تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سیزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶
Volume 13, No. 3, Fall 2017 (IR-WRR)
۵۶-۷۲

ارزیابی ریسک برنامه تأمین آب در محیط فازی، مورد مطالعاتی: تأمین آب دشت مشهد تا افق ۱۴۵۰

کامران داوری[۱*]، احمد قندهاری[۲]، بیژن قهرمان[۳] و حمید عمرانیان خراسانی[۴]

چکیده

امروزه تأمین نیازهای آبی برای مصارف مختلف در بسیاری از نقاط دنیا و بویژه ایران از اساسی‌ترین چالش‌های پیش‌روی برنامه‌ریزان است. بر این اساس تأمین آب از نقاط مختلف و اجرای پروژه‌های گوناگون، از راهکارهای جاری جهت رفع این چالش در کنار روش‌های غیرسازه‌ای بوده و میزان زیادی از اعتبارات و بودجه‌های ملی را به خود اختصاص می‌دهد. به رغم وجود تنوع روش‌های ارزیابی ریسک هنوز این روش‌ها نتوانسته‌اند به طریق مناسبی در پروژه‌های اجرایی به کار گرفته شوند. در این مقاله پس از توسعه یک چارچوب منسجم ارزیابی ریسک، به صورت موردی به بررسی چالش‌ها و فرصت‌های چهار گزینه تأمین آب مشهد پرداخته شده است که برآورد اولیه در مورد حجم سرمایه‌گذاری آنها نزدیک به ۱۵۰۰۰۰ هزار میلیارد ریال می‌باشد. در چارچوب تحلیل ریسک، به کمک روش بارش افکار و دلفی، عوامل مخاطره‌آمیز در چهار گزینه تأمین آب مشهد بررسی و ریسک هر کدام از آنها بر اساس امکان بروز مخاطرات با کمک تئوری امکان و منطق فازی برآورد شده است. نتایج نشان داد، گزینه انتقال پساب دارای امکان ریسک کمتری نسبت به سایر گزینه‌ها می‌باشد و لذا در اولویت اول تأمین آب شهر مشهد قرار می‌گیرد. همچنین گزینه‌های تأمین آب شهر مشهد به کمک تئوری مارکویتز در قالب یک سبد پروژه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند که نتایج آنها بیانگر حداکثر ۵۵ درصد اعتمادپذیری است. در این پژوهش چارچوب در نظر گرفته شده بر اساس مبانی منطق فازی و تئوری امکان بنا نهاده شده و ضمن تطابق مناسب با روش‌های جمع‌آوری اطلاعات بر اساس نظر کارشناسان، می‌تواند مسیر ساده‌ای را برای بکارگیری روش‌شناسی در سایر پروژه‌های اجرایی تأمین آب که عملاً به رغم میزان بالای سرمایه‌گذاری هیچ گونه تصور روشنی از مخاطرات و فرجام برنامه‌ای آنها وجود ندارد محسوب شود.

کلمات کلیدی: دشت مشهد، ریسک، عدم قطعیت، تأمین آب، ماروکویتز فازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۵/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱/۷

۱- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۲- دکتری آبیاری زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، گروه آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان اسفند ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

Fuzzy Risk Assessment of Water Supply Programs (Case Study: The Master Plan for Mashhad Water Supply until 2070)

K. Davari[1], A. Ghandahari[2], B. Ghahraman[3] and H. Omranian Khorasani[4]*

Abstract

Supplying water for various uses is one of the most fundamental challenges facing planners in Iran and many parts of the world. To address these challenges, along with the non-structural management measures, huge proportion of national funds and budget is being allocated to supply of water from different locations using different techniques. Despite the diversity of risk assessment methods, they were not yet applied in executive projects in an effective way. In this paper a consistent framework for assessing the risk of different water supply projects are presented. Then, the challenges and opportunities of each water supply option for Mashhad City with the initial investment of 3.75 billion dollar are introduced. In this regard, the possible hazards of each option were determined by Brainstorming. Furthermore, the risk of each hazard is calculated based on Fuzzy logic and the probability of occurrence for each hazard. The results showed that the wastewater transfer option faces less possible risk compared to other options. The risks of water supply options for Mashhad city were assessed by the Markowitz's portfolio theory. The results had the maximum of %55 confidence level. The theory of possibility and fuzzy logic are two basic components of the proposed framework, which are completely in accordance with the data collection methods based on expert opinion. Thus, the proposed framework can be used as a simple path in other water supply projects which despite their vast capital investments represent no clear perspective regarding their future risks.

Keywords: Mashhad Plain, Risk, Uncertainties, Water Supply, Fuzzy Markowitz Method.

Received: August 2, 2016
Accepted: April 6, 2017

1- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran. Email: k.davary@um.ac.ir
2- PhD of Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran
3- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran
4- MSc, Water Management, Water Engineering Department, Tarbiat Modares, Iran
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

برنامه‌ریزی برای آینده دیدگاهی جدید در مدیریت منابع آب محسوب نمی‌شود؛ زیرا تغییرات حال و آینده معمولاً با عدم قطعیت‌های فراوان همراه هستند. بنابراین در برنامه‌ریزی زیرساختی و تصمیم‌گیری برای آینده دیدگاه‌های سنتی ایستا نمی‌توانند برای تغییرات سریع کارآمد باشد. این ناتوانی از آگاهی ناقص مدیران و کمبود اطلاعات برای تصمیم‌گیری سرچشمه می‌گیرند. اولی از نبود اطلاعات و فهم نادرست یک سیستم ناشی می‌شود و دومی از عدم قطعیت ذاتی در جوامع انسانی و هر سیستم طبیعی و مصنوعی نشأت می‌گیرد (Khatri, 2013). بسیاری از پارامترها و ارتباط بین آنها در سیستم‌های مدیریت منابع آب، به علت خطا در داده‌برداری، ناکافی بودن اطلاعات، پیچیدگی سیستم‌های آبی و غیره، با عدم قطعیت بالا و ریسک فراوان همراه هستند (McIntyre et al., 2003; Maqsood et al., 2005). علاوه بر این در مدیریت سیستم‌های منابع آب دیدگاه و نگرش‌های متفاوت افراد و در نتیجه بروز عدم قطعیت‌های رفتاری افراد مختلف تصمیم‌گیری را پیچیده نموده؛ چرا که افراد مختلف دارای منافع و خواسته‌های متعدد بوده و از دیدگاه ایشان اهمیت موضوعات مختلف مدیریت آب متفاوت است (Luyet et al., 2012). از طرفی پایداری سیستم‌های منابع آب، تابع عوامل مختلف اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و ... است، لذا در ارزیابی گزینه‌های تأمین آب، بررسی اثرات متقابل پارامترهای مختلف و بررسی ریسک‌های آنها لازم و ضروری است.

در حال حاضر در بسیاری از نقاط دنیا همزمان با رشد سریع تقاضاهای ناهمگون، کاهش عرضه آب و مدیریت ضعیف منابع و تخصیص آب، «پایداری منابع آب» دچار چالش اساسی شده است (WEF, 2015). دشت مشهد نیز که کلان شهر مشهد در آن واقع است به لحاظ تأمین آب در حوزه آب‌های زیرزمینی و آبهای سطحی با مشکلات اساسی مواجه است. نشست زمین و کاهش حجم آبخوان، رشد سریع جمعیت، ورود حجم زیادی از زائران داخلی و خارجی، مهاجرت گسترده از تمام نقاط استان و کشور به این شهر در سال‌های اخیر برخی از مشکلات این شهر بوده که تأمین آب مورد نیاز را پیچیده نموده است. اکنون این شهر با جمعیتی بیش از ۳ میلیون نفر به عنوان حاشیه نشین که کمترین زیرساختهای تأمین آب برای آنها پیش‌بینی نشده علاوه بر چالشهای تأمین آب با چالشهای زیرساختی نیز در آبرسانی مواجه است (Davari et al., 2013). بر اساس مطالعات موجود دشت مشهد در میزان تقاضای آب از عرضه آن پیشی گرفته و کمیابی آب[1] رخ داده چرا که این دشت در حال حاضر به رغم انتقال بیش از ۸۰۰ میلیون متر مکعب آب از سد دوستی برای شرب مشهد، با کسری مخزن متوسط بیش از ۱۰۰ میلیون متر مکعب در سال و افت بیش از ۲ متری سطح آبخوان در غرب دشت به عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین آب جمعیت ۳٫۳ میلیون نفری دشت مواجه است. لذا یکی از چالش‌های عمده مدیریت آب در این دشت، عدم اطمینان از تأمین نیازهای آبی برای مصارف مختلف می‌باشد. این بدین معناست که منابع موجود و پتانسیل‌های محلی و منطقه‌ای به هیچ وجه متناسب با نیاز محدوده مورد پژوهش نبوده، بنابراین باید منابع آبی جدیدی را برای این دشت جستجو کرد. لذا مدیران آب برای رفع چالش کمیابی آب علاوه بر راه‌حل‌های مدیریت تقاضا به دنبال راه‌حل‌های مدیریت عرضه آب نیز خواهند بود. گرچه مدیریت تقاضا در بلند مدت امکان کاهش بحران و مدیریت آن را ممکن می‌سازد؛ اما در شرایط کنونی به دلیل رشد سریع توسعه بویژه در دشت مشهد و افزایش چشمگیر میزان تقاضا در این دشت ممنوعه بحرانی، چاره‌ای جز تأمین منابع آب جدید نخواهد بود.

