

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۲، بهار ۱۳۹۶

وصول مقاله : ۱۳۹۵/۴/۵

تأیید نهایی : ۱۳۹۵/۱۰/۲۴

صفحات : ۲۰۶ - ۱۹۱

ارزیابی ریسک گزینه‌های تأمین آب مشهد و تعیین اولویت آنها

احمد قندهاری^۱، دکتر کامران داوری^۲، دکتر بیژن قهرمان^۳

چکیده

امروزه تأمین نیازهای آبی برای مصارف مختلف، در بسیاری از نقاط دنیا و به‌ویژه ایران از اساسی‌ترین چالش‌های پیش روی برنامه‌ریزان است. بر این اساس، تأمین آب از نقاط مختلف و اجرای گزینه‌های گوناگون، از راهکارهای جاری برای رفع این چالش در کنار مدیریت غیرسازه‌ای بوده و میزان زیادی از اعتبارات و بودجه‌های ملی را به خود اختصاص داده است. در این مقاله، به صورت موردی به چالش‌ها و فرصت‌های طرح‌های تأمین آب مشهد پرداخته شده و روش منسجمی در جهت ارزیابی ریسک ارائه شده است. به همین منظور در بخش اول مقاله، براساس روش بارش افکار، عوامل مخاطره‌آمیز در گزینه‌های تأمین آب مشهد بررسی و متوسط ریسک هر کدام از گزینه‌ها محاسبه شده است. سپس در بخش دوم، براساس دامنه امکان بروز مخاطرات، ریسک تمام گزینه‌ها محاسبه شده است. نتایج نشان داد، اگرچه کمترین مقدار متوسط ریسک مربوط به گزینه انتقال آب از هزار مسجد می‌باشد؛ اما از دید کارشناسان، گزینه انتقال پساب از غرب مشهد است و دامنه امکان بروز ریسک کمتری را نسبت به سایر گزینه‌ها دارد. در واقع این نتایج نشان می‌دهد، استفاده از دامنه امکان ریسک برای اولویت‌بندی گزینه‌ها (اتخاذ تصمیمات مدیریتی)، می‌تواند بسیار مفید واقع شود. همچنین، در انتهای مقاله گزینه‌های مختلف براساس پارامتر قیمت تمام شده پروژه، حجم انتقال آب هر پروژه، ریسک و ضریب بازچرخانی آب مجدداً اولویت‌بندی شده‌اند. کلید واژگان: دشت مشهد، ریسک، عدم قطعیت، تأمین آب.

۱- دانشجوی دکتری آبیاری زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسؤول)

۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۱- دانشجوی دکتری آبیاری زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مقدمه

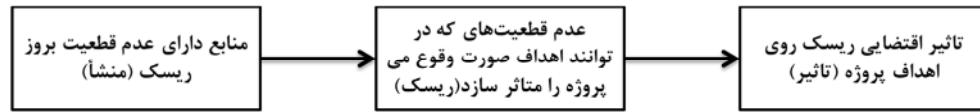
در سال‌های اخیر در بیشتر مناطق دنیا، «پایداری منابع آب»، همزمان با رشد سریع تقاضاهای ناهمگون؛ کاهش عرضه آب؛ مدیریت ضعیف منابع و تخصیص آب، دچار چالش اساسی شده است (2: WEF, 2015). با توجه به اینکه پایداری سیستم‌های منابع آب، تابع عوامل مختلف اقتصادی - زیست‌محیطی - اجتماعی است؛ بنابراین، در ارزیابی گزینه‌های تأمین آب، بررسی اثرات متقابل پارامترهای مختلف از عوامل فوق و ریسک‌های ناشی از آنها، لازم و ضروری است. بسیاری از پارامترها و ارتباط بین آنها در سیستم‌های مدیریت آب، به علت خطا در داده‌برداری، ناکافی بودن اطلاعات، پیچیدگی سیستم‌های آبی و غیره، همراه با عدم قطعیت بالا و ریسک فراوان است (McIntyre et al., 2005; 3; Maqsood et al., 2003; 6). همچنین، مدیریت سیستم‌های منابع آب، دیدگاه‌ها و نگرش‌های متفاوت افراد و در نتیجه بروز عدم قطعیت‌های رفتاری افراد مختلف، تصمیم‌گیری را پیچیده کرده؛ چرا که افراد مختلف دارای منافع و خواسته‌های متعدد بوده و از دیدگاه ایشان اهمیت موضوعات مختلف مدیریت آب متفاوت است (7: Luyet et al, 2012). در واقع به دلیل وجود چنین پیچیدگی‌هایی است که موضوع مدیریت ریسک در این گونه مسائل بروز می‌کند. گزینه‌های تأمین آب، به علت حساسیت‌های ویژه اجتماعی، فنی و بین‌المللی (به ویژه در نواحی مرزی) از پیچیدگی بالایی برخوردار بوده و آینده مبهمی در پیش رو دارند. در چنین شرایطی بررسی گزینه‌های تأمین آب و انتخاب گزینه(های) برتر، باید با توجه کامل به عدم قطعیت‌ها و توأم با ارزیابی ریسک آنها باشد. در حقیقت بدون توجه به ریسک، ممکن است گزینه‌هایی که جذاب به نظر می‌رسند، انتخاب شوند، در حالی که حامل ریسک‌های نهفته بالایی هستند. همچنین، عدم قطعیت منجر به تشدید ریسک‌های گزینه‌های تأمین آب می‌شود و از این رو نیازمند توجه ویژه است.

تاکنون بیشتر مطالعات در محدوده مسائل مربوط به ریسک، سطحی از احتمالات را مبنای محاسبات قرار

داده‌اند. در این پژوهش، برای تعیین احتمال و شدت عواقب سوء، از روش بارش افکار استفاده شده است. نظرات جمعی از کارشناسان خبره و باسابقه، جمع‌آوری و تحلیل شده و سطح اعتماد هر طرح تأمین آب با توجه به متوسط نظرات ایشان محاسبه شده است. همچنین، تلاش شده است تا ریسک‌های گزینه‌های تأمین آب از جنبه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد.

تئوری ارزیابی ریسک

همواره وجود عدم قطعیت‌های مختلف باعث بروز حوادث ناگواری می‌شوند که پیش‌بینی و جلوگیری از وقوع این حوادث بر عهده مدیران است. برای درک وقوع این حوادث، در درجه اول مدیران باید عوامل بالقوه بروز مخاطرات را درک کنند. هنگامی که مخاطرات با سطح بالایی از ریسک شناسایی شد، لازم است برنامه‌های مدیریت ریسک برای کاهش خسارات محتمل از هر طریق (پیشگیری، آمادگی، پاسخ و اقدامات بهبودی) طراحی و اجرا شود (قندهاری و همکاران، ۱۳۹۴: ۵)؛ بنابراین، اولین گام شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها می‌باشد. در صورتی که ریسک‌ها به درستی شناسایی و ارزیابی نشوند، اعتبار فرایند مدیریت ریسک خدشه‌دار خواهد شد، چرا که در حقیقت برآورد واقعی از ریسک‌های پروژه نداشته و نخواهد توانست آن‌ها را مدیریت کند. از این رو، لازم است تا در فرایند شناسایی ریسک‌ها به نحوی اقدام شود که آنچه واقعاً ریسک نیست، ریسک فرض نشود و بالعکس. در واقع، رایج‌ترین اشتباه در شناسایی ریسک، ناتوانی در تمایز بین منشأ ریسک، ریسک واقعی و تأثیر ریسک است. منشأ بروز ریسک، اتفاق‌های قطعی یا مجموعه‌ای از شرایطی هستند که در پروژه و یا در محیط آن وجود داشته و باعث بروز عدم قطعیت می‌شوند. ریسک، عدم قطعیت‌هایی هستند که در صورت اتفاق افتادن، اهداف پروژه را متأثر خواهند کرد. اثرات، انحرافات پیش‌بینی نشده در اهداف پروژه هستند که به صورت مثبت یا منفی در نتیجه وقوع ریسک بروز خواهند کرد. ارتباط بین منشأ، ریسک و تأثیر در شکل (۱) نشان داده شده است (نظری و همکاران، ۱۳۸۷: ۵۶).



