N \qquad (۲۳)$$

علاوه بر این بر اساس ماتریس ϕj، ماتریس درجه تسلط نهایی Δ ،ساخته می‌شود:

$$\Delta = [\delta_{ik}]_{m\times m} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{pmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \cdots & \delta_{1m} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \cdots & \delta_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \delta_{m1} & \delta_{m2} & \cdots & \delta_{mm} \end{pmatrix}, \qquad (۲۴)$$

در حالیکه δij درجه تسلط نهایی از گزینه Ai بر گزینه Ak است.

$$\delta_{ik} = \sum_{j=1}^{n} \Phi_{ik}^{j}, \quad i,k \in M \qquad (۲۵)$$

بر اساس ماتریس Δ، ارزش نهایی گزینه i، $\xi(Ai)$ ، می‌توان ساخت:

$$\zeta(A_i) = \frac{\sum_{k=1}^{m} \delta_{ik} - \min\{\sum_{k=1}^{m} \delta_{ik}\}}{\max_{i\in M}\{\sum_{k=1}^{m} \delta_{ik}\} - \min_{i\in M}\{\sum_{k=1}^{m} \delta_{ik}\}}, \ i \in M. \qquad (۲۶)$$

به‌طور مشخص $0 \leq \xi(Ai) \leq 1$، و بزرگتین $\xi(Ai)$ بهترین گزینه Ai خواهد بود، بنابراین مطابق با مرتب سازی نزولی ارزش کلی گزینه‌ها می‌توانیم همه گزینه‌ها را رتبه‌بندی کنیم و گزینه مطلوب را انتخاب کنیم.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

سازمان مورد بررسی در این پژوهش، سازمان آب شهرستان قزوین می‌باشد. این سازمان هم اکنون دارای ۴۶ کارمند که شامل ۴۵ کارشناس و یک مدیر می‌باشد. در این سازمان تاکنون پژوهشی درزمینه اولویت‌بندی ریسک‌های تأمین و توزیع آب صورت نگرفته است. در این پژوهش اطلاعات ورودی به‌وسیله مصاحبه و پرسش نامه جمع‌آوری شده است. بنابراین هدف نهایی این پژوهش اولویت‌بندی ریسک‌های تأمین و توزیع آب استان قزوین می‌باشد.

پایایی و روایی پرسش نامه

روایی پرسشنامه ها به صورت روایی صوری می‌باشد، بدین صورت که کلیه ابزار اندازه‌گیری در اختیار تعدادی از متخصصان و اساتید دانشگاه قرار گرفت و از آنان خواسته شد پس از مطالعه نظرات خود را در مورد روایی پرسشنامه‌ها اعلام نمایند. پس از جمع آوری اظهار نظرهای اعلام شده و اصلاح برخی سؤالات نتیجه گرفته شد که پرسشنامه‌های مورد نظر از روایی بالای برخوردارند و برای اثبات پایایی، آلفای کرونباخ حساب شده است. آلفای کرونباخ بین صفر تا یک متغیر است، هرچه به یک نزدیکتر باشد قابلیت اعتماد مقیاس بیشتر است. جدول ۵ نشان می‌دهند که میزان آلفای کرونباخ برای ۲۷ سوال مورد نظر ۰/۹۴۲ می‌باشد که میزان آن قابل قبول می‌باشد.

جدول ۵. آلفای کرونباخ

تعداد سوالات	مقدار الفای کرونباخ
۲۷	۰/۹۴۲

وزن‌دهی شاخص‌ها با روش روش تحلیل سلسله مراتبی

وزن هریک از شاخص‌ها را با استفاده از مقایسات زوجی بین آن‌ها توسط تیم پروژه، محاسبه می‌کنیم. گام اول تا سوم مدل تحلیل سلسله مراتبی، به‌دست آوردن ماتریس تصمیم‌گیری است، که بدین منظور، از تیم پروژه سازمان آب که از سه کارشناس تشکیل شده است در خواست شد تا معیار ها را دو به دو مقایسه کرده و میزان اهمیت هر یک را نسبت به معیار مقابل با استفاده از بازه عددی ۱ تا ۹ بیان نماید. بعد از اینکه مقایسات زوجی بین معیارها توسط سه کارشناس به دست آمد. برای یکی کردن نظرات کارشناسان درباره شاخص‌ها از میانگین هندسی استفاده می‌شود.