در حال حاضر چهار گزینه انتقال آب شامل هزار مسجد، تاجیکستان، دریای عمان و انتقال پساب به غرب مشهد در دست مطالعه و یا اجرا هستند. آنچه در این طرح‌ها باعث دغدغه متولیان وزارت نیرو بوده است، چالش‌ها و عدم قطعیت‌های مرتبط با اهداف تعریف شده تأمین آب و زمان اجرای پروژه‌های انتقال می‌باشد. در این پژوهش به منظور بررسی حوادث غیرمنتظره در پروژه‌های تأمین آب مشهد عدم قطعیت‌ها و ریسک گزینه‌های تأمین آب مشهد ارزیابی شده است. با توجه به ماهیت فرآیند ارزیابی ریسک در پروژه‌های مختلف در این پژوهش تلاش شده است تا منابع مختلف عدم قطعیت و ریسک در پروژه‌های تأمین آب مشهد شناسایی و چارچوب مناسبی برای رتبه‌بندی پروژه‌ها با کمک تئوری فازی- امکان ارائه گردد. لذا از یک الگوریتم مدون مبتنی بر حصول چالش و فرصت‌ها برای هر پروژه در قالب جلسات طوفان فکری، تکمیل پرسشنامه‌ها (روش دلفی)، تحلیل نتایج در فضای امکان و در نهایت ارزیابی ریسک هر کدام از پروژه‌ها استفاده شده است.

۲- مبانی تحقیق

همواره وجود عدم قطعیت‌های مختلف باعث بروز حوادث ناخواسته‌ای می‌شوند که پیش‌بینی و جلوگیری از وقوع این حوادث بر عهده مدیران می‌باشد. برای درک وقوع این حوادث در ابتدا مدیران باید عوامل بالقوه بروز مخاطرات را شناسایی نمایند. هنگامی که مخاطرات با سطح بالایی از ریسک شناسایی شد، لازم است برنامه‌های مدیریت ریسک جهت کاهش خسارات محتمل از هر طریق (پیشگیری، آمادگی، پاسخ و اقدامات بهبودی) طراحی و اجرا گردد (Ghandehari et al., 2015). ریسک عبارت است از، عدم‌قطعیت‌هایی که در صورت وقوع، اهداف

پـروژه را متـأثر خواهنـد کـرد. اثرات ریسک نیز، انحرافات پیش‌بینی نشده در اهداف پروژه هستند که به‌صورت مثبـت یـا منفـی در نتیجه وقـوع ریـسک بـروز خواهند کرد. ارتباط بین منشأ، ریسک و تأثیر در شکل ۱ نشان داده‌شده اسـت (Nazari et al., 2008).

عموماً بر اساس مطالعات گذشته روش‌های تحلیل و ارزیابی ریسک را می‌توان طبق دو نگرش مختلف تقسیم‌بندی کرد: الف) روش‌های گذشته یا آینده‌نگر، ب) روش‌های تحلیل جعبه سفید و سیاه. روش‌های گذشته‌نگر[۲] به دنبال کشف ریشه حوادث ناهنجار و متضاد در گذشته می‌باشند. هدف اصلی در این روش مشخص کردن علت وقوع حواث ناخوشایند هستند (USGS, 2000). مشکل اصلی این مدل‌ها آن است که صرفاً بر وقایع مشخصی که پیامد را رقم زده‌اند تمرکز نموده و لذا از توجه به دیگر سناریوهای محتمل، غفلت شده، مدل مزبور راههای کاهش ریسک را نشان نمی‌دهد (Germain et al., 2008). از جمله مدل‌های آینده‌نگر[۳] می‌توان به ۱- مدل تحلیل مخاطرات و نقاط کنترل بحرانی[۴] (Griffith et al., 2005; Davison et al., 2005; Dominguez-Chicas and Scrimshaw, 2010; Yokoi et al., 2006; Jayarante, 2008)؛ ۲- مدل شکست و تحلیل اثر[۵] (Dominguez-Chicas and Scrimshaw, 2010)؛ و ۳- مدل تحلیل درخت خطا[۶] (Hong et al., 2009) اشاره نمود. در این مدل‌ها، عموماً تمرکز بر عوامل ذهنی و انتزاعی کارشناسان است. روش آینده‌نگر، گرچه نیازمند داده‌های محدودی است، اما جمع‌آوری این داده‌ها (یا استخراج آنها از ذهن کارشناسان) بسیار دشوار و وقت‌گیر است. مزیت این روش‌ها افزایش درک اعضای تیم کارشناسی نسبت به وقوع انواع سناریوهای محتمل و ارزیابی نسبتاً جامع اثرات اصلی و جانبی هر سناریو قبل از اتخاذ تصمیمات می‌باشد. نگرانی اصلی در مورد استفاده از روش‌های آینده‌نگر دخالت نظر کارشناسی در نحوه کمّی کردن ریسک‌ها و عواقب آن می‌باشد؛ چرا که تخمین صحیح هزینه و منافع پیامدها می‌تواند بسیار دشوار باشد. دیدگاه دیگر تحلیل ریسک به روش جعبه سیاه و سفید است (Ted, 2014): در روش جعبه سیاه[۷] : تحلیل توسط شخص با تجربه و مجرب انجام می‌شود. وی براساس تجربه خود و آشنایی با پروژه، ریسک آن را تخمین می‌زند. بنابراین تخمین ریسک، متکی بر تجربه کارشناسی بوده و محاسبات مشخصی ندارد (Tanaka, 2000). در روش جعبه سفید[۸]: کاربر توانائی دارد به آسانی قوانین تعریف شده و روابط بین پارمترها و همچنین فرایند تصمیم‌گیری موجود در سیستم را درک کند. لذا بسیاری از روش‌های تخمین ریسک براساس منطق فازی (Cazemier et al., 2001؛ Mohamed and McCowan, 2001)، و روش بهینه‌سازی (Wang and Du, 2003; Li et al., 2006 , 2007; Li and Huang, 2008; Guo and Huang, 2010; Xu and Qin, 2010) از روش‌های جعبه سفید محسوب می‌شوند.

پیچیدگی و پویای سیستم‌های منابع آب دارای مؤلفه‌های فراوانی در تصمیم‌گیری هستند که اثرات متقابل و وابستگی‌های درونی فراوانی با یکدیگر دارند. این در هم تنیدگی باعث بروز عدم‌قطعیت‌های مختلف در طی فرایند برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب می‌گردد. بر این اساس تحلیل مقدار اثرات این در هم تنیدگی‌ها بسیار مشکل و در برخی موارد غیرممکن است. معمولاً نیاز است تا همه اطلاعات به شکل احتمالاتی یا فازی بسط داده شود و یک مدل همگن و یا با توصیف تمامی اطلاعات به صورت جداگانه بتوان مدلی ناهمگن را تولید کرد؛ هرچند که هنوز یک دستورالعمل مشخص برای انتخاب یک تکنیک تحلیل عدم‌قطعیت بر طبق منبع و نوع عدم‌قطعیت در دسترس نیست (Khatri, 2013). تجزیه و تحلیل داده‌های چند متغیره منطبق بر نظریه احتمال یک ابزار مناسب برای تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت‌ها در دنیای واقعی است که آنها را به عنوان پدیده‌ای احتمالاتی در نظر می‌گیرد. تجزیه و تحلیل داده‌ها براساس توزیع امکان جایگزینی مناسب برای این محاسبات محسوب می‌شود (Tanaka et al., 1998).

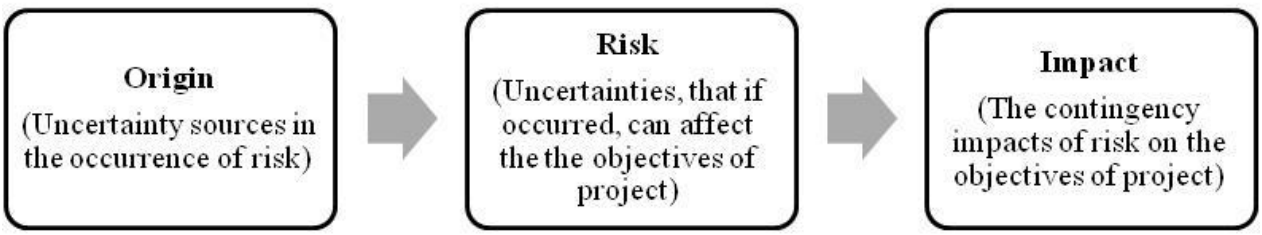

Fig. 1- The relationship between origin, risk and impact
شکل ۱- ارتباط بین منشاء، ریسک و اثرات ریسک

منطق فازی به علت قابلیت‌های فراوان در برخورد با داده‌های کم در دسترس، وجود متغیرهای ذهنی و زمانی و مدل‌سازی نظرات کارشناسی و ... یکی از بهترین ابزار در تحلیل ریسک به روش جعبه سفید محسوب می‌شود و می‌تواند در شرایطی که درک روشنی از اتفاقات آینده (با توجه به نبود تجربه گذشته) وجود ندارد، نتایج بهتری ارائه نماید. در این مقاله، دو نوع مدل انتخاب سبد سهام، یکی بر اساس احتمالات فازی (به عنوان بسط مدل مارکوویتز) و دیگری بر اساس توزیع امکان بکار برده شده است. به طوری که در اولین بخش به رتبه‌بندی پروژه‌ها و در دومین بخش به تعیین اعتمادپذیری برنامه تأمین آب مشهد با کمک مدل انتخاب سهام پرداخته شده است.

۳- موضوع مورد مطالعه

گزینه‌های موجود و ممکن (در حال بررسی) برای تأمین آب مشهد شامل شش مورد می‌باشند که در قالب برنامه جامع تأمین آب مشهد در مراحل مختلف اجرا هستند. در حال حاضر دو گزینه «برداشت از آبخوان دشت مشهد» و «انتقال آب از سد دوستی» در حال بهره‌برداری می‌باشند. چهار گزینه دیگر در دست بررسی است که شرح مختصری از هر گزینه در جدول ۱ ارائه شده است.