شکل ۱. تفکیک بین منشأ ریسک، ریسک و تأثیر آن
تهیه و ترسیم: (نظری و همکاران، ۱۳۸۷)

مخاطرات و نقاط کنترل بحرانی (HACCP^۱) Griffith et al, 2005; 3; Davison et al, 2005; 5 ; Dominguez-Chicas and Scrimshaw, 2010; 13; Jayarante, 2008, 4; Yokoi et al., 2006; 2- مدل شکست و تحلیل اثر (FMEA^۲) (Dominguez-Chicas and Scrimshaw, 2010; 12; Hong et al., 2009; 7) درخت خطا (FTA^۳)؛ در این میان، مدل‌های ارزیابی احتمالاتی از قبیل درخت واقعه (ETA^۴) (Hokstad et al., 2009; 9) نیز می‌توانند به عنوان ابزار کمکی برای برآورد بدترین احتمالات شکست مورد استفاده قرار گیرند. در این روش‌ها، عموماً تمرکز بر عوامل ذهنی و انتزاعی کارشناسان است. روش آینده‌نگر، اگرچه 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 است. نگرانی اصلی در مورد استفاده از روش‌های آینده‌نگر، دخالت نظر کارشناسی در نحوه کمی کردن ریسک‌ها و عواقب آن می‌باشد؛ چرا که تخمین صحیح هزینه و منافع پیامدها می‌تواند بسیار دشوار باشد.

از منظر دیگر، تحلیل ریسک به دو دسته تقسیم می‌شود (Ted, 2014; 116): الف) روش جعبه سیاه (Black Box Methodology): در این روش، تحلیل توسط شخص باتجربه و مجرب انجام می‌شود. وی

اندازه ریسک، باید با دقت کافی برآورد شود تا ارزیابی ریسک به درستی صورت گیرد. در غیر این صورت، این خطر وجود دارد که ریسک‌های واقعی پنهان مانده و یا کوچک انگاشته شوند؛ به عنوان مثال، وقایع قطعی (با عدم قطعیت ناچیز) و یا وقایعی که اهداف پروژه را متأثر نمی‌کنند، نباید به عنوان ریسک در نظر گرفته شوند. عموماً براساس مطالعات گذشته، روش‌های تحلیل و ارزیابی ریسک را می‌توان براساس دو نگرش تقسیم‌بندی کرد: ۱- روش‌های گذشته‌نگر و آینده‌نگر؛ ۲- روش‌های تحلیل جعبه سفید و جعبه سیاه. روش‌های گذشته‌نگر (Retrospective) به دنبال کشف ریشه حوادث ناهنجار و متضاد در گذشته می‌باشند. هدف اصلی در این روش، مشخص کردن علت وقوع حوادث ناخوشایند است. در این روش، مقصر و یا مسئول حوادث ناخوشایند معلوم می‌شود و از تکرار این گونه اتفاقات جلوگیری می‌کند (USGS, 2000: 28). مدل «تحلیلی ریشه‌یابی علی» (Root Cause Analysis) که کاربرد آن برای محیط‌های پیچیده توصیه می‌شود، از این نوع می‌باشد. رویکرد اساسی در این مدل، شناسایی سلسله‌وقایعی است که در امتداد یکدیگر منجر به پیامدهای ناخوشایند می‌شوند. مشکل اصلی این مدل در آن است که صرفاً بر وقایع مشخصی که پیامد را رقم زده‌اند، تمرکز کرده و از توجه به دیگر سناریوهای محتمل، غفلت می‌شود. همچنین، مدل مزبور راه‌های کاهش ریسک را نشان نمی‌دهد (Germain et al, 2008: 201). روش‌های آینده‌نگر (Prospective) برای ارزیابی و تحلیل ریسک از روش‌های گذشته‌نگر مفیدتر هستند. از جمله این مدل‌های آینده‌نگر عبارت‌اند از: ۱- مدل تحلیل

1. Hazard analysis and critical control points
2. Failure mode and effects analysis
3. Fault tree analysis
4. Event tree analysis

ناشی از ناکافی بودن اندازه‌گیری‌ها و خطاهای به‌وجود آمده در حین مرتب کردن و انتقال داده‌ها؛ ۵- عدم قطعیت بهره‌برداری: که در نتیجه فرسودگی (تغییرات در زمان)، انحراف آینده وقوع یافته از پیش‌بینی شده (جمعیت برآورد شده، تغییر اقلیم و ...). به‌منظور کمیت بخشیدن به عدم قطعیت‌ها، نظرات کارشناسان خبره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است؛ یعنی متوسط و دامنه نظرات کارشناسی در نظر گرفته شده است. در واقع برای برآورد ریسک‌های تأمین آب مشهود، مسائل و چالش‌ها و فرصت‌های هر پروژه در جلسات بارش، افکار جداگانه مورد کنکاش قرار گرفته و برای این امر به‌طور متوسط برای هر پروژه، ۶ ساعت به روش بارش افکار وقت صرف شده است.

مواد و روش‌ها

گزینه‌های موجود و ممکن (در حال بررسی) تأمین آب مشهود شامل شش مورد می‌شود. در حال حاضر، سه گزینه «برداشت از آبخوان»، «استفاده مجدد از پساب» و «انتقال آب از سد دوستی» در حال بهره‌برداری هستند. همچنین سه گزینه دیگر در دست بررسی است. جدول (۱) شرح مختصری از هر گزینه را ارائه می‌دهد.

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 & Guo, 1999; 2, Tanaka et al, 2000). روش جعبه سفید (White Box Methodology)؛ (Guo, 1999; 2) در این روش‌ها برای هر پروژه، ریسک‌ها محاسبه می‌شوند.

مفهوم ریسک، ارتباط تنگاتنگی با مفهوم عدم قطعیت دارد. در این پژوهش، عدم قطعیت معادل ناتوانی در برآورد دقیق کمیت‌ها (پارامترها و متغیرهای سیستم) در نظر گرفته شده است. پنج منشأ برای عدم قطعیت‌ها در پروژه‌های مهندسی آب شناسایی شده‌اند (Mays & Tung, 1992; 6): ۱- عدم قطعیت طبیعی: مربوط به ماهیت تصادفی فرایندهای طبیعی و تغییرات زمانی و مکانی ذاتی این فرایندها؛ برای مثال، مقدار واقعی یا دقیق شدت متوسط بارش در سطح یک حوضه به‌هیچ‌وجه قابل پیش‌بینی و اندازه‌گیری نیست؛ ۲- عدم قطعیت طراحی: ضعف مدل در شبیه‌سازی یا طراحی دقیق یک فرایند فیزیکی در طرح‌ها و پروژه‌های مهندسی آب؛ ۳- عدم قطعیت پارامترها: به دلیل واریانس (تغییرپذیری مکانی یا زمانی) بالا و محدودیت مالی و زمانی در اندازه‌گیری آنها، پارامترهای سیستم معمولاً دارای عدم قطعیت هستند؛ ۴- عدم قطعیت داده‌ها: یعنی بی‌دقتی در اندازه‌گیری