گام چهارم مدل تحلیل سلسله مراتبی، نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم‌گیری است. بدین منظور جدول مقایسه زوجی را با استفاده

از فرمول ۱ نرمالایز می‌کنیم و وزن هریک از شاخص‌ها را محاسبه می‌کنیم و در آخر برای به‌دست آوردن وزن نهایی هر شاخص که همان گام ۵ در مدل تحلیل سلسله مراتبی است، از سطرهای جدول شماره ۵ میانگین گرفته شده است. جدول اوزان نهایی معیارهای بررسی شده توسط تکنیک تحلیل سلسله مراتبی در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶. وزن‌های نهایی معیارها

شاخص ها	احتمال رخداد مخاطره	تلفات بالقوه اقتصادی	آمادگی ظرفیت برگشت پذیری (واکنش بهبود و بازیابی)	آمادگی اثربخش بحران نسبت به ریسک	شدت رخداد مخاطره	وزن نهایی
احتمال رخداد مخاطره	۰/۱۴۹۰	۰/۱۶۰۹	۰/۱۹۹۳	۰/۳۲۵۸	۰/۰۸۳۳	۰/۱۸۳۶۶
تلفات بالقوه اقتصادی	۰/۲۴۷۳	۰/۲۴۳۹	۰/۲۵۷۷	۰/۲۳۲۱	۰/۲۵	۰/۲۴۶۲
آمادگی ظرفیت برگشت پذیری (واکنش بهبود و بازیابی)	۰/۲۳۹۹	۰/۲۴۳۹	۰/۱۷۱۸	۰/۱۶۲۲	۰/۲۵	۰/۲۱۳۵۶
آمادگی اثربخش بحران نسبت به ریسک	۰/۰۶۵۵	۰/۱۲۱۹	۰/۱۹۹۳	۰/۱۳۹۸	۰/۲۵	۰/۱۵۵۳
شدت رخداد مخاطره	۰/۲۹۸۰	۰/۲۲۹۲	۰/۱۷۱۸	۰/۱۳۹۸	۰/۱۶	۰/۱۹۹۷۶

روش تودیم گسترش‌یافته

در ابتدا، با توجه به اینکه داده‌های جمع‌آوری شده از پرسشنامه‌ها به شکل خام و بدون ترتیب، تلخیص و طبقه‌بندی می‌باشند.این داده‌ها در کل قابل تفسیر نبوده و نمی‌توان از طریق آن عوامل اصلی را شناسایی نمود؛ بدین جهت به‌منظور شناسایی عوامل اصلی بعد از جمع‌آوری پرسشنامه اول، با استفاده از نمودار پارتو اقدام به شناسایی عوامل اصلی نموده‌ایم، که نتایج به‌دست آمده به شکل زیر است.

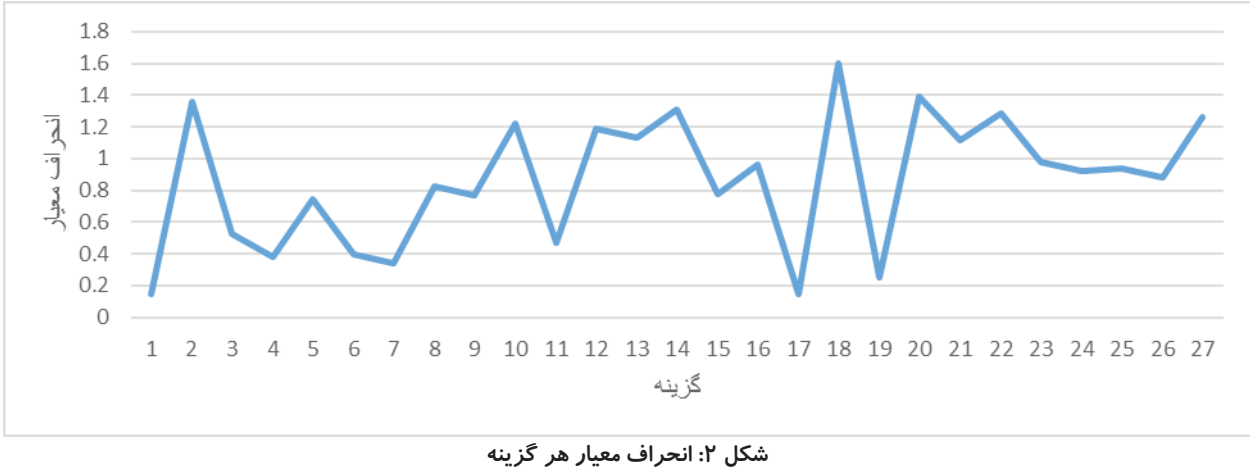
با استفاده از نرم افزار spss[1] انحراف معیار و میانگین هر گزینه به‌دست آمده و در جدول ۷ نشان شده است. همچنین برای درک بهتر، نمودار انحراف معیار هر گزینه در شکل ۲ رسم شده است:

جدول ۷. میانگین و انحراف معیار هر گزینه

شماره گزینه	میانگین	انحراف معیار	تعداد پاسخ دهندگان
۱	۰/۰۲۱۷	۰/۱۴۷۴	۴۶
۲	۲/۷۱۷۴	۱/۳۶۰۷	۴۶
۳	۱/۱۷۳۹	۰/۵۲۹۳	۴۶
۴	۱/۱۰۸۷	۰/۳۷۸۷	۴۶
۵	۱/۸۶۹۶	۰/۷۴۸۵	۴۶
۶	۱/۱۳۰۴	۰/۴۰۰۴	۴۶
۷	۱/۱۳۰۴	۰/۳۴۰۵	۴۶
۸	۱/۷۳۹۱	۰/۸۲۸۲	۴۶
۹	۱/۸۲۶۱	۰/۷۶۸۹	۴۶
۱۰	۲/۲۶۰۹	۱/۲۱۹۰	۴۶
۱۱	۱/۱۵۲۲	۰/۴۶۹۸	۴۶
۱۲	۲/۲۱۷۴	۱/۱۹۰۹	۴۶
۱۳	۲	۱/۱۳۵۲	۴۶
۱۴	۲/۰۸۷۰	۱/۳۱۳۶	۴۶
۱۵	۱/۸۰۴۳	۰/۷۷۸۰	۴۶
۱۶	۱/۸۴۷۸	۰/۹۶۵۳	۴۶
۱۷	۱/۰۲۱۷	۰/۱۴۷۴	۴۶
۱۸	۲/۲۸۲۶	۱/۶۰۰۸	۴۶
۱۹	۱/۰۶۵۲	۰/۲۴۹۶	۴۶
۲۰	۳/۳۹۱۳	۱/۳۹۰۱	۴۶
۲۱	۲/۰۴۳۵	۱/۱۱۴۶	۴۶
۲۲	۲/۳۴۷۸	۱/۲۸۶۱	۴۶
۲۳	۳/۸۰۴۳	۰/۹۸۰۲	۴۶
۲۴	۱/۸۲۶۱	۰/۹۲۶۲	۴۶
۲۵	۲/۳۰۴۳	۰/۹۳۹۷	۴۶
۲۶	۱/۸۰۴۳	۰/۸۸۴۹	۴۶
۲۷	۲/۸۶۹۶	۱/۲۵۸۰	۴۶

نتایج نمودار (شکل ۲) نشان می‌دهد که گزینه های ۱، ۳، ۴، ۶، ۱۱، ۱۷، ۱۹ و ۲۵ که شامل نفوذ آب زیر زمینی به داخل شبکه، پدیده فرونشست خاک، هدر رفت و نشست آب در مسیر انتقال، دما، تخلیه مواد صنعتی به آب، رخداد تغییر شدید اقلیمی، عدم عملکرد مناسب تجهیزات آب، نوسانات مصرفی هستند ۶۷ درصد از ریسک‌های سیستم تأمین و توزیع آب شهری را پوشش می دهند و دارای کمترین انحراف معیار می‌باشند. به همین جهت برای اولویت‌بندی این عوامل آن‌ها را به‌عنوان عوامل اصلی وارد

1. Statistical package for social science



شکل ۲: انحراف معیار هر گزینه

ماتریس تصمیم‌گیری نموده‌ایم.

همانگونه که گفته شد سه نوع اعداد قطعی، بازه‌ای و فازی می‌تواند در تکنیک تودیم گسترش یافته استفاده شود. متغیرهای زبانی استفاده شده برای اعداد فازی در جدول ۳ آورده شده است.

با توزیع پرسشنامه بین سه کارشناس خبره و کارمند در اداره آب شهرستان قزوین ماتریس اولیه گزینه معیار به دست آمده است. همچنین وزن‌های مورد نیاز هر معیار در بخش قبل توسط روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمده است. در پژوهش پیشنهادی، ارزش گزینه‌ها نسبت به معیارهای ۳ و ۴ در قالب اعداد فازی مثلثی و در بقیه معیارها در قالب اعداد قطعی بیان شده است. در بین معیارها، معیارهای ۳ و ۴ معیارهایی از جنس سود هستند و بقیه معیارها از جنس هزینه هستند.

برای اولویت‌بندی و ارزیابی ریسک‌های سیستم تأمین و توزیع آب شهری، روش تودیم توسعه‌یافته در این مقاله استفاده شده است؛ و مراحل آن به‌طور خلاصه به صورت زیر است:

گام ۱: به‌وسیله معادلات ۹-۱۱ سه فرمت مقادیر معیارها به فرمت متغیرهای تصادفی با تابع توزیع تجمعی تبدیل می‌شود.

گام ۲: به‌وسیله معادلات ۱۲-۱۷ ماتریس سود و زیان ساخته می‌شود. به علت کمبود فضا، تنها ماتریس سود و زیان مربوط به معیارهای ۲ و ۳ در ادامه آورده می‌شود.