۴- مواد و روش‌ها

گام‌های تحقیق را می‌توان به شکل زیر خلاصه نمود:

الف) چالش و فرصت‌های‌های مرتبط با هر گزینه، در جلسات بارش افکار[۹] با حضور حداقل ۱۰ نفر از کارشناسان ارشد مجرب و مدیران مرتبط آب منطقه‌ای خراسان رضوی و در قالب ۱۴۴ نفر- ساعت کار جمعی انجام شده است. برای این منظور بر اساس مدل PEST-ICDF[۱۰] ریسک‌های متصور استخراج شد. با توجه به اینکه «تأمین آب مشهد» هدف گزینه‌های فوق‌الذکر است کلیه چالش‌ها و فرصت‌ها از منظر داشتن اثرات منفی و مثبت احتمالی بر روی هدف، مورد بررسی قرار گرفتند و در صورت تأیید، ریسک تلقی شدند (جدول ۲).

ب) بر اساس نتایج جلسات، پرسشنامه‌های تنظیم و به روش دلفی، احتمال و اثر بروز هر کدام از مخاطرات ذیل هر گزینه با کمک متغیرهای زبانی مشخص شده است. متغیرهای زبانی، واحدهای ساختمانی منطق فازی هستند و به عنوان متغیرهایی تعریف می‌شوند که مقادیر آنها به صورت کلمات یا جملات بیان می‌گردند.

Table 1- Brief description of the possible options for water supply of Mashhad

جدول ۱- شرح مختصری از گزینه‌های محتمل تأمین آب مشهد

	Options	Description/ status	Annual supply volume (MCM)	Scheduled utilization time
1	Harvesting groundwater	• Aquifers in Mashhad study area are critically banned • Requires a reduced harvest to restore the aquifer	300	Under exploitation
2	Doosti Dam	• Having political conflict with Afghanistan	150	Under exploitation
3	Wastewater treatment	• A large percentage of wastewater in Mashhad is still neither collected/ nor refined • part of the treated wastewater is released into the river now	Currently 34% of urban consumption (depending on urban development, can increase up to 70%)	Under exploitation (gradually increases until 2040)
4	Water transfer from Hezar-Masjed Mountains	• Use of available surface waters and/or Karst resources • The possibility of increasing conflicts with Turkmenistan and locals	40-30	2030
5	Water transfer from Sea of Oman	• long-distance transmission • many challenges Due to the magnitude of project	157-220	2050
6	Water transfer from Tajikistan (Different routes)	• reduces the political power of Iran in the region in terms of dependence on cross-border waters including the transfer of water from Afghanistan, Tajikistan or Turkmenistan	300-400	2030-2050

Table 2- Uncertainty sources based on PEST- ICDF

جدول۲- منابع بروز عدم قطعیت بر اساس مدل PEST-ICDF

	Type of risk	Description
1	International Relations	Type of relationship with the state(s) located in the water conveyance line will affect the volume (even on having or not having) of flow to Iran. So, only border and cross-border options are exposed to this risk.
2	Financial	Risks due to the lack of financial supply (temporal/ quantitative) will disrupt Mashhad water supply. Whether the source of financing is private or public sector, delay or reduce in the required resources will jeopardize the objectives of project.
3	Climate change	Climate change can be a source of risk for Mashhad water supply in most options (except for wastewater treatment and transfer from Sea of Oman).
4	Transfer	The long path itself is a source of water hazards such as construction difficulty, high cost, operation and maintenance complexity etc. the transmission cutoff is also possible due to technical, natural (earthquakes, etc.) and human causes.
5	Social	Ethnic and regional conflicts with regard to the transfer of water from an outside source can be the source of risks and negative impacts on Mashhad water supply.
6	Development	Future developments in the origin or transmission path can disrupt Mashhad water supply in the future as the final destination of transmission line.
7	Environmental	Environmental constraints and challenges in the origin or transmission path can run options into serious/unsolvable difficulties and therefore impair Mashhad water supply.
8	Political	Political competition between the various decision-making bodies (metropolitan, provincial and national) can lead to lack of coordination among them and thus slow or stop the enforcement of options (governors, provincial managers and parliamentarians, etc.)

به عنوان مثال، اندازه ریسک می‌تواند به صورت یک مقدار عددی در فاصله [0,%100] یا به عنوان یک متغیر زبانی با ارزش‌هایی نظیر بالا، نه خیلی بالا و ... بیان شود. هر کدام از این ارزش‌های زبانی می‌تواند به عنوان نشانی از یک زیرمجموعه فازی X=[0,%100] تفسیر شود که متغیر مبنای آن X و ارزش عددی اندازه ریسک است. با توجه به پیچیدگی مسئله و از طرفی بالا بودن تعداد متغیرها و به منظور کاهش حجم محاسبات، با دسته‌بندی پارامترها از پارمترهای وابسته به زمان و مستقل از زمان استفاده شده است. برای پارمترهای زمانی تابع فازی ذوزنقه‌ای و برای پارامترهای مستقل از زمان عدد مثلثی فازی در نظر گرفته شده است. با استفاده از متغیرهای زبانی به تعداد هفت عدد فازی مثلثی تعریف شده است (جدول ۳).

پ) انتخاب شکل عدد فازی: توسعه و بسط توابع عضویت در قالب اعداد فازی برای پارامترهای مختلف یکی از موضوعات مورد توجه در مدل‌سازی فازی است. تلاش‌های زیادی برای ارائه روش‌های متنوع برای تشکیل اعداد فازی انجام شده است. روش‌هایی که بر اساس شهود و ادراک مستقیم از پارامتر مورد مطالعه هستند یا براساس الگوریتم ها و عملگرهای منطقی می‌باشند. روش اول روش تجربی و شهودی است که بر مبنای دانش انسان و درک او از پدیده صورت می‌گیرد.

بنابراین مبنای این روش در شکل‌گیری اعداد فازی درک انسانی است. روش دیگر و نزدیک به این روش، روش استنباطی است که از استدلال قیاسی برای تشکیل اعداد فازی مختلف بهره می‌گیرد.

Table 3- Triangular fuzzy numbers for each of the linguistic variables

جدول ۳- اعداد فازی مثلثی به هر یک از متغیرهای زبانی

Linguistic variable	Symbol	Fuzzy numbers
Very Low	VL	(0.1, 0.1, 0.3)
Low	L	(0.1, 0.1, 0.3)
Medium to Low	ML	(0.2, 0.3, 0.4)
Medium	M	(0.3, 0.4, 0.5)
Medium to high	MH	(0.4, 0.5, 0.6)
High	H	(0.6, 0.7, 0.8)
Very high	VH	(0.7, 0.9, 1)

بر اساس مجموعه‌ای از حقایق و دانش‌ها و مقایسه بین آنها، نتیجه‌گیری انجام می‌شود و در نهایت توابع عضویت اعداد فازی برپایه نتایج موجود شکل داده می‌شوند. روش دیگر در مواردی که پارامترهای نسبی با هم مقایسه می‌شوند روش دسته‌بندی است. این روش بسیار وابسته به برتری و اولویت پارامترهای مختلف به یکدیگر است و مهم‌ترین کاربرد آن در مواقعی است که قرار است نظرسنجی بین افراد مختلف یک جامعه انجام شده و پارامترهای خاص با یکدیگر مقایسه شوند (Hale et al., 2010). در مواقعی که مجموعه‌ای از داده های ورودی وجود داشته باشد می‌توان از روشی برپایه الگوریتم‌های مختلف مانند شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک برای تشکیل اعداد فازی بهره گرفت. یکی از متداول‌ترین روش‌های تشکیل اعداد فازی استفاده از فازی سازها است که با در نظرگرفتن تعریف خاص و یک سری داده، رابطه‌ای برای عضویت آنها تعریف می‌کنند (Hale et al., 2010). انواع مختلفی از فازی‌سازها با ویژگی‌های مختلف وجود دارند که بسته به نوع داده‌های ورودی یا نوع نیاز به اعداد فازی خروجی هر یک دارای قابلیت خاص هستند (Hale et al., 2010). یکی از روشهایی که در این مسیر پیشنهاد می‌شود استفاده از پارامترهایی چون شیب عدد فازی، موقعیت عدد فازی، سطح عدد فازی و ... بوده که با ترکیب مفاهیم فاصله هندسی، محیط و ارتفاع عدد فازی می‌توان شبیه ترین عدد فازی را به شکل مناسب آن و به کمک روشهایی چون TOPSIS مرتبط کرد (Hale et al., 2010).

تئوری امکان بیانگر امکان برخی از پارامترهای نامعین در یک مجموعه از طریق توابع عضویت است. این توابع عضویت فازی اغلب نیازمند بحث‌های موضوعی در مورد شکل و حدود مقادیر پارامترها با عضویت غیر صفر است که خود منبع اضافی از عدم‌قطعیت‌های موضوعی در تحلیل است. در حالتی که از عضویت فازی در ریسک استفاده می‌کنیم شکل و تعداد پارامترهای نامعین بر اساس دانش کارشناسی انتخاب می‌شود. چولگی شکلِ عدم کفایت شکل انتخاب شده باید در موقع انتخاب تابع عضویت با مراقبت و دقت زیاد مدنظر قرار گیرد (Khatri, 2013).

با داشتن تابع توزیع احتمال الگوریتم‌های مختلفی برای تبدیل آنها به توابع عضویت فازی پیشنهاد شده است. شکل‌های بکار گرفته شده برای توابع عضویت در پژوهش‌های قبل نیز می‌تواند به عنوان یک مسیر برای انتخاب شکل تابع عضویت راه گشا باشد. اگر چه روش‌های مختلفی برای تبدیل اطلاعات به فازی وجود دارد؛ اما اخیرا توسعه‌های بیشتری به خصوص برای تبدیل یک فرم از اطلاعات به فرم دیگر در دسترس است که بخصوص برای توزیع های پیوسته و داده‌های چند قیدی تعداد این روش‌ها بیشتر است. در این زمینه به کارهای Serrurier and Prade, 2011; Mauris, 2010; Florea et al.,) 2008) اشاره کرد. مرور کارهای پژوهشی گذشته نشان داد که این موضوع هنوز در مراحل ابتدایی رشد است. از طرفی بیشتر تکنیک‌ها به داده‌های گسسته نگاه کرده‌اند که مناسب برای داده‌های پیوسته نیستند. برخی تکنیک‌ها پارامترهای تک وجهی را تحلیل و برخی داده‌های چندوجهی و توزیع‌های دوگانه را تحلیل می‌کنند. بسیاری از آنها ارتباطی با تابع عضویت فازی و تابع توزیع احتمالاتی ندارند. بسیاری از تکنیک‌ها در کاربرد عملاً بسیار پیچیده هستند (Khatri, 2013).