جدول ۱. شرح مختصری از گزینه‌های محتمل تأمین آب مشهود

عنوان گزینه	شرح / وضعیت	حجم تأمین سالانه (mcm)	زمان احتمالی بهره‌برداری
۱	آب زیرزمینی	۶۰۰	در حال بهره‌برداری
۲	سد دوستی	۱۵۰	در حال بهره‌برداری
۳	جایگزینی پساب	اکتون ۳۴ درصد	در حال بهره‌برداری بدون تخصیص صحیح
		در آینده قابل توسعه تا ۷۰٪ مصارف شهری (تابع توسعه شهری)	تا ۱۴۲۰ به تدریج افزایش می‌یابد.
۴	هزار مسجد	۵۶/۸	۷ تا ۱۲ سال آتی

۵	دریای عمان	انتقال با مسافت زیاد	۱۵۷ - ۲۲۰	تقریباً ۱۴۳۰
۶	تاجیکستان (مسیرهای مختلف)	کاهش قدرت سیاسی ایران در منطقه به لحاظ وابستگی شدید به آب‌های خارج از مرز	۱۰۰۰	۱۴۱۰ تا ۱۴۳۰

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

الف) چالش‌های تأمین آب مشهد مرتبط با هر گزینه، در جلسات بارش افکار (Brain Storming) با حضور حداقل ۱۰ نفر از کارشناسان ارشد آب منطقه‌ای خراسان رضوی و در قالب ۱۴۴ نفر-ساعت کار جمعی، شناسایی شد. برای شناسایی تمامی چالش‌های مرتبط با گزینه‌های تأمین آب مشهد، براساس مدل PEST-ICDF^۱ جدول (۲) منطبق بر منشأ ریسک‌های متصور تنظیم شده است. سپس 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 شده است. منشأ بروز ریسک‌های «تأمین آب مشهد» عبارت‌اند از:

مراحل انجام پژوهش در شکل (۲) نمایش داده شده و سپس روش به کار بسته شده در هر قسمت تشریح شده است.



شکل ۲. چارچوب تحقیق تهیه و ترسیم: (نگارندگان: ۱۳۹۵)

جدول ۲. منابع بروز عدم قطعیت براساس مدل PEST-ICDF

نوع ریسک	شرح
روابط بین‌الملل (International)	منظور مخاطراتی است که از این منشأ وقوع یافته و موجب اختلال در تأمین آب مشهد می‌شوند. نوع رابطه با کشوری(هایی) که در مسیر انتقال آب قرار دارند، بر حجم یا قطع و وصل جریان آب به ایران تأثیر دارد؛ بنابراین فقط گزینه‌های مرزی و برون مرزی در معرض این مخاطره هستند. انواع روابط بین‌الملل عبارت‌اند از: «حسن همجواری»، «همکاری» و «رقابت».
مالی (Financial)	منظور مخاطراتی است که به دلیل عدم تأمین (به موقع یا کافی) منابع مالی وقوع یافته و موجب اختلال در تأمین آب مشهد می‌شوند. منشأ تأمین مالی چه منابع بخش خصوصی و چه منابع عمومی باشد، تأخیر یا کاهش در تأمین منابع مورد نیاز گزینه‌ها موجب اختلال در دستیابی به هدف خواهد شد.
تغییر اقلیم (Climate change)	تغییر اقلیم می‌تواند منشأ مخاطراتی برای تأمین آب مشهد در بیشتر گزینه‌ها (به‌جز جایگزینی پساب و دریای عمان) باشد.
انتقال (Transfer)	مسیر طولانی انتقال آب به خودی خود منشأ مخاطراتی از جمله صعوبت ساخت، هزینه بالا، پیچیدگی عملیات بهره برداری و نگهداری و ... است. همچنین، امکان قطع جریان به دلیل فنی، طبیعی (زلزله و ...) و انسانی در مسیر انتقال وجود دارد.
اجتماعی (Social)	تعارضات قومی و منطقه‌ای نیز می‌توانند منشأ مخاطرات و اثرات منفی بر تأمین آب مشهد باشند.
توسعه بالادست (Development)	توسعه آتی در مبدأ تأمین آب و یا در مسیر انتقال آب می‌تواند در آینده موجبات اختلال تأمین آب مشهد شود.
زیست محیطی (Environmental)	محدودیت‌ها و چالش‌های زیست محیطی در مبدأ و یا مسیر انتقال می‌تواند اجرای گزینه‌ها را با مشکلات جدی و لاینحل روبه‌رو کنند و از این‌رو تأمین آب مشهد را با اختلال مواجه سازند.
سیاسی (Political)	رقابت سیاسی میان مراجع مختلف تصمیم‌گیری شهرستانی، استانی و ملی می‌تواند منجر به ناهماهنگی میان ایشان و کند یا متوقف شدن اجرای گزینه‌ها می‌شود (استانداری‌ها، مدیران استانی و شهرستانی، نمایندگان مجلس و ...)

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

1. Political- Environmental- Social- Transfer- International- Financial- Climate change- Development

محاسبه شده است. با توجه به اینکه مقادیر آلفای کرونباخ از نظرسنجی به دست می‌آید؛ اگر این مقدار بیش از ۰/۷ باشد، همبستگی و توافق مناسب بین نظرات خبرگان نشان می‌دهد، اگر مقدار آلفا بین ۰/۷ و ۰/۵ باشد، بیانگر توافق متوسط و اگر کمتر از ۰/۵ باشد، همبستگی و توافق ضعیف نظرات را نشان می‌دهد که در این حالت و در صورت لزوم، نظرسنجی مجدد انجام می‌شود (Bayazidi et al, 2012:6).

ب) مخاطرات و ریسک‌های هر گزینه از نتایج جلسات بارش افکار استخراج شده و براساس نتایج پرسش‌نامه، اولویت بروز هر کدام از مخاطرات ذیل هر گزینه مشخص شد. این اولویت‌بندی معیاری برای تعیین وزن مخاطرات شناسایی شده نیز، خواهد بود (جدول ۳). در این قسمت، پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها به منظور بررسی میزان اتفاق نظر خبرگان و در صورت لزوم حذف و یا نظرسنجی مجدد، ضریب همبستگی داخلی (ICC)

جدول ۳. مهمترین ریسک گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد

عنوان گزینه			
انتقال آبی از تاجیکستان	انتقال آب از عمان	انتقال آب از هزار مسجد	انتقال پساب
روابط بین‌المللی	مالی	انتقال	زیست‌محیطی
مالی	انتقال	تغییر اقلیم	اجتماعی
تغییر اقلیم	اجتماعی	روابط بین‌المللی	مالی
انتقال	سیاسی	مالی	انتقال
اجتماعی	زیست‌محیطی	اجتماعی	سیاسی
توسعه بالادست (احتمال کاهش استحصال)	توسعه بالادست (احتمال کاهش استحصال)	زیست‌محیطی	
زیست‌محیطی		توسعه بالادست (احتمال کاهش استحصال)	

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

ارزیابی دامنه تغییرات (انحراف معیار) نمایش داده شده است.
ت) معادله تبیین ریسک در شکل عمومی به شرح (۱) تا (۳) است:

پ) در این مرحله ارزیابی ریسک (شدت و احتمال وقوع هر کدام از مخاطرات) براساس نظرات کارشناسان انجام گرفته و نتایج در قالب مدل شبیه‌سازی ارائه شده است. سپس، عدم قطعیت مخاطرات مبتنی بر

$$R = H \times E \times V \Rightarrow \{ \text{آسیب‌پذیری}^1 * \text{در معرض بودن}^2 * \text{مخاطره}^3 \} = \text{ریسک} \quad (1)$$

$$H = f(\text{Probability, Severity}) \Rightarrow \text{شدت} * \text{احتمال} = \text{مخاطره} \quad (2)$$

$$R = f(\text{Probability, Severity}) \times E \times V \quad (3)$$

ارزیابی ریسک

در مطالعات رایج معمولاً ریسک به صورت یک عدد نمایش داده می‌شود؛ اما آنچه مسلم است، در مورد ریسک باید تمام حالات از بدبینانه‌ترین حالت تا خوشبینانه‌ترین حالت در نظر گرفته شود؛ به عبارت دیگر، خود ریسک که ناشی از پدیده‌های متعدّد تصادفی با دامنه‌های گسترده‌ای می‌باشد، دارای دامنه‌ای از عدم قطعیت است. این عدم قطعیت با توجه به نظرات کارشناسان، با قبول اینکه امکان حذف هیچ‌یک از نظرات وجود ندارد، به دست می‌آید. مقادیر متوسط احتمال و شدت هر مخاطره برای هر گزینه برابر با میانگین مقادیر کسب شده از کارشناسان است. همچنین، عدم قطعیت‌های مربوط به هر مخاطره (دامنه‌های شدت و احتمال آن) با فرض تبعیت آنها از توزیع احتمالاتی در سطح مورد نظر (مثلاً $\alpha = 1\%$) قابل محاسبه است. در این پژوهش، عدم قطعیت ریسک با احتساب ۹۹ درصد از دامنه احتمال و شدت (براساس نظرات کارشناسان)، شبیه‌سازی شده است.

نتایج و بحث

در این قسمت، مطابق چارچوب مطالعه (شکل ۲)، نتایج ارائه شده‌اند. ابتدا نتایج بررسی چالش‌ها و فرصت‌های گزینه‌ها و تعیین نوع ریسک، سپس نتایج ارزیابی ریسک و در انتها اولویت گزینه‌ها بررسی و ارائه شده است.

چالش‌ها و فرصت‌ها

با توجه به جدول (۱)، اگرچه 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 آنجاکه این مطالعه به دنبال تعیین اولویت گزینه‌های نو و محتمل (برای سرمایه‌گذاری) است؛ بنابراین سد دوستی (که قبلاً سرمایه‌گذاری آن انجام یافته) از فهرست موارد مقایسه حذف می‌شود. در ادامه مختصری درباره

در این مطالعه مقادیر آسیب‌پذیری و در معرض بودن برابر یک فرض شده است؛ بنابراین، ریسک مورد نظر صرفاً متناظر با مخاطرات است؛ یعنی $H = P \times S$ ریسکی است که از یک منشأ غیر از پروژه صادر و اثرات منفی آن بر پروژه وارد می‌شود. در ادامه روش محاسبه ریسک شرح داده شده است.

د) با توجه به ریسک، قیمت و دبی تأمین شدنی، گزینه‌ها اولویت‌بندی می‌شوند. همچنین، به منظور فراهم آوردن امکان مقایسه کلی گزینه‌ها از یک شاخص ترکیبی (رابطه ۴) به شرح زیر استفاده شده است. در این شاخص، عوامل مطلوب در صورت کسر و عوامل نامطلوب در مخرج کسر قرار داده شده‌اند.

$$(4) \quad \left(\frac{Q \times \omega}{C \times R} \right)$$

در این معادله، R مربوط به ریسک فنی گزینه (برحسب ۰ تا ۱۰۰٪)، C هزینه احداث پروژه (برحسب هزار میلیارد ریال)، Q میزان دبی ورودی ناشی از گزینه تأمین آب به مشهد (برحسب میلیارد متر مکعب) است و 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 را تولید می‌کند، ضریب مزبور از جمع $(1 + 0/7)$ به دست آمده است. برای آب استحصال شده از منابع زیرزمینی با توجه به میزان آب برگشتی، این ضریب معادل ۰/۷ برآورد گشته است. همچنین، جایگزینی پساب از دیدگاه مدیریت منابع آب نسبت به استفاده از آب زیرزمینی دارای مزیت ۰/۱ فرض شده است. یادآوری می‌شود، برگشت مصارف خانگی از طریق چاه جذبی به منابع آب زیرزمینی منجر به رشد آلودگی این منابع می‌شود. در این صورت، برای کنترل آلودگی‌ها لازم است مقداری آب آلوده از انتهای حوضه تخلیه شود. تصفیه فاضلاب می‌تواند باعث کاهش جریان خروجی حوضه شود و بر همین اساس، مزیت پساب برآورد شده است.

• جایگزینی پساب

با کاهش امیدها به تأمین آب شرب مشهد از سد دوستی و همچنین افت بیش از حد سطح آب زیرزمینی دشت مشهد، گزینه «جایگزینی پساب تصفیه‌شده با آب کشاورزی برای تأمین آب شرب شهر مشهد» پررنگ‌تر شده است.

• تاجیکستان

گزینه انتقال آب از خارج کشور، از گزینه‌های جدی در دست مطالعه وزارت نیرو می‌باشد که شامل کشورهای افغانستان، ترکمنستان و تاجیکستان است. گزینه اول، تأمین آب از رودخانه پنج در مرز تاجیکستان و افغانستان و انتقال آب از طریق افغانستان بوده، می‌توان با ایجاد خط انتقال به طول ۹۰۰ کیلومتر تا تایباد، یک میلیارد مترمکعب آب به کشور انتقال داد. گزینه دوم، احداث سد روی رودخانه مرغاب در افغانستان و انتقال آب از آن سد که می‌توان سالیانه ۶۰۰ میلیون متر مکعب آب به کشور انتقال داد. گزینه پیشنهادی سوم، به صورت تأمین و انتقال آب از طریق ترکمنستان و کانال قره‌قوم می‌باشد. در جدول (۴) فهرستی از چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد به صورت خلاصه ذکر شده است.

گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد و نتایج جلسات بارش افکار (چالش‌ها و فرصت‌ها) برای هر گزینه به تفکیک ارائه شده است:

• انتقال آب از شمال کوه‌های هزار مسجد

این گزینه، بدین لحاظ حائز اهمیت است که مانع خروج آب از کشور می‌شود. اگرچه تاکنون طرح‌های زیادی برای جلوگیری از خروج آب در این مناطق پیشنهاد شده؛ اما به دلیل نبود ساختگاه مناسب برای احداث سدهای مخزنی بسیاری از پروژه‌ها به مرحله اجرا نرسیده‌اند؛ بنابراین، با اطمینان مناسبی می‌توان گفت که تنها راه جلوگیری از خروج آب از کشور و استفاده بهینه از منابع آب رودخانه‌های مورد مطالعه، پس از تأمین نیازهای حوضه‌های مبدأ (کمبود آب تابستانه)، انتقال آب به حوضه مشهد است.

• انتقال آب از دریای عمان

انتقال آب از دریای عمان در حال حاضر به‌عنوان طرحی امکان‌پذیر از طرف وزارت نیرو تحت بررسی می‌باشد. این گزینه با توجه به طول خط، حجم عظیم سرمایه‌گذاری، زمان اجرا و ... با چالش‌های زیادی روبه‌رو می‌باشد.