$$G_2=\begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 2.7 & 2.7 & 0 & 0 & 1.7 & 0.3 & 0.3 \\ 0.7 & 2.7 & 2.7 & 0 & 0 & 1.7 & 0.3 & 0.3 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 2.4 & 2.4 & 0 & 0 & 1.4 & 0 & 0 \\ 0.4 & 2.4 & 2.4 & 0 & 0 & 1.4 & 0 & 0 \end{bmatrix}, G_3=\begin{bmatrix} 0 & 0.15 & 0.08 & 0.17 & 0.16 & 0.31 & 0.306 & 0.33 \\ 0 & 0 & 0 & 0.01 & 0.01 & 0.16 & 0.153 & 0.17 \\ 0 & 0.07 & 0 & 0.08 & 0.08 & 0.23 & 0.22 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.142 & 0.136 & 0.16 \\ 0 & 0 & 0 & 0.001 & 0 & 0.143 & 0.137 & 0.16 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.01 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.006 & 0 & 0.02 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$L_2=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -0.7 & -0.7 & 0 & -0.4 & -0.4 \\ -2 & 0 & 0 & -2.7 & -2.7 & -1 & -2.4 & -2.4 \\ -2 & 0 & 0 & -2.7 & -2.7 & -1 & -2.4 & -2.4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -1.7 & -1.7 & 0 & -1.4 & -1.4 \\ 0 & 0 & 0 & -0.3 & -0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.3 & -0.3 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, L_3=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.15 & 0 & -0.0710 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.08 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.17 & -0.017 & -0.0881 & 0 & -0.001 & 0 & 0 & 0 \\ -0.16 & -0.016 & -0.0871 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.31 & -0.6 & -0.310 & -0.42 & -0.14 & 0 & -0.006 & 0 \\ -0.30 & -0.15 & -0.2247 & -0.136 & -0.13 & 0 & 0 & 0 \\ -0.33 & -0.17 & -0.2500 & -0.161 & -0.16 & -0.019 & -0.02 & 0 \end{bmatrix}$$

گام ۳: به‌وسیله معادلات ۱۸ و ۱۹ ماتریس نرمال شده مرحله قبل به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Y_{۳}=\begin{bmatrix} ۱ & ۰/۹۲ & ۰/۹۴ & ۰/۵۰ & ۰/۵۱ & ۰/۲۴ & ۰/۴۶ & ۰ \\ ۰/۵۳ & ۰/۴۶ & ۰/۴۸ & ۰/۰۴ & ۰/۰۵ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰/۷۵ & ۰/۶۷ & ۰/۶۹ & ۰/۲۶ & ۰/۲۶ & ۰ & ۰/۲۱ & ۰ \\ ۰/۴۸ & ۰/۴۱ & ۰/۴۳ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰/۴۹ & ۰/۴۱ & ۰/۴۳ & ۰ & ۰/۰۰۳ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰/۰۵ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰/۰۷ & ۰ & ۰.۰۱ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \end{bmatrix}, Y_{۲}=\begin{bmatrix} ۰ & ۰/۷۴ & ۰/۷۴ & ۰ & ۰ & ۰/۳۷ & ۰ & ۰ \\ ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰/۲۵ & ۱ & ۱ & ۰ & ۰ & ۰/۶۲ & ۰/۱ & ۰/۱ \\ ۰/۲۵ & ۱ & ۱ & ۰ & ۰ & ۰/۶۲ & ۰/۱ & ۰/۱ \\ ۰ & ۰/۳۷ & ۰/۳۷ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰/۱۴ & ۰/۸۸ & ۰/۸۸ & ۰ & ۰ & ۰/۵۱ & ۰ & ۰ \\ ۰/۱۴ & ۰/۸۸ & ۰/۸۸ & ۰ & ۰ & ۰. & ۰ & ۰ \end{bmatrix}$$

$$Z_{۳}=\begin{bmatrix} ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ -۰.۴۶ & ۰ & -۰.۲۱ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ -۰.۲۴ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ -۰.۵۱ & -۰.۰۵ & -۰.۲۶ & ۰ & -۰.۰۰۳ & ۰ & ۰ & ۰ \\ -۰.۵۰ & -۰.۰۴ & -۰.۲۶ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ -۰.۹۴ & -۰.۴۸ & -۰.۶۹ & -۰.۴۳ & -۰.۴۳ & ۰ & -۰.۰۱ & ۰ \\ -۰.۹۲ & -۰.۴۶ & -۰.۶۷ & -۰.۴۱ & -۰.۴۱ & ۰ & ۰ & ۰ \\ -۱ & -۰.۵۳ & -۰.۷۵ & -۰.۴۸ & -۰.۴۹ & -۰.۰۵ & -۰.۰۷ & ۰ \end{bmatrix}, Z_{۲}=\begin{bmatrix} ۰ & ۰ & ۰ & -۰.۲۵ & -۰.۲۵ & ۰ & -۰.۱۴ & -۰.۱۴ \\ -۰.۷۴ & ۰ & ۰ & -۱ & -۱ & -۰.۳۷ & -۰.۸ & -۰.۸ \\ -۰.۷۴ & ۰ & ۰ & -۱ & -۱ & -۰.۳۷ & -۰.۸ & -۰.۸ \\ ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ -۰.۳۷ & ۰ & ۰ & -۰.۶۲ & -۰.۶۲ & ۰ & -۰.۵۱ & -۰.۵۱ \\ ۰ & ۰ & ۰ & -۰.۱ & -۰.۱ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰ & ۰ & ۰ & -۰.۱ & -۰.۱ & ۰ & ۰ & ۰ \end{bmatrix}$$

گام ۴: به‌وسیله معادلات ۲۰-۲۲ ماتریس درجه تسلط بدست می آید.