با این حال در اغلب مدلسازی ها دو دسته از اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و این دو شکل پرکاربرد هستند. اگر بتوان یک مقدار محتمل را برای پارامتر مورد نظر تخمین زد و نیز یک فاصله معلوم با اطمینان کافی برای داده‌ها داشته باشد و همچنین مقدار پارامتر یگانه و معلوم نباشد، شکل مثلثی فازی پیشنهاد می‌شود؛ اما اگر همه شروط برقرار و به جای یک مقدار بتوان یک فاصله برای مقادیر محتمل پارامتر تخمین زد شکل ذوزنقه‌ای مناسب است (Khatri, 2013).

ت) ارزیابی ریسک (شدت و احتمال وقوع هر کدام از مخاطرات) بر اساس نظرات کارشناسان انجام گرفته و نتایج در قالب اعداد فازی ارائه شده است. هرچند روش‌های متفاوتی دیگری برای ایجاد تابع عضویت از قبیل شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک وجود دارد؛ اما بر اساس هدف اصلی این تحقیق یعنی بررسی امکان بروز ریسک براساس دانش متخصصین از روش امکان فازی استفاده شده است. در مورد ارزیابی ریسک تمام حالات بروز مخاطره از بدبینانه تا خوشبینانه‌ترین حالت مد نظر قرار گرفته، سپس عدم قطعیت مخاطرات مبتنی بر اعداد فازی مثلثی ارائه شده است.

ث) معادله تبیین ریسک در شکل عمومی به شرح (۱ تا ۳) است:

(۱) ریسک = {آسیب‌پذیری (V)[۱۱] * در معرض بودن (E)[۱۲]} * مخاطره (H)[۱۳]

(۲) مخاطره = یا (شدت * احتمال) H=f(Probability,Severity)

(۳) $R=f(Probability,Severity)\times E\times V$

مخاطره یعنی $H=P\times I$ ریسکی است که از یک منشاء غیر از پروژه صادر و اثرات منفی آن بر پروژه وارد می‌گردد. در این مطالعه مقادیر آسیب‌پذیری و در معرض بودن متناظر برابر یک فرض شده است؛ بنابراین، ریسک مورد نظر صرفاً متناظر با مخاطرات می‌باشد. با توجه اینکه احتمال و اثر به صورت متغیر فازی تعیین شده‌اند. ریسک فازی

نیز حاصلضرب احتمال و اثر مخاطره خواهد بود. با این حال اگر $\mu_T(x)$ ، تابع درجه عضویت[۱۴] عضو فازی x روی مجموعه T نامیده شود. تابع درجه عضویت می‌تواند هر یک از مقادیر حقیقی بین ۰ و ۱ را بپذیرد. درنتیجه تابع عضویت در معادله (۴) به صورت پیوسته زیر ارائه می‌شود:

$$\mu_T(x)=\begin{cases}\frac{x-l}{m-l} & l<x\le m\\ \frac{u-x}{u-m} & m<x\le u\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases} \qquad (۴)$$

که $l\le m\le u$ مقادیر بالا و پایین پشتیبان عدد فازی مثلثی روی مجموعه هستند. برای هر مخاطره، احتمال وقوع مخاطره و اثر هر مخاطره بوسیله دو عدد فازی $L=(l_1,m_1,u_1)$ و $S=(l_2,m_2,u_2)$ نمایش داده شده است. L و S به صورت ریاضی به شکل معادله (۵) و (۶) نمایش داده شده است:

$$\mu_L(x)=\begin{cases}\frac{x-l_1}{m_1-l_1} & l_1<x\le m_1\\ \frac{u_1-x}{u_1-m_1} & m_1<x\le u_1\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases} \qquad (۵)$$

$$\mu_S(x)=\begin{cases}\frac{x-l_2}{m_2-l_2} & l_2<x\le m_2\\ \frac{u_2-x}{u_2-m_2} & m_2<x\le u_2\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases} \qquad (۶)$$

بنابراین محاسبه ریسک فازی به صورت شکل ۲ انجام می‌شود:

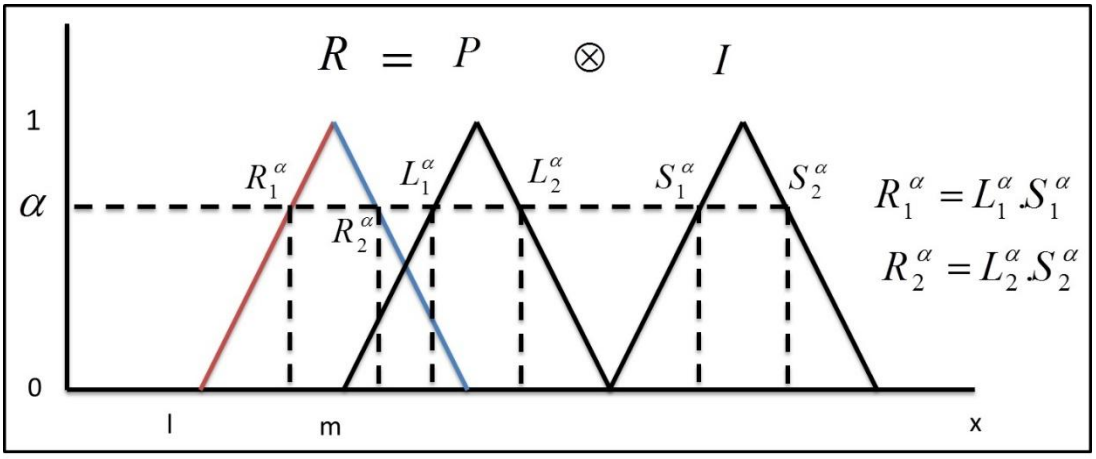

Fig. 2- The calculation of fuzzy risk

شکل ۲- محاسبه ریسک فازی

ج) جهت تولید اعداد فازی مثلثی که با توجه به ماهیت شکل داده‌ها و امکان وجود یک مقدار محتمل برای پارامترهای غیرزمانی، پرسشنامه‌ای منتج از مخاطرات هشتگانه جدول ۲ تهیه به صورت عملیات بالا محاسبه شده است. این اعداد فازی، مخاطرات هشتگانه را به صورت داده‌های مستقل از زمان در نظر گرفته‌اند. عبارت مستقل از زمان به معنای آن است که خبرگان بدون توجه به زمان پروژه‌ها، مخاطرات را رتبه‌بندی نموده‌اند. لذا مجدداً بر اساس پرسشنامه‌ای مجزا، از کارشناسان خبره خواسته شده است زمان ساخت هر گزینه انتقال را به صورت حالت‌های خوشبینانه، بدبینانه و محتمل پیش‌بینی نمایند. اعداد فازی گزینه‌های انتقال آب بر اساس پرسشنامه وابسته به زمان به صورت ذوزنقه‌ای تولید می‌شود؛ چراکه قطعاً یک زمان خاص نمی‌توان برای اتمام پروژه در نظرگرفت؛ اما امکان تخمین یک فاصله برای بهترین تخمین از اتمام پروژه را می‌توان در نظرگرفت.

در انتها نیز یک شاخص مناسب برای رتبه‌بندی اعداد فازی و تحلیل اقتصادی گزینه ها و ریسک مربوط به مخاطرات هر گزینه استفاده شده است. این روش رتبه‌بندی پیشنهادی اولین بار توسط اسمیت ارائه شده است (Smith, 1995). این شاخص بر اساس اختلاف مساحت ذوزنقه و مساحت توزیع امکان برای هر گزینه بدست می‌آید.

معادله (۷) براساس رتبه‌بندی شاخص ارائه شده است (Mohamed and McCowan, 2001):

$$K_j=0.5\left[1-\frac{RA_j-LA_j}{R-L}\right] \qquad (۷)$$

مقدار R و L مقدار بیشینه و کمینه دامنه تابع تصمیم‌گیر هستند. مقدار LA_j و RAj به ترتیب مساحت ذوزنقه رنگی در سمت چپ و راست توزیع امکان در شکل ۳ می‌باشد. پروژه‌ای که K_j بیشتری نسبت به سایر گزینه‌ها داشته باشد مناسبتر خواهد بود.

چ) ارزیابی برنامه تأمین آب در قالب سبد سهام پروژه: مدل پورتفوی مارکویتز بیان می‌کند که اگر n سهم در سبد سهام که بوسیله مجموعه $S_j(j=1,\ldots,n)$ نشان داده می‌شود وجود داشته باشد و عملکرد سهام r_j و تناسب کل سهام سرمایه‌گذاری شدهX_j باشد داریم (رابطه ۸):

$$\sum_{j=1}^{n} x_j = 1 \qquad (۸)$$

r_i متغیرهای تصادفی‌اند که در زمان‌های گسسته $i(i=1,\ldots,n)$، n نوع بازده به صورت یک محور$r^0=[r_{i1} \quad r_{i2} \quad \ldots \quad r_{in}]$ خواهند بود. بنابراین کل داده‌ها برای m دوره بازده بوسیله ماتریس (۹) نمایش داده می‌شود:

$$\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \ldots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \ldots & r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \ldots & r_{mn} \end{pmatrix} \qquad (۹)$$

محور میانگین از بازده‌ها در m دوره به شکل رابطه (۱۰) قابل بیان است:

$$r^0 = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{m} r_{i1}/m \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \sum_{i=1}^{m} r_{in}/m \end{bmatrix} \qquad (۱۰)$$

همچنین ماتریس کوواریانس می‌تواند به صورت رابطه (۱۱) بازنویسی گردد:

$$q_{ij}^2 = \sum_{k=1}^{m} \left(r_{ki} - r_i^0\right)\left(r_{kj} - r_j^0\right)/m \qquad (۱۱)$$
$$i=1,\ldots,n$$
$$j=1,\ldots,n$$

بنابراین متغیرهای تصادفی بوسیله محور میانگین r^0 و کوواریانس ماتریس Q با (r^0,Q) مشخص می‌شوند. اکنون بازده/ عملکرد با x وابسته می‌شود که به صورت رابطه (۱۲) نشان داده شده است:

$$z = x^t r \qquad (۱۲)$$

متوسط و واریانس z به شکل روابط (۱۳) و (۱۴) خواهد بود:

$$E(z) = E(x^t r) = x^t E r = x^t r^0 \qquad (۱۳)$$

$$V(z) = V(x^t r) = x^t Q x \qquad (۱۴)$$

زمانی که واریانس به عنوان ریسک سرمایه‌گذاری در نظر گرفته می‌شود، بهترین سرمایه‌گذاری باید کمترین واریانس را در بازده متوسط r_s داشته باشد که خود به یک مسئله برنامه‌ریزی شرطی تبدیل می‌شود. با توجه به طبیعت مسئله تأمین آب عملاً برنامه‌ای از قبل تعیین شده است؛ لذا عملاً سبد سهام تأمین آب از قبل انتخاب شده پس در این تحقیق ارزیابی این سبد مدّ نظر است (شکل ۴).