جدول ۴. چالش‌ها و فرصت‌های گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد

هزار مسجد	پساب	تاجیکستان	عمان	چالش / فرصت
*		*		تأسیسات آبی ایجاد شده در منطقه (مرزی بودن)
*	*	*	*	ابهام در مصارف آینده منطقه و وجود مسائل اجتماعی در منطقه برای انتقال آب
		*		احتمال دخالت‌های سیاسی سایر کشورها
	*			احتمال عواقب سوء کیفی در اثر نفوذ عمقی یا تغذیه مستقیم پساب به آبخوان
*				استفاده چندمنظوره از تونل (راه و ترابری درگز- قوچان، انتقال آب، ...)
*		*	*	افزایش ریسک امنیتی پروژه با افزایش طول و ارزش پروژه و تقسیم پروژه (دبی بالا طمع خرابکاران را تحریک می‌کند)
		*		امکان جذب سرمایه‌های بین‌المللی و بخش خصوصی در افغانستان منجر به توسعه و رشد مصارف آب
*		*	*	ایجاد امنیت آبی نسبی در شرق کشور
		*		ایجاد بسترهای توسعه مراودات سیاسی و اقتصادی با کشورهای مسیر
	*			ایجاد فضای بی‌اعتمادی به آب منطقه‌ای به دلیل ایجاد درآمد از پساب

*		*	*	آسیب‌پذیری تأسیسات از منظر پدافند غیرعامل
	*			بازچرخانی پساب و استفاده از پروفیل خاک برای تصفیه اولیه پساب
*		*	*	بالا بردن امنیت مناطق مرزی با حفظ مراکز جمعیتی
*	*		*	بالا بودن هزینه‌های انتقال و نگهداری نسبت به حجم تأمین آب
*	*	*	*	بروز مشکلات اجتماعی
			*	تأسیسات آبی ایجاد شده در منطقه (حمایت‌های سیاسی)
*				تخصیص حداکثری از منابع آب زیرزمینی خروجی از مرز، به‌منظور بهینه نمودن استفاده از منابع آب سطحی
*		*	*	تروریسم
*		*		تغییر اقلیم بر آب‌دهی رودخانه‌ها
*		*	*	تقویت آب‌خوان دشت (استفاده از پتانسیل سیستم بازچرخانی آب در مشهد)
*		*	*	تهدید تمرکز جمعیتی در مسیر انتقال آب
			*	تهدید طبیعی (مانند سونامی) آب‌شیرین‌کن‌ها با توجه به کنار دریا بودن
		*		جنگ داخلی و ناامنی نسبی در حوضه‌های مبدأ
*			*	درخواست و اعمال فشار برای تغییر مسیر پروژه
			*	رقابت بین استان‌ها و مدیریت بهره‌برداری بین استانی و احتمال سیر نزولی تأمین آب با توجه به افزایش نیازها در مسیر انتقال
			*	ریسک زیست‌محیطی بین‌المللی (شوری دریا)
	*		*	احتمال عدم تأمین اعتبار از بخش خصوصی سرمایه‌گذارهای بخش خصوصی
	*			شرایط خاص استفاده از پساب برای کشاورزی (تناسب پساب با آبیاری محصولات معین)
		*	*	شرایط سخت نگهداری از پروژه‌ها
*				شرایط مناسب استفاده آب و هوای مناسب منطقه شمالی هزارمسجد (شرایط ویژه توسعه گردشگری طبیعت و ایجاد فرصت سرمایه‌گذاری بر روی پروژه‌های آبی)
*				صعوبت استحصال آب از سازندهای کارستی به دلیل پیچیدگی‌های زمین‌شناسی سازند سخت و نحوه استحصال آب
		*	*	طول زیاد خط و تعداد ایستگاه‌ها و ریسک خرابی (فنی، زلزله و ...) + (تأخیر در ساخت)
*	*	*	*	عدم امکان مدیریت توسعه ناهمگون و افزایش انتظارات با ورود آب (به جای کنترل بحران، توسعه ادامه می‌یابد)
	*			عدم پذیرش پساب به لحاظ فرهنگی
		*		بی‌ثباتی در سیاست خارجی کشورهای حوضه مبدأ (عدم توافق در ساخت، ناتوانی حفاظت در انتقال)
*		*		بی‌نیازی به شیرین‌سازی (کاهش هزینه‌های جاری و کاهش احتمال مقابله گروه‌های محیط‌زیستی)
	*		*	فرصت و مزیت داخلی بودن این آب و عدم وجود معارض (عدم وابستگی به سایر کشورها به لحاظ تأمین آب)
			*	فرصت چانه‌زنی با سایر تأمین‌کنندگان احتمالی آب (ترکمنستان، افغانستان و ...)
			*	قابلیت تأمین آب شهرهای مسیر خط انتقال و جلب مشارکت آنها (توجه‌پذیری و اخذ تصویب)
			*	کاهش چالش‌های اجتماعی در جنوب شرق و شرق کشور با توجه به حجم سرمایه‌گذاری
		*		کاهش قدرت ایران در منطقه
		*		کشاورزی سنتی و نبود شرایط توسعه سریع در حوضه‌های مبدأ
		*		کمبود انرژی برق و گاز و ... در حوضه‌های مبدأ: مبادله آب و انرژی

*				مرزی بودن رودخانه‌های منطقه و التزام به سرعت بخشیدن طرح‌های جلوگیری از خروج آب از کشور در مهلت معین
*				مطالعات دشوار در فاز شناسایی و عدم قطعیت‌های فراوان مطالعات
		*		نامنی نسبی و عدم توسعه سریع در این کشورها (کند شدن آهنگ توسعه کشور مبدأ)
*	*	*	*	نامشخص بودن قیمت آب انتقالی
	*			نیاز به ۱۶ تصفیه‌خانه محلی
*	*			هزینه کمتر از گزینه‌های انتقال از بیرون حوضه
*	*			همجواری با مشهد (کوتاهی مسیر انتقال)
		*		وجود برنامه‌های مختلف توسعه توسط سازمان‌های بین‌المللی (پروژه داکار و ...) و تسریع توسعه افغانستان
		*		وجود رودخانه‌های پرآب و یا آب به نسبت فراوان
		*		وجود گروه‌های محیط زیستی بین‌المللی در جهت توقف پروژه
*			*	وجود مسائل اجتماعی در مسیر برای انتقال آب
*			*	وجود مناطق حفاظت‌شده در مسیر انتقال
*			*	ورود نمایندگان مجلس به موضوع و اوج‌گیری اختلافات یا تنش‌های سیاسی

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

دسته از چالش‌ها و فرصت، مخاطرات چهار گزینه‌ی محتمل، فهرست و اولویت‌بندی شد. در این مرحله، سعی شد تا موارد مشابه حذف یا ادغام شوند. در هر حال، کلیه مخاطرات شناسایی شده مربوط به چهار گزینه‌ی تأمین آب، به صورت گروه‌های پانزده‌گانه از ریسک به صورت ساختار شکست ریسک دسته‌بندی و به صورت پرسش‌نامه زیر در اختیار خبرگان حاضر در جلسه قرار گرفت (جدول ۵).