$$\Phi_{۳}=\begin{bmatrix} ۰/۴۶ & ۰/۴۴ & ۰/۳۳ & ۰/۳۳ & ۰/۲۲ & ۰/۳۱ & ۰ \\ ۰/۳۳ & ۰/۳۱ & ۰/۳۲ & ۰/۱۰ & ۰/۱۰ & -۱ & ۰ & -۱/۴۶ \\ ۰/۴۰ & ۰/۳۸ & ۰/۳۸ & ۰/۲۳ & ۰/۲۳ & ۰ & ۰/۲۱ & -۱/۰۷ \\ ۰/۳۲ & ۰/۲۹ & ۰/۳۰ & -۰/۱۱ & ۰ & -۱/۱۱ & -۰/۴۹ & -۱/۵۴ \\ ۰/۳۲ & ۰/۲۹ & ۰/۳۰ & ۰ & ۰/۰۲ & -۱/۱۰ & -۰/۴۷ & -۱/۵۴ \\ ۰/۱۱ & -۰/۲۹ & ۰ & -۱/۴۲ & -۱/۴۱ & -۱/۸۰ & -۱/۵۰ & -۲/۰۹ \\ ۰/۱۲ & ۰ & ۰/۰۶ & -۱/۳۹ & -۱/۳۸ & -۱/۷۷ & -۱/۴۷ & -۲/۰۷ \\ ۰ & -۰/۵۹ & -۰/۵۱ & -۱/۵۱ & -۱/۵۱ & -۱/۸۷ & -۱/۵۸ & -۲/۱۶ \end{bmatrix}, \Phi_{۲}=\begin{bmatrix} ۰ & ۰/۴۲ & ۰/۴۲ & -۱/۰۲ & -۱/۰۲ & ۰/۳ & -۰/۷۷ & -۰/۷۷ \\ -۱/۷۳ & ۰ & ۰ & -۲/۰۱ & -۲/۰۱ & -۱/۲۲ & -۱/۸۹ & -۱/۸۹ \\ -۱/۷۳ & ۰ & ۰ & -۲/۰۱ & -۲/۰۱ & -۱/۲۲ & -۱/۸۹ & -۱/۸۹ \\ ۰/۲۵ & ۰/۴۹ & ۰/۴۹ & ۰ & ۰ & ۰/۳۹ & ۰/۱۶ & ۰/۱۶ \\ ۰/۲۵ & ۰/۴۹ & ۰/۴۹ & ۰ & ۰ & ۰/۳۹ & ۰/۱۶ & ۰/۱۶ \\ -۱/۲۲ & ۰/۳۰ & ۰/۳۰ & -۱/۵۹ & -۱/۵۹ & ۰ & -۱/۴۵ & -۱/۴۵ \\ ۰/۱۹ & ۰/۴۶ & ۰/۴۶ & -۰/۶۷ & -۰/۶۷ & ۰/۳۵ & ۰ & ۰ \\ ۰/۱۹ & ۰/۴۶ & ۰/۴۶ & -۰/۶۷ & -۰/۶۷ & ۰/۳۵ & ۰ & ۰ \end{bmatrix}$$

در مورد مطالعه بررسی شده، وزن‌های به‌دست آمده در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به‌عنوان وزن معیارها استفاده شده است. ما θ را یک قرار دادیم که بدان معنی است که زیان با ارزش واقعی خود به ارزش جهانی کمک خواهد کرد. (گومز[1], ۲۰۰۹)

گام ۵: به‌وسیله معادله ۲۴ ماتریس درجه تسلط کلی به دست می‌آید:

$$\Delta=\begin{bmatrix} ۰/۵۷۳۰ & -۱/۳۷۰۶ & -۰/۴۳۲۹ & -۲/۵۰۲۷ & -۱/۸۳۰۳ & -۰/۴۴۵۸ & ۱/۱۱۱۳ & ۰ \\ -۰/۸۷۵۵ & -۲/۸۰۱۵ & -۲/۲۶۲۵ & -۵/۱۸۸۵ & -۳/۱۶۲۳ & -۲/۲۸۴۶ & ۰ & -۵/۱۶۲۵ \\ -۱/۴۳۶۶ & -۱/۳۴۴۹ & -۱/۴۸۳۳ & -۴/۵۶۲۲ & -۲/۲۰۰۳ & ۰ & -۱/۵۷۷۶ & -۵/۵۲۷۷ \\ -۰/۵۲۰۷ & -۲/۰۸۸۸ & -۰/۵۵۱۲ & -۴/۴۱۹۹ & ۰ & -۳/۵۸۶۶ & -۳/۴۲۷۴ & -۵/۳۲۸۶ \\ ۱/۴۹۴۰ & ۰/۸۹۳۶ & ۱/۴۷۱۸ & ۰ & ۰/۸۱۶۷ & -۱/۱۶۱۹ & -۰/۹۶۹۹ & -۲/۶۴۷۰ \\ -۲/۳۳۹۲ & -۳/۴۱۸۳ & ۰ & -۷/۳۶۲۱ & -۴/۰۶۷۹ & -۳/۴۸۱۵ & -۴/۱۹۷۲ & -۷/۲۰۳۳ \\ ۰/۱۳۵۹ & ۰ & -۰/۲۷۰۴ & -۵/۰۰۱۵ & -۲/۵۴۸۴ & -۲/۴۲۴۸ & -۳/۲۲۴۴ & -۵/۰۱۲۶ \\ ۰ & -۴/۱۰۶۵ & -۲/۱۰۴۳ & -۷/۷۶۶۱ & -۵/۱۴۰۸ & -۵/۲۵۵۱ & -۵/۱۴۵۹ & -۷/۰۱۹۳ \end{bmatrix}$$