در این شکل Q میزان عرضه آب وابسته به زمان t، d اختلاف عرضه و تقاضا در دوره i و D کل نیاز آبی وابسته به زمان می‌باشد. اگر این مسأله را به صورت شرایط فازی بازنویسی کنیم، خواهیم داشت: مجموعه اطلاعات داده شده به عنوان $(r_i , h_i) \ (i=1,\ldots,n)$ که h_i درجه امکان جهت منعکس کردن تشابه بین حالتی از زمان آینده و حالتی از نامین حالت پیشنهادی به بوسیله کارشناسان خواهد بود.

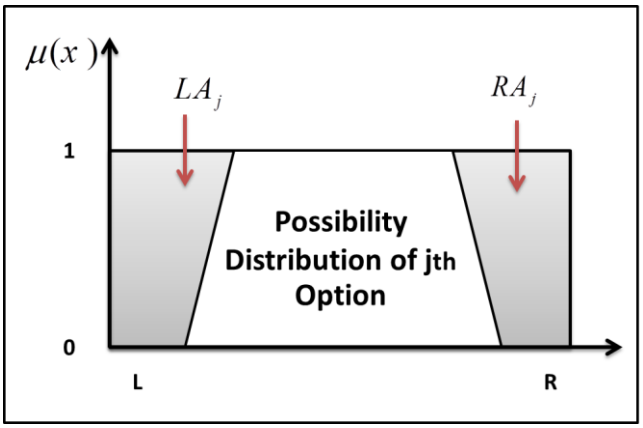

Fig. 3- The ranking Index of project risks based on fuzzy numbers

شکل ۳- شاخص رتبه‌بندی ریسک پروژه‌های بر اساس اعداد فازی

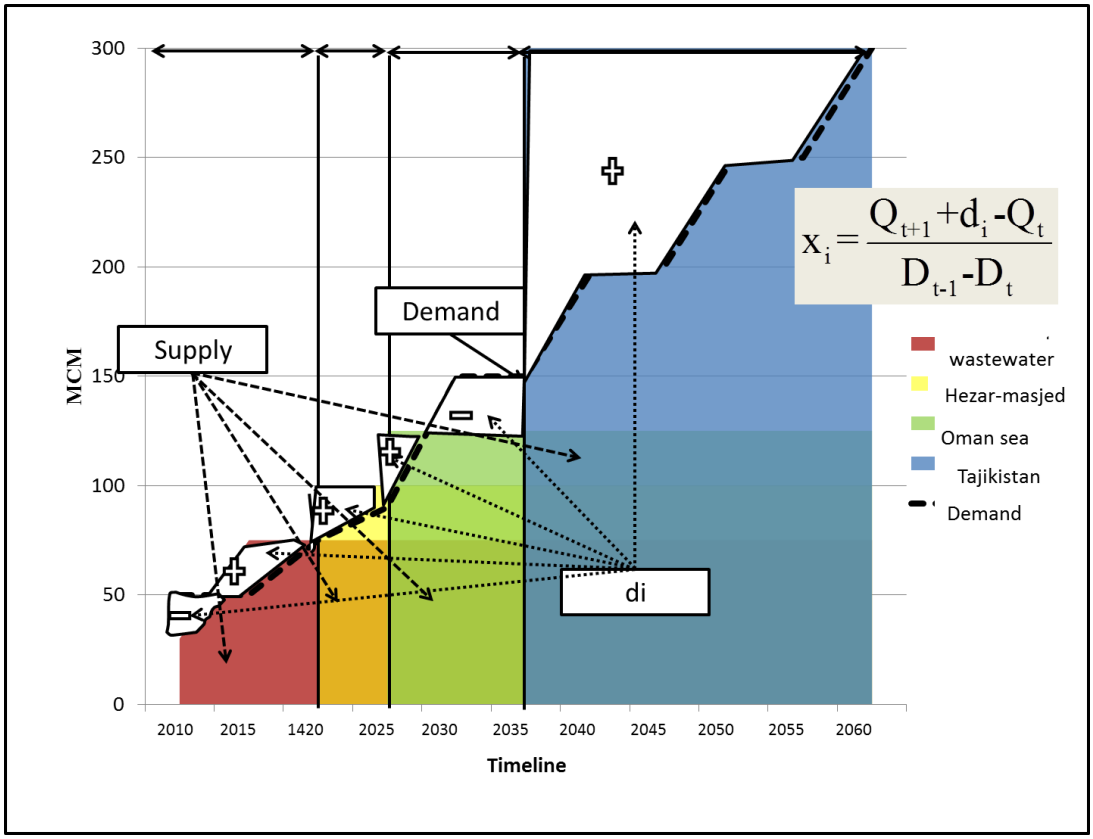

Fig. 4- Portfolio of water supply program based on Markowitz model

شکل ۴- پرتفوی برنامه تأمین آب براساس مدل مارکویتز

محور میانگین فازی $a=[a_1 \quad \dots \quad a_n]^t$ می‌تواند با رابطه (۱۵) تعریف شود:

$$a=\sum_{i=1}^{m}(h_i r_i)/\sum_{i=1}^{m}h_i \qquad (۱۵)$$

$\sum=\left[\sigma_{ij}\right]$ به طور مشابه ماتریس کوواریانس فازی وزن‌دهی شده می‌تواند بوسیله رابطه (۱۶) تعریف شود:

$$\sigma_{ij}=\{\sum_{k=1}^{m}(r_{ki}-\alpha_i)(r_{kj}-\alpha_j)h_k\} \qquad (۱۶)$$

$$/\sum_{k=1}^{m}h_k \qquad i=1,\dots,n \qquad j=1,\dots,n$$

محور میانگین وزنی و ماتریس کوواریانس، $(a,\sum)$، میانگین و کوواریانس بازده z به شکل روابط (۱۸ و ۱۹) قابل بیان است.

$$E(z)=x^t a \qquad (۱۸)$$

$$V(z)=x^t \sum x \qquad (۱۹)$$

مسأله بررسی ریسک تأمین آب اکنون یک مسأله بهینه‌یابی تبدیل شده است؛ اما همانطور که ذکر شد با توجه به طبیعت برنامه از پیش تعیین شده تأمین آب شهر مشهد- بویژه در حالت مطالعه موردی این پژوهش- به یک مسأله ارزیابی تبدیل می‌شود. اکنون می‌توان ریسک را با توجه به شرایط تعریف شده در برنامه تأمین آب مشهد به شکل زیر تعریف کرد:

$$Risk=h_i\left(\frac{Q_F}{D}\right)+\frac{Q_a}{D}$$

که در آن h درجه امکان، Q دبی تأمین آب در یک بازه به صورت فازی (F قبل از اتمام پروژه و a قطعی پس از تکمیل پروژه است) و D نیز کل نیاز آبی است (شکل ۵).

۵- نتایج و بحث

چالش‌ها/ فرصت‌های استخراج شده برای گزینه‌ها بررسی، سپس نتایج ارزیابی ریسک ارائه می‌گردد. در انتها اولویت گزینه‌های انتقال بر اساس معیارهای دیگری همچون هزینه، میزان دبی ورودی به مشهد بررسی و پیشنهاد شده است.

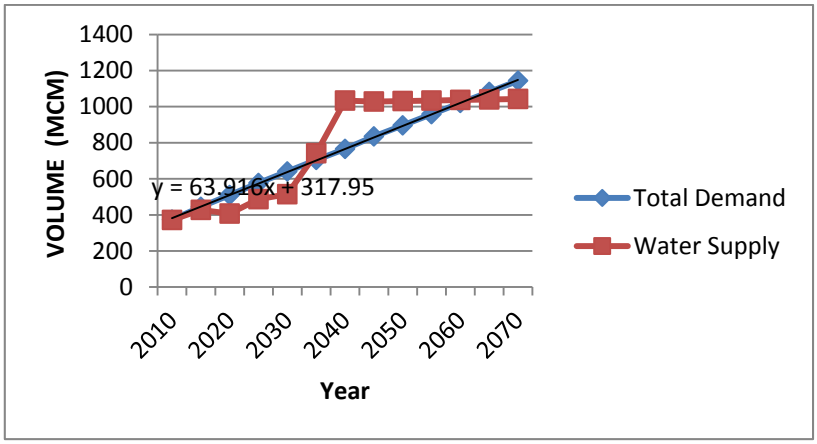

Fig. 5- Portfolio of Mashhad water supply program based on Markowitz model

شکل ۵- پرتفوی برنامه تأمین آب مشهد براساس مدل مارکویتزفازی

۵-۱- چالش‌ها و فرصت‌ها

با توجه به جدول ۱، گرچه استفاده از منابع آبی محدوده مشهد در سطح فعلی و یا کمتر از آن (با هدف تعادل بخشی آبخوان) ادامه خواهد یافت؛ اما این منبع در حال زوال نمی‌تواند جزئی از گزینه‌های توسعه منابع آب این منطقه در آینده باشد. از آنجا که این مطالعه به دنبال تعیین اولویت گزینه‌های جدید محتمل (برای سرمایه‌گذاری) است، بنابراین سد دوستی (که قبلا سرمایه‌گذاری آن انجام یافته) از فهرست موارد مقایسه حذف می‌گردد. در جدول ۴ فهرستی از چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌روی گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد به صورت پیوست (۱) آورده شده است.