همان‌طور که گفته شد، براساس ۱۰ جلسه تشکیل شده، نظرات خبرگان با بهره‌مندی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی نظیر تکنیک دلفی و طوفان فکری در قالب شش گروه از مجموعه کارشناسان آب منطقه‌ای (جمعاً ۱۵ نفر) جمع‌آوری شد. گروه خبرگان شامل: «اعضای هیئت مدیره»، «معاونان شرکت و مدیران مرتبط» بودند. پس از آنکه مهمترین چالش یا فرصت‌های محتمل تأمین آب دشت مشهد به شرح جدول (۴) شناسایی و تعیین شد، آنگاه متناسب با هر

جدول ۵. معرفی پرسش‌نامه

مخاطره	مخاطرات	توضیح
H ₁	امکان بروز ناامنی در مبدأ	موارد زیادی نظیر نزدیکی به مرز و ... می‌توانند موجب شکست سیستم تأمین آب مشهد شوند.
H ₂	امکان خرابکاری در مسیر انتقال یا در تأسیسات (تروریسم/ پدافند غیرعامل)	عواملی همچون نگهداری و بهره‌برداری و مواردی نظیر آن می‌توانند سیستم تأمین آب مشهد را دچار مشکل نمایند.
H ₃	امکان بروز مخالف از طرف NGOهای زیست‌محیطی	طرفداران محیط زیست می‌توانند مانع انجام پروژه شوند.
H ₄	امکان عدم تأمین مالی برحسب برنامه	عدم تأمین منابع مالی معمولاً تابعی از بزرگی پروژه و سرمایه مورد نیاز است.
H ₅	امکان کاهش تأمین آب مشهد به دلیل توسعه بالادست	منظور توسعه در مبدأ یا در مسیر است.
H ₆	روابط بین‌الملل	منظور پیشرفته‌های اقتصادی داخل افغانستان، دخالت سایر کشورها، توازن متقابل خواهد بود.
H ₇	تغییرات اقلیمی (تغییر رژیم سیر دریا/ آمودریا)	تغییرات اقلیم به احتمال زیاد منجر به کاهش تأمین آب مشهد می‌شود و به‌طور خاص ممکن است تا ۵۰ سال بعد یخچال‌های هیمالیا آب شود.

H ₈	افزایش تخصیص با تعیین حقایق ثابت سناریوهای توسعه	افزایش حقایق، بدون توجه به رژیم طبیعی منبع آب، نواسانات آب و هوایی و
H ₉	بروز مشکلات اجتماعی در مخالفت با تأمین آب مشهد	مشکلات اجتماعی ناشی از بی‌اعتمادی به مسئولان یا رقابت سایر شهرستان‌ها با مشهد
H ₁₀	تأثیرات مخرب زیست‌محیطی یا آلودگی منابع آب	عبور از مناطق حفاظت شده و محدودیت‌های قانونی
H ₁₁	عدم‌پذیرش جایگزین پساب به‌دلیل فرهنگی	این گزینه ویژه پساب است
H ₁₂	پیچیدگی مطالعه، طراحی، اجرا و بهره‌برداری از منابع کارست	این گزینه ویژه هزار مسجد است
H ₁₃	رقابت سیاسی در مسیر انتقال منتج به کاهش سهم مشهد	
H ₁₄	امکان بروز مشکلات فنی در مسیر انتقال و تأسیسات استحصال	خرابی پمپ، زلزله، قطع برق، سونامی در حاشیه راه و ...
H ₁₅	هزینه‌های اجتماعی برای جلب رضایت ساکنان مبدأ و مسیر	

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

و ۰/۹ به‌دست آمد و همبستگی و توافق مناسب بین نظرات خبرگان را نشان می‌دهد. نتایج نظرسنجی براساس صحت پرسش‌نامه و همچنین داده‌های مورد استفاده برای هر گزینه به شرح جدول (۶) ذکر شده است.

جدول ۶. بررسی روایی پرسش‌نامه با آلفای کرونباخ برای چهار گزینه تأمین آب مشهد

گزینه	هزار مسجد	پساب	تاجیکستان	عمان
مقدار آلفای کرونباخ	۰,۷۴	۰,۷۳۶	۰,۸۳	۰,۷۵

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

نتایج پرسش‌نامه

همان‌طور که ذکر شد، مرحله اول این 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، به‌صورت مستقیم از فاکتورهای در معرض قرارگیری (Exposure) و آسیب‌پذیری (Vulnerability) برای تعدیل اثر شدت و احتمال وقوع ناشی از هر مخاطره

این جدول به همراه پرسش‌نامه به اعضاء حاضر در جلسه تحویل داده شد تا پاسخ‌دهندگان نسبت به پرسش‌ها از آگاهی کافی برخوردار شوند. با این حال، روایی پرسش‌نامه مورد بررسی قرار گرفته است.

کنترل روایی پرسش‌نامه

پس از جمع پرسش‌نامه‌ها، به‌منظور بررسی میزان توافق نظرات خبرگان در رابطه با هر مخاطره، با استفاده از نرم‌افزار SPSS، ضریب آلفای کرونباخ به‌ازای هر کدام از گزینه‌ها محاسبه شده است. ضریب آلفای کرونباخ به‌عنوان یکی از ضرایب روایی یا قابلیت اعتماد شناخته شده است. این ضریب از عمومی‌ترین ضرایبی است که توسط پژوهشگران علوم اجتماعی برای سنجش روایی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. آلفای کرونباخ به‌طور کلی با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Cronbach & Shavelson, 2004:8):

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{\sigma^2} \right) \quad (5)$$

که در این روابط k تعداد سؤالات، S_i^2 واریانس سؤال i ام، σ^2 واریانس مجموع کلی سؤالات می‌باشند. نتایج مقدار آلفای کرونباخ برای هر کدام از گزینه‌ها بین ۰/۷

در برابر اثرات یک محیط خصمانه دارد (Turner, 2010)؛ بنابراین برای محاسبه احتمال وقوع و شدت متوسط هر مخاطره، مجموع نظرات خبرگان درباره احتمال وقوع و اثر هر کدام از مخاطرات بر تعداد نظرات شرکت‌کنندگان تقسیم شده است و احتمال و شدت متوسط آنها به دست آمده است. در انتها برای محاسبه ریسک متوسط هر گزینه، از روش میانگین وزنی استفاده شده است؛ یعنی براساس درجه آسیب‌پذیری پروژه ناشی از مخاطرات، به هر مخاطره وزن یا ارزش معینی تعلق گرفته است. آنگاه جمع ارقام به دست آمده از کل مخاطرات بر وزن کل درجات آسیب‌پذیری تقسیم شده است. براساس سوابق تحقیق، هر گزینه‌ای که کمترین سطح ریسک را دارد، مناسب‌ترین گزینه در جهت تأمین آب مشهد خواهد بود؛ بنابراین، ریسک ناشی از گزینه تأمین آب از کوه‌های هزار مسجد، کمترین مقدار متوسط ریسک ($R=6.94$) را دارد.