1. Gomes

گام ۶: با استفاده از معادله ۲۶ ارزش کلی هر گزینه به دست می‌آید. ارزش کلی گزینه‌های مورد نظر ما در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸. رتبه‌بندی نهایی ریسک‌های تأمین و توزیع آب استان قزوین

گزینه	ارزش گزینه
نفوذ آب زیر زمینی به داخل شبکه	۰/۸۶۸۴
پدیده فرونشست خاک	۰/۴۰۶۲
هدر رفت و نشست آب در مسیر انتقال	۰/۵۰۵۲
دما	۰/۴۵۶۰
تخلیه مواد صنعتی به آب	۱
رخداد تغییر شدید اقلیمی	۰/۱۲۲۶
عدم عملکرد مناسب تجهیزات آب	۰/۴۹۹۳
نوسانات مصرفی	۰

نتایج

در این پژوهش ساختار بهم پیوسته سیستم آب شهری را از نقطه تأمین تا نقاط مصرف، به صورت یکپارچه در نظر گرفته شده است، و بر اساس آن ریسک‌ها در سیستم تأمین و توزیع آب در شهرستان قزوین مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است. نتایج پژوهش به شرح زیر است:

۱. عوامل اصلی و تأثیرگذار جهت ارزیابی ریسک‌های آب ابتدا با مراجعه به ادبیات موضوع و مصاحبه با کارشناسان به دست آمده است. سپس اهمیت این عوامل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمده است.

۲. نتایج حاصل از وزن دهی عوامل با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد که تلفات بالقوه اقتصادی دارای بیشترین اهمیت و آمادگی اثربخش بحران نسبت به ریسک دارای کمترین اهمیت است. همچین معیارهای آمادگی ظرفیت برگشت پذیری (واکنش بهبود و بازیابی)، شدت رخداد مخاطره، احتمال رخداد مخاطره در رتبه های دوم تا چهارم از نظر اهمیت معیار قرار دارد.

۳. ریسک‌های مهم و تأثیرگذار در سیستم تأمین و توزیع آب ابتدا با ادبیات موضوع و مصاحبه با کارشناسان به دست آمده است. سپس با استفاده از نمودار پارتو ریسک‌های اصلی به دست آمده است. نتایج استفاده از نمودار پارتو نشان می‌دهد که ریسک‌های نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه، پدیده فرونشست خاک، هدر رفت و نشست آب در مسیر انتقال، دما، تخلیه مواد صنعتی به آب، رخداد تغییر شدید اقلیمی، عدم عملکرد مناسب تجهیزات آب، نوسانات مصرفی ریسک‌های اصلی است. بنابراین این ریسک‌ها به عنوان ریسک اصلی جهت رتبه‌بندی ریسک‌ها به کار گرفته شده است.

۴. ریسک‌های اصلی با توجه به اهمیت هر معیار، با استفاده از روش تودیم توسعه یافته مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این روش، ریسک‌های اصلی نسبت به معیارهای تلفات بالقوه اقتصادی، شدت رخداد مخاطره و احتمال رخداد مخاطره به صورت کمی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در حالی این ریسک‌ها نسبت معیارهای آمادگی اثربخش بحران نسبت به ریسک و آمادگی ظرفیت برگشت پذیری (واکنش بهبود و بازیابی) به صورت کیفی و با استفاده از عدد فازی مثلثی مورد بررسی قرار گرفته است.

۵. نتایج حاصل از تکنیک تودیم توسعه یافته نشان می‌دهد که ریسک‌های تخلیه مواد صنعتی به آب، نفوذ آب زیرزمینی به داخل شبکه، هدر رفت و نشست آب در مسیر انتقال، عدم عملکرد مناسب تجهیزات آب، دما، پدیده فرونشست خاک، رخداد تغییر شدید اقلیمی و نوسانات مصرفی به ترتیب دارای اهمیت بیشتری هستند.

پژوهش حاضر می‌تواند به چند صورت در مطالعات آینده توسعه یابد. پژوهش حاضر می‌تواند با استفاده از دیگر تکنیک‌های تصمیم‌گیری مانند ANP و VASPAS انجام شود. پژوهش حاضر در استان قزوین اجرایی شده است، می‌توان در مطالعات آینده، در استان‌های دیگر کشور را بدین صورت ارزیابی کرد. همچنین می‌توان، ریسک‌های حوزه‌های دیگر را بدین شکل ارزیابی کرد.