بر اساس۱۰ جلسه تشکیل شده، نظرات خبرگان با بهره‌مندی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی دلفی و طوفان فکری در قالب شش گروه از مجموعه کارشناسان آب منطقه‌ای (جمعاً ۱۰ نفر) جمع‌آوری شد. گروه خبرگان از «اعضای هیئت مدیره»، «معاونان شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی» و «مدیران پروژه‌های اجرایی» انتخاب شده‌اند. کلیه مخاطرات شناسایی شده به صورت گروه‌های پانزده‌گانه از ریسک به شکل ساختار شکست ریسک دسته‌بندی و به صورت پرسشنامه مجدداً در اختیار خبرگان قرار گرفت (جدول ۵).

این جدول به همراه پرسشنامه به اعضاء حاضر در جلسه تحویل داده شد تا پاسخ‌دهندگان نسبت به پرسش‌ها از آگاهی کافی برخوردار گردند.

۵-۲- نتایج پرسشنامه

مرحله اول تحقیق شامل شناسایی کیفی مخاطرات و تولید مجموعه‌ای از داده‌های کارشناسی (اطلاعات خام ذهنی) در مورد احتمال و اثر بروز مخاطرات بر روی گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد است. در این مرحله، به صورت مستقیم از فاکتورهای در معرض قرارگیری و آسیب‌پذیری برای تعدیل اثر شدت و احتمال وقوع ناشی از هر مخاطره استفاده نشده است؛ زیرا خبرگان بر اساس یادگیری جمعی[۱۵] خود از جلسات بارش افکار به صورت ذهنی به میزان در معرض قرارگیری و آسیب‌پذیری هر گزینه ناشی از مخاطرات، آگاهی نسبی می‌یابند (Pipattanapiwong, 2004). در واقع برای ارزیابی ریسک گزینه‌های تأمین آب مشهد، دو عامل احتمال[۱۶] و اثر یا شدت[۱۷] متأثر از دو فاکتور در معرض قرارگیری و آسیب‌پذیری می‌باشند (جدول ۶). بر اساس احتمال وقوع و شدت اثر هر مخاطره بر شکست پروژه، مجموع درجات آسیب‌پذیری به صورت متغیر زبانی از خیلی کم تا خیلی زیاد (بین ۱ تا ۷) لحاظ شده است. در واقع آسیب‌پذیری اشاره به ناتوانی یک سیستم یا یک واحد در برابر اثرات یک محیط خصمانه دارد (Turner, 2010). احتمال وقوع و شدت متوسط هر مخاطره، مجموع نظرات خبرگان درباره احتمال وقوع و اثر هر کدام از مخاطرات به صورت فازی بدست آمده است.

مطابق با روابط (۱) الی (۶) مخاطره ($\tilde{P} \otimes \tilde{I}$) به صورت یک عدد فازی مثلثی (PI_{11} PI_{12} PI_{13}) محاسبه شده است که بر اساس روش میانگین‌گیری به صورت اعداد حقیقی ظاهر می‌شوند (جدول۷). در این تحقیق عوامل مستقل از زمان به صورت اعداد فازی مثلثی برای چهار گزینه انتقال آب مرحله اول بر اساس مخاطرات پانزده‌گانه طبق جدول ۵ و به روش فازی توسط نظر کارشناسان استخراج شده است که نتایج در ستون آخر جدول ۷ آمده است.

Table 5- Risk categories

جدول۵- دسته بندی ریسک‌ها

risk	Risk title	Descriptions
H_1	The possibility of insecurity in the origin	Many cases, such as the proximity to the borders can cause failure of Mashhad water supply.
H_2	The possibility of sabotage in the transmission path or at the facility (terrorism / Passive Defense)	Factors such as failure in maintenance and operation can cause Mashhad water supply system face troubles.
H_3	The possibility of opposition from environmental NGOs	Environmentalists could hinder the projects.
H_4	The possibility of inadequate funding by program	Lack of procurement of funds is usually a function of the magnitude of the project and the capital requirements
H_5	The possibility of reduced water supply for Mashhad due to upstream developments	To develop the country of origin or in the path of transfer
H_6	International relations	economic boosters inside Afghanistan, the involvement of other countries, mutual balance
H_7	Climate change (hydrological regime change in Syr-Darya / Amu-Darya)	Climate change is likely to lead to reduced Mashhad water supply, in particular in 50 years; the Himalayan glaciers will be significantly reduced.
H_8	Increased water allocation by setting fixed water rights	Increased water rights, regardless of the natural water regime, climatic fluctuations and development scenarios
H_9	Social problems in opposition to Mashhad water supply	Social problems caused by distrust to authorities or competition of cities with Mashhad over water
H_{10}	Environmental impacts or pollution of water resources	Trespassing over protected areas and legal restrictions
H_{11}	Rejection of treated wastewater alternative due to cultural issues	Exclusively for the wastewater option
H_{12}	The complexity of working with karst resources	Exclusively for the Hezar-masjed option
H_{13}	Political competition in transfer route resulted in a decline of the share Mashhad	
H_{14}	Possible technical problems in transfer route and installations	Pump failure, earthquake, power failure, tsunami, etc.
H_{15}	social costs related to satisfaction of residents in the origin and path	Management and control of some damages are expenses

Table 6- The linguistic variables from pessimistic to optimistic for each project

جدول۶- متغیرهای زبانی از بدبینانه تا خوشبینانه ترین حالت برای هر پروژه

Option	Level	Hazard Categories														
		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8	H_9	H_{10}	H_{11}	H_{12}	H_{13}	H_{14}	H_{15}
Wastewater transfer	optimistic	-	-	VL	VL	-	-	-	VL	VL	VL	VL	VL	-	VL	VL
	probable	-	-	L	L	-	-	-	L	L	L	VL	L	-	VL	L
	pessimistic	-	-	L	MH	-	-	-	H	VH	ML	L	MH	-	L	ML
Hezar-Masjed mountain	optimistic	VL	VL	VL	VL	VL	VL	VL	-	VL	VL	-	VL	VL	VL	VL
	probable	L	VL	L	L	VL	L	VL	-	VL	VL	-	VL	L	VL	VL
	pessimistic	ML	VH	H	MH	VL	MH	L	-	VL	VL	-	VH	H	VH	VL
Sea of Oman	optimistic	VL	VL	VL	M	L	-	-	-	L	VL	-	-	VL	VL	VL
	probable	L	L	VL	ML	MH	-	-	-	H	VL	-	-	L	ML	H
	pessimistic	M	VH	L	VH	VH	-	-	-	VH	VL	-	-	VH	VH	VH
Tajikistan	optimistic	VL	VL	VL	VL	VL	VL	VL	-	VL	VL	-	-	VL	VL	VH
	probable	L	L	VL	VL	ML	L	L	-	VL	VL	-	-	L	L	VH
	pessimistic	VH	VH	VL	VL	MH	VH	M	-	ML	VL	-	-	VH	VH	VH

Table 7. Matrix of quantitative fuzzy decisions made by experts for pessimistic, probable and optimistic modes.

جدول۷- ماتریس تصمیم فازی خبرگان از بدبینانه تا خوشبینانه‌ترین حالت

options	level	Hazard Categories															Distribution values
		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8	H_9	H_{10}	H_{11}	H_{12}	H_{13}	H_{14}	H_{15}	
Wastewater transfer	Optimistic (a)	0	0	6	12.1	0	0	0	5	6.5	9	9	1	0	1	10	3.97
	Probable (b)	0	0	10	25	0	0	0	25	25	25	24	27	0	5	30	13.07
	Pessimistic (c)	0	0	10	64	0	0	0	70	81	49	30	64	0	32	49	29.93
Hezar-Masjed	Optimistic (a)	8	6.75	9	11.2	3	3	3	0	5	10	0	3	1	2	25.42	6.02
	Probable (b)	25	9	25	30	9	25	9	0	9	15	0	9	30	15	25.42	15.69
	Pessimistic (c)	36	81	63	56	9	64	25	0	9	15	0	72	63	81	25.42	39.96
Sea of Oman	Optimistic (a)	1	12.6	1	29.2	25	0	0	0	17.5	1	0	0	12.75	21	33	10.27
	Probable (b)	25	20	9	49	50	0	0	0	63	9	0	0	25	36	70	23.73
	Pessimistic (c)	50	72	35	81	72	0	0	0	72	10	0	0	81	81	81	42.33
Tajikistan	Optimistic (a)	16	9	2	4	23	16	6	0	18	1	0	0	16	25	49	12.33
	Probable (b)	25	32	5	9	49	49.8	25	0	20	5	0	0	35	36	63	23.59
	Pessimistic (c)	81	72	9	40	62	81	49	0	42	9	0	0	72	72	81	44.67

Table 8- Matrix of quantitative fuzzy decisions on the execution phase which was made by the experts for pessimistic, probable and optimistic modes.