استفاده نشده است؛ زیرا خبرگان براساس یادگیری جمعی (Social Learning) خود از جلسات بارش افکار به صورت ذهنی به میزانی که در معرض قرارگیری و آسیب‌پذیری هر گزینه ناشی از مخاطرات باشند، آگاهی نسبی می‌یابند (Pipattanapiwong, 2004). در واقع برای ارزیابی ریسک گزینه‌های تأمین آب مشهد، دو عامل احتمال (Probability) و شدت اثر (Severity) متأثر از دو فاکتور در معرض قرارگیری (Exposure) و آسیب‌پذیری (Vulnerability) می‌باشند (جدول ۷). با این حال و به جهت اعمال دقیق‌تر دو فاکتور مذکور از ضریب وزنی براساس دبی آب انتقال داده شده به مشهد و شکستی که به سیستم تأمین آب مشهد وارد می‌شود، در محاسبات لحاظ شده است. به عبارت دیگر، براساس میزان شدت اثر هر مخاطره بر شکست پروژه، مجموع درجات آسیب‌پذیری آن مخاطره نیز بین ۱ تا ۵ متغیر است. در واقع آسیب‌پذیری اشاره به ناتوانی یک سیستم یا یک واحد

جدول ۷. ساختار شکست ریسک عمومی گزینه‌ها

وزن W	هزار مسجد			پساب			تاجیکستان			عمان			
	R _w	S	P	R _w	S	P	R _w	S	P	R _w	S	P	
۵,۰۰	۴۰,۰۰	۲,۰۰	۴,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱۲۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	H ₁
۲,۰۰	۱۳,۵۰	۱,۵۰	۴,۵۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۶۴,۰۰	۴,۰۰	۸,۰۰	۲۵,۲۰	۳,۰۰	۴,۲۰	H ₂
۳,۵۰	۳۱,۵۰	۳,۰۰	۳,۰۰	۲۱,۰۰	۲,۰۰	۳,۰۰	۷,۰۰	۱,۰۰	۲,۰۰	۳,۵۰	۱,۰۰	۱,۰۰	H ₃
۵,۰۰	۵۶,۰۰	۲,۰۰	۵,۶۰	۶۱,۸۸	۲,۲۵	۵,۵۰	۲۰۰,۰۰	۵,۰۰	۸,۰۰	۱۴۶,۰۰	۴,۰۰	۷,۳۰	H ₄
۳,۵۰	۱۰,۵۰	۱,۰۰	۳,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۸۰,۵۰	۴,۰۰	۵,۷۵	۸۷,۵۰	۵,۰۰	۵,۰۰	H ₅
۴,۰۰	۱۲,۰۰	۲,۰۰	۱,۵۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱۹۹,۲۰	۶,۰۰	۸,۳۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	H ₆
۱,۵۰	۴,۵۰	۱,۰۰	۳,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۹,۰۰	۲,۰۰	۳,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	H ₇
۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۵,۰۰	۱,۰۰	۵,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	H ₈
۵,۰۰	۲۵,۰۰	۱,۰۰	۵,۰۰	۳۲,۵۰	۲,۰۰	۳,۲۵	۲۱۰,۰۰	۶,۰۰	۷,۰۰	۸۷,۵۰	۵,۰۰	۳,۵۰	H ₉
۲,۰۰	۲۰,۰۰	۲,۰۰	۵,۰۰	۱۸,۰۰	۲,۰۰	۴,۵۰	۲,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۲,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	H ₁₀
۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۲۴,۰۰	۳,۰۰	۸,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	H ₁₁
۱,۰۰	۳,۰۰	۰,۵۰	۶,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	H ₁₂
۳,۵۰	۳,۵۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۵۶,۰۰	۲,۰۰	۸,۰۰	۴۴,۶۳	۳,۷۵	۳,۴۰	H ₁₃
۱,۵۰	۳,۰۰	۱,۰۰	۲,۰۰	۱,۵۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۳۷,۵۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۳۱,۵۰	۳,۰۰	۷,۰۰	H ₁₄
۲,۰۰	۵۰,۸۴	۴,۱۰	۶,۲۰	۲۰,۰۰	۲,۰۰	۵,۰۰	۹۸,۰۰	۷,۰۰	۷,۰۰	۶۶,۰۰	۵,۰۰	۶,۶۰	H ₁₅
۴۱,۵۰	۲۷۳,۳۴	۳۹,۵۰	۱۸۳,۸۸	۲۱,۰۰	۱۰۸۸,۲۰	۳۸,۵۰	۴۹۳,۸۳	۲۸,۰۰	جمع				
	۶,۹۲	\bar{R}	۸,۷۶	\bar{R}	۲۸,۲۶	\bar{R}	۱۷,۶۴	\bar{R}	ریسک متوسط				

مقدار مخاطرات نظرسنجی شده کم و بر انحراف معیار آن تقسیم می‌شود (رابطه ۶):

$$P(\bar{X} - z\sigma_{\bar{X}} \leq \mu \leq \bar{X} + z\sigma_{\bar{X}}) = 1 - \alpha\% \quad (6)$$

\bar{x}_i میانگین ریسک هر گزینه تأمین آب و σ_j انحراف معیار مربوط به آن گزینه می‌باشد. با توجه به رابطه فوق، با در نظر گرفتن فاصله امکان ۹۹٪ برای احتمال و شدت هر مخاطره حد بالا و پایین ریسک برای تمام گزینه‌ها محاسبه شده است (جدول ۸).

از آنجا که تمام مخاطرات به صورت بالقوه امکان وقوع دارند، دامنه ریسک هر پروژه نیز مورد محاسبه قرار گرفته است. در مرحله دوم تحقیق، برای به دست آوردن دامنه امکان پذیر وقوع ریسک گزینه‌های تأمین آب مشهد، عدم قطعیت مخاطرات نیز از بدبینانه‌ترین تا خوشبینانه‌ترین حالت مدنظر قرار گرفته است. در مدل تصمیم‌گیری، از رابطه Z استاندارد استفاده شده است؛ یعنی میانگین مقادیر ریسک هر مخاطره از

جدول ۸. نتایج بررسی فضای امکان ریسک گزینه‌های انتقال آب به مشهد

گزینه انتقال آب	ریسک متوسط (درصد)	Z	انحراف معیار (درصد)	حد بالای ریسک (درصد)	حد پایین ریسک (درصد)
پساب	۸,۷۶	۲,۵۸	۳,۳۲	۱۷,۳۲	۰,۱۹
هزار مسجد	۶,۹۴	۲,۵۸	۵,۲۵	۲۰,۴۸	۰
عمان	۱۷,۶۴	۲,۵۸	۱۲,۰۷	۴۸,۷۸	۰
تاجیکستان	۲۸,۲۶	۲,۵۸	۲۰,۱۲	۸۰,۱۶	۰

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

تعیین اولویت گزینه‌ها

نتایج شبیه‌سازی فضای امکان نشان می‌دهد، گزینه انتقال آب از تاجیکستان، فضای امکان بیشتری به لحاظ بروز ریسک دارد 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 از غرب مشهد، نسبت به سایر گزینه‌ها در اولویت اول اجرا قرار دارد.

پارامترهای دیگری نیز وجود دارند که برای اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب باید مدنظر قرار گیرند. یکی از این پارامترها، هزینه تمام شده پروژه است (C). پروژه‌ای که هزینه تمام شده کمتری نسبت به سایر گزینه‌ها دارد، سهل‌الوصول تر خواهد بود و گزینه‌های که هزینه نهایی آن بالا باشد، در هنگام اجرا

دچار چالش‌های فراوانی خواهد بود. پارامتر بعدی براساس 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 در جهت اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده کرد. در این رابطه، ضریب آمگا (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٪ آب برگشتی را تولید می‌کند، ضریب مزبور از جمع (۱ + ۰/۷) به دست آمده است. همچنین، جایگزینی پساب از دیدگاه مدیریت منابع آب نسبت به استفاده از آب زیرزمینی دارای مزیت ۰/۱ فرض شده است. براساس شاخص مزبور نیز گزینه پساب و سپس گزینه تاجیکستان مناسب‌ترین گزینه خواهد بود.