منابع

آزادبخت،بهرام؛ غلامرضا نوروزی(۱۳۸۷)؛ جغرافیای آب‌های ایران. انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

اصغر پور، محمد جواد. (۱۳۸۵). تصمیم‌گیری گروهی و نظریه بازیها. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

ایزدی حسین(۱۳۹۶). شناسایی مؤلفه‌های مؤثر در کاهش تاب‌آوری سازمان‌ها در شرایط بحرانی با استفاده از مدل AHP (مطالعه موردی سازمان آتش نشانی شهرستان آمل)؛ فصلنامه علمی-ترویجی دانش پیشگیری و مدیریت

بحران،سال هفتم: ش۴،صص :۳۰۷-۳۱۹. بازیابی از:
http://dpmk.ir/article-149-1-fa.html

خلیلی عراقی، مریم. (۱۳۸۷). بودجه‌بندی سرمایه‌ای چند معیاره گروهی، پژوهشنامه اقتصادی، سال ۸:ش۱، صص۹۹-۱۸۸. بازیابی از:
http://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=76496

داوری، کامران؛ قندهاری، احمد؛ قهرمان، بیژن؛ عمرانیان خراسانی، حمید(۱۳۹۶)؛ ارزیابی ریسک برنامه تأمین آب در محیط فازی (مورد مطالعاتی: برنامه جامع تؤمین آب مشهد تا افق ۱۴۵۰)؛ تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۳: ش۳،صص:۵۶-۷۲. بازیابی از:
http://www.iwrr.ir/article_44524_0.html

نوری سپهر، محمد (۱۳۸۶)؛ مدیریت تأمین آب آشامیدنی در روستاها، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره۲۲: ش۲، صص:۱۳۹-۱۵۷. بازیابی از:
http://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=77054

ولایتی، سعدالله (۱۳۸۳). جغرافیای آب‌ها، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

یزدی، حسین؛ فاضلی، مجتبی (۱۳۹۶)؛ شناسایی و مدیریت ریسک بلایای طبیعی و انسان ساخت حاصل از احداث سدها با استفاده از تکنیکAHP (مطالعه موردی سد هراز شهرستان آمل). فصلنامه علمی-ترویجی دانش پیشگیری و مدیریت بحران،سال ۷: ش۱، صص:۷۰-۸۲.
بازیابی از:http://dpmk.ir/article-126-1-fa.html

Aczél, J., & Saaty, T. L. (1983). Procedures for synthesizing ratio judgements. Journal of mathematical Psychology, 27(1), 93-102. Retrieved from:

Babayan, A., Kapelan, Z., Savic, D., & Walters, G. (2005). Least-cost design of water distribution networks under demand uncertainty. Journal of Water Resources Planning and Management, 131(5), 375-382. Retrieved from: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2005)131:5(375)

Chung, G., Lansey, K., & Bayraksan, G. (2009). Reliable water supply system design under uncertainty. Environmental Modelling & Software, 24(4), 449-462. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.08.007

Chung, G., Lansey, K., Blowers, P., Brooks, P., Ela, W., Stewart, S., & Wilson, P. (2008). A general water supply planning model: Evaluation of decentralized treatment. Environmental Modelling & Software, 23(7), 893-905. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.10.002

Fan, Z. P., Zhang, X., Chen, F. D., & Liu, Y. (2013). Extended TODIM method for hybrid multiple attribute decision making problems. Knowledge-Based Systems, 42, 40-48. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.knosys.2012.12.014

Fattahi, P., & Fayyaz, S. (2010). A compromise programming model to integrated urban water management. Water resources management, 24(6), 1211-1227. Retrieved from: https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-009-9492-4

Fiering, M. B., & Matalas, N. C. (1990). Decision-making under uncertainty. Climate change and US water resources, 75-84.

Gibson, L. J., & Miller, M. M. (1990). A Delphi Model for Planning'Preemptive'Regional Economic D. Economic Development Review, 8(2), 34. Retrieved from:

Giustolisi, O., Laucelli, D., & Colombo, A. F. (2009). Deterministic versus stochastic design of water distribution networks. Journal of water resources planning and management, 135(2), 117-127. Retrieved from: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2009)135:2(117)

Gomes, L. F. A. M. (2009). An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties. European Journal of Operational Research, 193(1), 204-211. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.10.046

Gomes, L. F. A. M., & Lima, M. M. P. P. (1992). TODIM: Basics and application to multicriteria ranking of projects with environmental impacts. Foundations of Computing and Decision Sciences, 16(4), 113-127. Retrieved from: http://www.sciencedirect.com/science/refhub/S0950-7051(14)00055-0/h0045

Gordon, T. J. (1994). Cross-impact method. American Council for the United Nations University. Retrieved from: https://pdfs.semanticscholar.org/7c64/dab10ca4a036f6c0230bada30792ce554e17.pdf