جدول۸- ماتریس تصمیم فازی خبرگان از بدبینانه تا خوشبینانه ترین حالت در مورد زمان اجرای پروژه‌ها

	Duration of the project (option)		
	Optimistic (a)	Probable (b-c)	Pessimistic (d)
Wastewater transfer	7 (0.46)	(10-9) (0.66-0.6)	15 (1)
Hezar-Masjed mountain	10 (0.66)	(12-11) (0.8-0.73)	15 (1)
Sea of Oman	17 (0.49)	(30-21) (0.85-0.6)	35 (1)
Tajikistan	25 (0.45)	(40-36) (0.72-0.65)	55 (1)

در مرحله بعد مجددا از کارشناسان خواسته شد تا چهار گزینه انتقال آب را بر اساس تخمین زمان اجرایی شدن پروژه‌ها در حالت خوشبینانه، محتمل و بدبینانه مورد ارزیابی قرار دهند. نتایج این ارزیابی به شرح جدول ۸ و به صورت عدد فازی ذوزنقه‌ای ارائه شده است. با توجه به اینکه کارشناسان در برآورد زمان اجرای پروژه‌ها، ریسک‌های احتمالی آنها را نیز مد نظر خواهند داد، لذا جدول ۸ نیز تابعی از جدول ۷ خواهد بود که برآیند آلفا برش تابع عضویت آنها نشان‌دهنده عدد فازی مورد نظر هر گزینه خواهد بود.

در مرحله آخر پروژه با ریسک کمتر بر اساس توزیع امکان بر اساس مجموع اعداد مثلث فازی از جداول ۷ و ۸ قابل محاسبه است. برای هر گزینه شاخص K_j منطبق بر عدد فازی مثلثی از رابطه (۷) محاسبه شد. بر اساس رابطه (۷) و بر اساس اعداد فازی محاسبه شده در جدول ۹ اولویت‌بندی‌گزینه‌ها مطابق ستون آخر در جدول ۹ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۹ شاخص K_j برای گزینه انتقال پساب از سایر گزینه‌ها بزرگتر بوده لذا این پروژه ریسک کمتری را نسبت به سایرین دارا می‌باشد.

Table 9- Fuzzy numbers dedicated to each option for Mashhad water supply
جدول ۹- اعداد فازی مرتبط با پروژه‌های تأمین آب مشهد

Water transfer options	Trapezoidal fuzzy numbers	LA	RA	K_j index
Wastewater transfer	(0.49, 0.73, 0.79, 1.29)	0.61	1.04	0.532
Wastewater treatment	(0.72, 0.88, 0.96, 1.39)	0.8	1.17	0.224
Hezar-Masjed mountain	(0.59، 0.83، 0.81، 1.42)	0.71	1.42	0.175
Tajikistan	(57.0, 88.0, 95.0, 44.1)	0.725	1.195	-0.2

Table 10- Priorities of water supply options for Mashhad
جدول ۱۰- اولویت‌بندی گزینه‌های تأمین آب مشهد

Row	Options	Cost (million dollar) (C)	Water supply capacity (MCM) (Q)	Risk (K_j)	Coefficient (ω)	$CI=\left(\frac{Q\times\omega}{C\times K_j}\right)$	Priorities
1	Sea of Oman	94567	200	0.175	1.7	0.02	3
2	Wastewater transfer	461	45	0.235	0.8	0.332	1
3	Hezar-Masjed mountain	9700	35	0.224	1.7	0.027	2
4	Tajikistan	33150	300	-0.2	1.7	-0.076	4

۵-۳- تعیین اولویت گزینه‌ها

نتایج شبیه‌سازی فضای امکان نشان می‌دهد، گزینه انتقال آب از تاجیکستان، فضای امکان بیشتری به لحاظ بروز ریسک را دارا است و اجرای آن نیز طبیعتاً با ریسک زیادی همراه خواهد بود. در بین سایر گزینه‌ها، پروژه انتقال آب از کوه‌های هزار مسجد، کمترین مقدار متوسط ریسک را دارد؛ ولی با این حال و به لحاظ فضای محتمل بروز ریسک، پروژه انتقال پساب، فضای امکان کوچکتری را نسبت به سایر گزینه‌ها برخوردار است. در نتیجه گزینه انتقال پساب به غرب مشهد، نسبت به سایر گزینه‌ها در اولویت اول اجرا قرار دارد.

پارامترهای دیگری نیز وجود دارند که برای اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب باید مد نظر قرار بگیرند. یکی از این پارامترها، هزینه تمام شده پروژه است (C). پروژه‌ای که هزینه تمام شده کمتری نسبت به سایر گزینه‌ها دارا باشد، سهل‌الوصول‌تر خواهد بود و گزینه‌های که هزینه نهایی آن بالا باشد، در هنگام اجرا دچار چالش‌های فراوانی خواهد بود. پارامتر بعدی بر اساس حجم آبی که پروژه به مشهد انتقال خواهد داد (Q)، هرچه میزان آب ورودی به مشهد بیشتر باشد پروژه از اهمیت بالاتری برخوردار است. همچنین با ترکیب تمام پارامترهای مذکور به صورت شاخص ترکیبی می‌توان جهت اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده نمود. در این رابطه ضریب امگا ω مربوط به میزان بازچرخانی آب در حوضه است. این ضریب برای آب وارداتی به حوضه برابر ۱/۷ انتخاب شده است. در واقع از آنجا که استحصال آب از خارج حوضه بوده و پس از مصرف شهری ۷۰٪ درصد آب برگشتی تولید می‌نماید، ضریب مزبور۱/۷ در نظر گرفته شده است. همچنین جایگزینی پساب از دیدگاه مدیریت منابع آب نسبت به استفاده از آب زیرزمینی دارای مزیت ۰/۱ فرض شده است. بر اساس شاخص مزبور نیز گزینه پساب و سپس گزینه هزار مسجد مناسب‌ترین گزینه خواهد بود.

۵-۴- ارزیابی ریسک سبد برنامه تأمین آب مشهد

جهت ارزیابی برنامه ریسک پروژه‌های تأمین آب مشهد تا افق ۱۴۵۰، تابع درجه امکان و دبی تأمین شده بر اساس رابطه (۱۹) معرفی شده است. «درجه امکان بروز مخاطره» به صورت ردیف‌های ۱-۴ و «ریسک پروژه‌ها» به صورت ردیف‌های ۵-۸ منطبق بر جدول ۱۱ از تئوری مارکویتز محاسبه شده است. همچنین ریسک کل برنامه تأمین آب مشهد بر اساس رابطه (۱۵) در قالب نتایج ردیف ۹ از جدول ۱۱ به صورت نمودار شکل ۶ آورده شده است.

در شکل ۶ ریسک پروژه‌ها در اثر بروز عوامل مختلف برای تأمین نیاز آبی شهر مشهد مشخص شده است.

Table 11- Degrees of possibility and risk for each water supply option

جدول ۱۱- درجه امکان و درجه بروز ریسک پروژه‌ای تأمین آب

Row		description	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065	2070
1	Degree of possibility	Wastewater transfer	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2		Hezar-masjed	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3		Oman sea	0	0	0	0	0	0.9	1	1	1	1	1	1	1
4		Tajikistan	0	0	0	0	0	0	0	0.45	0.9	1	1	1	1
5	Degree of risk	Wastewater transfer	0	0	0	0.76	0.73	0.7	0.63	0.57	0.54	0.5	0.48	0.45	0.43
6		Hezar-masjed	0	0	0	0	0.65	0.63	0.56	0.51	0.48	0.45	0.43	0.4	0.39
7		Oman sea	0	0	0	0	0	0.73	0.76	0.7	0.65	0.61	0.57	0.54	0.52
8		Tajikistan	0	0	0	0	0	0	0	0.28	0.65	0.71	0.67	0.63	0.6
9		Total risk	0	0	0	0.76	0.69	0.71	0.65	0.6	0.6	0.57	0.54	0.51	0.48

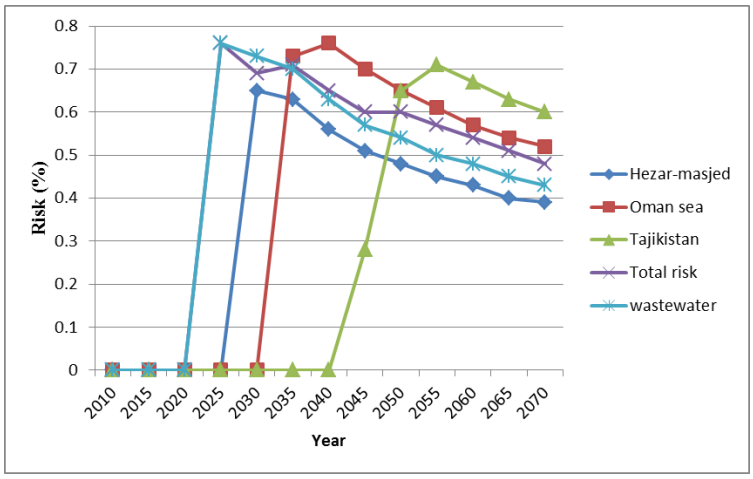

Fig. 6- Failure risk for different water supply options until 2060

شکل ۶- ریسک گزینه های مختلف در اثر شکست سیستم تأمین آب تا افق ۱۴۵۰

همانطور که مشاهده می‌شود اعتمادپذیری (ریسک منهای یک) تأمین آب شهر مشهد بر اساس سبد پروژه‌ها در شکل ۷ برای سال‌های ابتدایی شروع پروژه بسیار کم است و به تدریج در افق ۱۴۵۰ به حدود ۵۵ درصد نزدیک می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

این تحقیق توانسته است، برای اولین بار چارچوبی ساده، منطقی و مبتنی بر مبانی تئوری امکان با قابلیت بالا در کمی‌سازی نظرات کارشناسی برای پروژه‌های تأمین آب ارائه نماید. در تحقیقات گذشته با کمک تئوری امکان بیش از دو پروژه مورد بررسی قرار نگرفته است در صورتی که در این پروژه به صورت همزمان چهار گزینه واقعی در زمینه تأمین آب مورد بررسی قرار گرفته است.