جدول ۹. اولویت‌بندی گزینه‌های تأمین آب مشهد

اولویت گزینه‌ها	براساس هزینه (C)	براساس حجم (Q)	براساس ریسک (R)	ترکیبی $\left(\frac{Q \times \omega}{C \times R}\right)$
	ارزان (±)	زیاد (±)	کم (±)	بزرگ (±)
۱	انتقال پساب (۰,۸)	تاجیکستان (۱)	هزار مسجد (۶,۹۴)	پساب (۰,۰۲۳)
۲	هزار مسجد (۹,۷)	عمان (۰,۲)	انتقال پساب (۸,۷۶)	هزار مسجد (۰,۰۱۴)
۳	عمان (۹۴,۵۶)	هزار مسجد (۰,۰۵۶)	عمان (۱۷,۶۴)	تاجیکستان (۰,۰۰۰۸)
۴	تاجیکستان (۶۷,۷۰)	انتقال پساب (۰,۲۱)	تاجیکستان (۲۸,۲۶)	عمان (۰,۰۰۰۲)
	گران (±)	کم (±)	زیاد (±)	کوچک (±)

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

نتیجه‌گیری

اگرچه تاکنون روش استاندارد برای ارزیابی ریسک ارائه نشده است، اما بیش از ۷۰ نوع روش ارزیابی کمی و کیفی برای ارزیابی ریسک وجود دارد. علاوه بر آن، ریسک همواره به صورت ضربی از احتمال نمایش داده می‌شود. در این مقاله، علاوه بر ارائه روشی مرکب از روش‌های کمی و کیفی در جهت ارزیابی ریسک، مفهوم ساده شده دیگری برای بیان ارتقاء مفهوم ریسک ارائه شده است. اولین روش استفاده شده برای ارزیابی ریسک بر مبنای محاسبه سطح متوسط ریسک است. در این روش، به وسیله نظرسنجی از خبرگان، سطح احتمال و شدت اثر مربوط به عدم قطعیت‌های هر گزینه استخراج شده است. سپس از مجموع نظرات کلیه خبرگان یک سطح ریسک متوسط برای هر گزینه به دست آمده است. مطابق با بررسی این تحقیق، ریسک ناشی از انتقال آب‌های خارج از مرز (انتقال آب از تاجیکستان) با احتمال متوسط (P=0/56) و شدت (S=0/4)، بیشترین سطح ریسک یعنی R=0/28 را دارد. گزینه انتقال آب از کوه‌های هزار مسجد به دلیل نحوه و فصل انتقال آب در ماه‌های سرد و به دلیل قرار داشتن در داخل کشور دارای احتمال P=0/38 و شدت I=0/17 خواهد بود که به لحاظ سطح متوسط ریسک، دارای کمترین میزان ریسک R=0/069 است. در نتیجه،

اگر برای مقایسه گزینه‌ها از متوسط ریسک استفاده کنیم، گزینه انتقال آب از کوه‌های هزار مسجد مناسب‌ترین گزینه خواهد بود. در روش دوم که برای محاسبه ریسک مورد تأکید است، از بررسی فضای امکان بروز ریسک استفاده شده است. به عبارت دیگر، در روش دوم از خبرگان خواسته شده است تا احتمال، شدت و آسیب‌پذیری هر گزینه در برابر عدم قطعیت‌های موجود، بیان کند. از آنجا که تمام مخاطرات به صورت بالقوه امکان وقوع دارند، دامنه ریسک هر پروژه نیز مدنظر قرار گرفته است؛ یعنی دامنه امکان‌پذیر وقوع ریسک‌های تأمین آب مشهد، شامل بدبینانه‌ترین تا خوشبینانه‌ترین نظرات کارشناسی مدنظر است. با این حال، گزینه انتقال پساب با کوچکترین فضای امکان ریسک و به تناسب کمترین سطح ریسک نسبت به سایر گزینه‌ها در اولویت اجرا قرار دارد. در انتها، مجدداً چهار گزینه انتقال براساس قیمت تمام شده، حجم آب انتقالی در جهت تأمین آب، ریسک گزینه‌ها و ضریب بازچرخانی اولویت‌بندی شده است. سیاست‌گذاران براساس هر کدام از پارامترهای مزبور می‌توانند انتخاب معقولانه داشته باشند.

منابع

- 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-e-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.
- Mays, L.W. and Tung, Y.K. 1992. *Hydrosystems engineering and management*. McGraw-Hill. Book Co., Singapore.
- McIntyre, N., Wagener, T., Wheeler, H. S. & Siyu, Z. 2003. Uncertainty and risk in water quality modelling and management. *J. Hydroinformat.* 5 (4), 259–274.
- Pipattapaniwong, J., 2004. Development of multi-party risk and uncertainty management process for an infrastructure project, Doctoral dissertation, Japan, Kochi University of Technology.
- Tanka, H. Gue, p. 1999. Theory and Methodology Portfolio selection based on upper and lower exponential possibility distributions. *European Journal of Operational Research* 114 (1999) 115-126.
- Tanka, H. Gue, p. Turkesen, B. 2000. Portfolio selection based on fuzzy probabilities and possibility distributions. *Fuzzy Sets and Systems* 111 (2000) 387-397.
- Ted, S. 2014. *Environmental Risk Assessment: A Toxicological Approach*. CrC Press group. International Standard book Number 13-978-1-4665 - 9829- 4.
- Turner B.L. 2010, vulnerability and resilience: coalescing or paralleling approaches for sustainability science?. *Global environmental change*, 20:570-576.
- 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 2000.
- 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).
- 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* 2006;53(4):483–92.
- Zhang, X. H., Zhang, H. W., Chen, B., Guo, H. C., Chen, G. Q. & Zhao, B.A. 2009. An inexact-stochastic dual water supply programming model. *Commun. 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>.
- قندهاری، احمد. ۱۳۹۵. ارزیابی اعتمادپذیری تأمین آب شهر مشهد، پایان نامه دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دپارتمان آب.
- قندهاری، احمد. داوری، کامران. عمرانیان خراسانی، حمید (۱۳۹۴). راهنمای چارچوب مدیریت ریسک. نخستین کنگره ملی آبیاری زهکشی ایران. دانشگاه فردوسی.
- نظری، ا؛ فرصت‌کار، ا؛ کیافر، ب (۱۳۸۷). مدیریت ریسک در پروژه‌ها. انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی. نشریه ۶۵۹. ۱۰۹/۰۰/۹۷. تهران ۳۲۰ ص.
- Bayazidi, B., Oladi, B., Abbasi, N., 2012. The questionnaire data analysis using by SPSS software (PASW) 18, Mehregan, Tehran, in persion.
- Cronbach, L. J., & Shavelson R. J. 2004. My Current Thoughts on Coefficient Alpha and Successor Procedures. *Educational and Psychological Measurement*. 64, 391-418.
- Davison, A., Howard, G., Stevens, M., Callan, P., Fewtrell L, Deere, D., 2005. *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* 2010;44(2):6115–23.
- Germain, D., Cohen, D., Frederick, J. 2008. A Retrospective Look at the Water Resource Management Policies in Nassau County, Long Island, New York, Volume 44, Issue 5, pages 1337–1346, October 2008.
- Griffith, C., Obee, P., Cooper, R. 2005. The Clinical Application of Hazard Analysis Critical Control Points (HACCP). *American Journal of Infection Control* 33, e39 .
- Hokstad, P., Pettersson, T.J.R., Kirchner, D., Niewersch, C., Linde, A., Sturm, S., Røstum, J., Sklet, S., Beuken, R., 2009. Methods for risk analysis of drinking water systems from source to tap - Guidance report on Risk Analysis, Project Funded by the European Commission, Sixth Framework Programme, Sustainable Development, 2009 TECHNEAU.
- 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, *Tunnelling and Underground Space Technology* 24 (2009) 269–277.
- Jayarante A. 2008. Application of a risk management system to improve drinking water safety. *J Water Health* 2008;6(4):547–57.