Grigg, N. S. (2003). Water utility security: Multiple hazards and multiple barriers. Journal of Infrastructure Systems, 9(2), 81-88. Retrieved from: https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2003)9:2(81)
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022249683900287
http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/2006_unwater_coping_with_water_scarcity_eng.pdf, 2006.
https://search.proquest.com/openview/c493ae6bb3fa14cb200b9fc7e4b13e3e/1?pq-origsite=gscholar&cbl=38209

Jafari, S. M., & Nikoo, M. R. (2016). Groundwater risk assessment based on optimization framework using DRASTIC method. Arabian Journal of Geosciences, 9(20), 742. Retrieved from: https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-016-2756-4

Krohling, R. A., & de Souza, T. T. (2012). Combining prospect theory and fuzzy numbers to multi-criteria decision making. Expert Systems with Applications, 39(13), 11487-11493. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.04.006

Li, Y., Shan, Y., & Liu, P. (2015). An extended TODIM method for group decision making with the interval intuitionistic fuzzy sets. Mathematical Problems in Engineering, 2015. Retrieved from: http://dx.doi.org/10.1155/2015/672140

Liu, P. D., & Wang, T. J. (2007). A method for multiple attribute decision making with triangular fuzzy number and partial attribute weight information. Journal of Information and Computational Science, 4(3), 1017-1022. Retrieved from: http://refhub.elsevier.com/S0959-6526(16)31246-X/sref35

Luers, A. L., Lobell, D. B., Sklar, L. S., Addams, C. L., & Matson, P. A. (2003). A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. Global Environmental Change, 13(4), 255-267. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/S0959-3780(03)00054-2

Makropoulos, C. K., Natsis, K., Liu, S., Mittas, K., & Butler, D. (2008). Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. Environmental Modelling & Software, 23(12), 1448-1460. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.04.010

and Priority for System-Wide Action. UN-Water: Geneva, Switzerland. Retrieved from:

Wilchfort, O., & Lund, J. R. (1997). Shortage management modeling for urban water supply systems. Journal of water resources planning and management, 123(4), 250-258. Retrieved from: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1997)123:4(250)

Xu, T. Y., & Qin, X. S. (2013). Integrating decision analysis with fuzzy programming: Application in urban water distribution system operation. Journal of Water Resources Planning and Management, 140(5), 638-648. Retrieved from: https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000363

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and control, 8(3), 338-353. Retrieved from: http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789814261302_0021

Zimmermann, H. J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. Fuzzy sets and systems, 1(1), 45-5. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/0165-0114(78)90031-3

Morley, K. M. (2012). Evaluating Resilience in the Water Sector: Application of the Utility Resilience Index (URI) (Doctoral dissertation). Retrieved from: http://digilib.gmu.edu/jspui/handle/1920/7880

Mousavi, S. J., Mahdizadeh, K., & Afshar, A. (2004). A stochastic dynamic programming model with fuzzy storage states for reservoir operations. Advances in Water Resources, 27(11), 1105-1110. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.07.007

Parente, F. J., Anderson, J. K., Myers, P., & O'brien, T. (1984). An examination of factors contributing to Delphi accuracy. Journal of Forecasting, 3(2), 173-182. Retrieved from: doi:10.1002/for.3980030205

Qin, J., Liu, X., & Pedrycz, W. (2017). An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment. European Journal of Operational Research, 258(2), 626-638. Retrieved from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221716308116

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: planning. Priority Setting. Resource Allocation, MacGraw-Hill, New York International Book Company, 287. Retrieved from: http://refhub.elsevier.com/S0959-6526(16)31246-X/sref45

Sadiq, R., Kleiner, Y., & Rajani, B. (2004). Aggregative risk analysis for water quality failure in distribution networks. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 53(4), 241-261. Retrieved from: http://aqua.iwaponline.com/content/53/4/241

Schmidt, R. C. (1997). Managing Delphi surveys using nonparametric statistical techniques. decision Sciences, 28(3), 763-774. Retrieved from: doi: 10.1111/j.1540-5915.1997.tb01330.x

Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R. M., & Kabli, M. R. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. Applied Soft Computing, 17, 105-116. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.003

Tchórzewska-Cieślak, B. (2011). Fuzzy failure risk analysis in drinking water technical system. Reliability: Theory and Applications, 2, 138-148. Retrieved from: http://ww.gnedenko-forum.org/Journal/2011/012011/RTA_1_2011-14.pdf

Turner, B. L. (2010). Vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science?. Global Environmental Change, 20(4), 570-576. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.07.003

Wang, C. H., & Blackmore, J. M. (2012). Supply–demand risk and resilience assessment for household rainwater harvesting in Melbourne, Australia. Water resources management, 26(15), 4381-4396. Retrieved from: https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-012-0150-x

Wang, S., & Huang, G. H. (2014). An integrated approach for water resources decision making under interactive and compound uncertainties. Omega, 44, 32-40. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.10.003

Water, U. N. (2006). Coping with Water Scarcity–A Strategic Issue