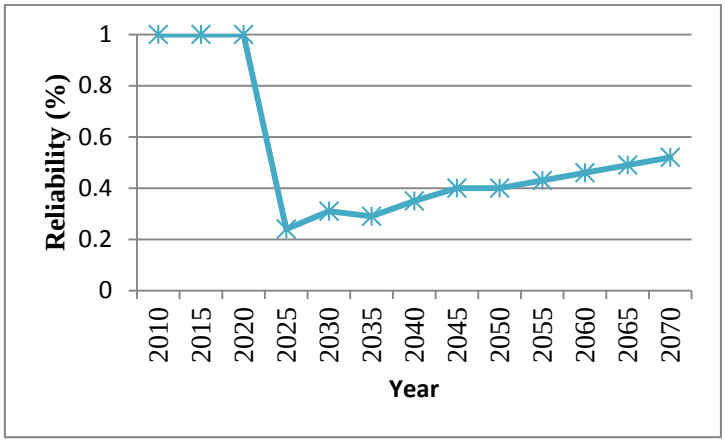

Fig. 7- Reliability level of Mashhad Water supply portfolio in different time periods based on fuzzy Markowitz model

شکل ۷- سطح اعتمادپذیری سبد تأمین آب مشهد در دوره‌های زمانی مختلف بر اساس مدل مارکویتز فازی

این در حالی است که تا کنون روش استانداردی برای ارزیابی ریسک ارائه نشده است؛ هرچند بیش از ۷۰ نوع روش ارزیابی کمّی و کیفی برای ارزیابی ریسک وجود دارد. علاوه بر آن ریسک همواره به صورت ضریبی از احتمال نمایش داده می‌شود. در این مقاله علاوه بر ارائه روشی مرکب از روش‌های کمی و کیفی جهت ارزیابی ریسک، مفهوم ساده شده دیگری برای بیان ارتقاء مفهوم ریسک ارائه گردید. اولین روش استفاده شده برای ارزیابی ریسک بر اساس روش فازی می‌باشد. در این روش بوسیله نظرسنجی از خبرگان، سطح احتمال و شدت اثر مربوط به عدم قطعیت‌های هر گزینه به صورت متغیرهای زبانی استخراج شده است. سپس اعداد فازی مربوط برای عوامل وابسته به زمان و مستقل از زمان برای هر گزینه بدست آمده است و در انتها ریسک مجموع بر اساس انبوهش فازی محاسبه شده است. مطابق با روش فازی، ریسک ناشی از انتقال آبهای خارج از مرز (انتقال آب از تاجیکستان)، بیشترین سطح ریسک یعنی (K_j= ۰/۲-) را دارا است. گزینه انتقال پساب به دلایل مطرح شده از سوی کارشناسان خبره، دارای کمترین سطح ریسک (Kj=۰/۲۳۵) می‌باشد. علاوه بر آن با توسعه مفهوم سبد سهام به برنامه تأمین آب و ارائه تعریف ریسک برای این برنامه، ریسک کل برنامه تأمین آب مشهد مورد ارزیابی قرار گرفت که بر این اساس بیشترین ریسک برنامه در سال ۱۴۰۵ با بیش از ۸۰ درصد بوده که با گذشت زمان کاهش می یابد. این وضعیت نشان می‌دهد که به رغم اهمیت شهر مشهد در شرق کشور، متأسفانه با برنامه‌های تدوین شده حال حاضر وزارت نیرو هیچ افق روشنی برای تأمین آب این شهر در قالب یک برنامه بلندمت وجود ندارد.

پی‌نوشت

1-Water Scarcity
2- Retrospective
3- Prospective
4- Hazard Analysis and Critical Control (HACCP) Points
5- Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)
6- Fault Tree Analysis (FTA)
7- Black Box Methodology
8- White Box Methodology
9- Brain Storming
10-Political- Environmental- Social- Transfer- International- Financial- Climate change- Development
11- Vulnerability
12- Exposure
13- Hazard
14- Membership Degree
15- Social Learning
16- Probability
17- Severity

۷- مراجع

Bayazidi B, Oladi B, Abbasi N (2012) The questionnaire data analysis using by SPSS software (PASW) 18. Mehregan, Tehran, (In Persian)

Cazemier D R, Lagacherie P, Martin-Clouaire R (2001) A possibility theory approach for estimating available water capacity from imprecise information contained in soil databases. Geoderma 103:113–132

Cronbach L J, Shavelson R J (2004) My current thoughts on coefficient alpha and successor procedures. Educational and Psychological Measurement, 64, 391-418

Chaves P, Kojiri T (2007) Deriving reservoir operational strategies considering water quantity and quality objectives by stochastic fuzzy neural networks. Adv. Water Resour, 30:1329–1341

Luyet V, Schlaepfer R, Parlange M B, Buttler A (2012) A framework to implement Stakeholder participation in environmental projects, Journal of Environmental Management, 111:213 -219

Maqsood I, Huang G H, Yeomans J S (2005) An interval parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management under uncertainty. Eur J Oper Res, 167(1):208–225

Mauris G (2010) Transformation of bimodal probability distributions into possibility distributions. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 59(1):39-47

McIntyre N, Wagener T, Wheater H S, Siyu Z (2003) Uncertainty and risk in water quality modelling and management. J Hydroinformat, 5 (4):259–274

Mohamed S, McCowan A K (2001) Modeling Project investment decisions under uncertainty using possibility theory. International Journal of Project 19:231-241

Pipattanapiwong J (2004) Development of multi-party risk and uncertainty management process for an infrastructure project, Doctoral Dissertation, Japan, Kochi University of Technology

Nazari A, Forsatkar A, Kiafar B (2008) Risk management at project. Press: Strategic programing papery of Iran (in Persian)

WEF (World Economic Forum) (2015) Insight Report Global Risks 2015, 10th Edition, World Economic Forum, Geneva. Available at: http://reports. weforum. org/global-risks-2015 (last checked: 04.04.15)

Serrurier M, Prade H (2011) Maximum-likelihood principle for possibility distributions viewed as families of probabilities Proc. of 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems Taipei, Taiwan, 2987-2993

USGS (2000) A Retrospective Analysis on the Occurrence of Arsenic in Ground-Water Resources of the United States and Limitations in Drinking-Water-Supply Characterizations. Water-Resources Investigations Report 99–4279, Reston, Virginia

Yokoi H, Embutsu I, Yoda M, Waseda K (2006) Study on the introduction of hazard analysis and critical control point (HACCP) concept of the water quality management in water supply systems. Water Sci Technol 53(4):483–92

Tankana H, Gue p (1999) Theory and methodology portfolio selection based on upper and lower exponential possibility distributions. European Journal of Operational Research 114:115-126

Davari k, Omranian Khorasani H, Ghanbari F (2013) The Mashhad Wise Water Forum (MWWF). Water and Wastewater Company, Mashhad (In Persian)

Davison A, Howard G, Stevens M, Callan P, Fewtrell L, Deere D (2008) Water safety plans: Managing drinking-water quality from catchment to consumer. Prepared for the Geneva: World Health Organisation, 2005, [WHO/SDE/WSH/05.06]

Dominguez-Chicas A, Scrimshaw M (2010) Hazard and risk assessment for indirect potable reuse schemes: An approach for use in developing water safety plans. Water Res, 44(2):6115–23

Faye R M, Sawadogo S, Lishoua C, Mora-Camino F (2003) Long-term fuzzy management of water resource systems. Appl Math Comput, 137:459–475

Florea M C, Jousselme A L, Grenier D, Bosséc É (2008) Approximation techniques for the transformation of fuzzy sets into random sets. Fuzzy Sets and Systems, 159(2):270– 288

Germain D, Cohen D, Frederick J (2008) A retrospective rook at the water resource management policies in Nassau County, Long Island, New York. 1337–1346

Ghandhari A, davary K, Omranian Khorasani H (2015) A guideline for risk management, First Iranian National Congress of Irrigation and Drainage. Mashhad. Ferdowsi University, (in Persian)

Griffith C, Obee P, Cooper R (2005) The clinical application of hazard analysis critical control points (HACCP). American Journal of Infection Control 33, e39

Hale H, Hoseini M, Akbarzadeh H (2010) Offering a new approach for determination of fuzzy numbers similarity by using TOPSIS method and its application in fuzzy risk analysis, International Journal of Industrial Engineering & Production Management, 20(4):33-37

Hellier K (2000) Hazard analysis and critical control points for water supplies .63rd Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference Civic Centre – Warrnambool

Hong E, Lee I, Shin H, Nam S, Kong J (2009) Quantitative risk evaluation based on event tree analysis technique: Application to the design of shield TBM. Tunneling and Underground Space Technology 24:269–277

Jayarante A (2008) Application of a risk management system to improve drinking water safety. J Water Health, 6(4):547–557

Jairaj P G, Vedula S (2000) Multi-reservoir system optimization using fuzzy mathematical programming. Water Resour Manage, 14:457–472

supply programming model. Common Nonlinear Sci, 14:301–309

Zilinskas R (2005) Assessing the threat of bio terrorism congressional testimony. Center for Nonproliferation Studies, From http://cns.miis.edu

Smith P N (1995) Multi criterion project evaluation involving uncertainty and imprecision. Transactions of Multi-Disciplinary Engineering GE 19(2):43-53

Khatri k B (2013) Risk and uncertainty analysis for sustainable urban water systems. Master of Science in integrated urban engineering unesco-ihe, the Netherlands. www.crcpress.com – www.taylorand-francis.com

Tankana H, Gue p, Turkesen B (2000) Portfolio selection based on fuzzy probabilities and possibility distributions. Fuzzy Sets and Systems 111:387-397

Ted S (2014) Environmental Risk Assessment: A Toxicological Approach. CRC Press Group

Tran L D, Schilizzi S, Chalak M, Kingwell R (2011) Optimizing competitive uses of water for irrigation and fisheries. Agric Water Manage, 101:42–51

Turner B L (2010) vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science?. Global Environmental Change, 20:570-576

Zhang X H, Zhang H W, Chen B, Guo H C, Chen G Q, Zhao B A (2009) An inexact-stochastic dual water