



فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی، دوره ششم، شماره ۲۱، زمستان ۹۵

اعتمادپذیری سیاست‌های پروژه محور (ارزیابی ریسک گزینه‌های تأمین آب مشهد و تعیین اولویت آن‌ها)

———— کامران داوری^۱، احمد قندهاری^۲، 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 جهت 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، به‌صورت موردی، به چالش‌ها و فرصت‌های طرح‌های تأمین آب مشهد پرداخته و روش منسجمی 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. در بخش دوم، براساس دامنه امکان بروز مخاطرات ریسک تمام گزینه‌ها محاسبه شده است. نتایج نشان داد، گرچه کمترین مقدار متوسط ریسک مربوط به گزینه انتقال آب از هزارمسجد است، اما از دید کارشناسان، گزینه انتقال پساب از غرب مشهد دامنه امکان بروز ریسک کمتری را نسبت به سایر گزینه‌ها داراست. در واقع، این نتایج نشان می‌دهد، استفاده از دامنه امکان ریسک برای اولویت‌بندی گزینه‌ها (اتخاذ تصمیمات مدیریتی) می‌تواند بسیار مفید واقع شود. در پایان مقاله، گزینه‌های مختلف براساس پارامتر قیمت تمام‌شده پروژه، حجم انتقال آب هر پروژه، ریسک و ضریب بازچرخانی آب مجدداً اولویت‌بندی شده‌اند.

کلمات کلیدی: دشت مشهد، ریسک، عدم قطعیت، تأمین آب

۱. مقدمه

در عمده مناطق دنیا در سال‌های اخیر «پایداری منابع آب» هم‌زمان با رشد سریع تقاضاهای ناهمگون،

۱- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران (نویسنده مسئول) k.davary@um.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری آبیاری زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

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

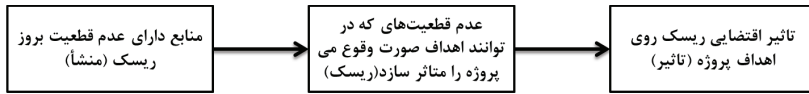


کاهش عرضه آب و مدیریت ضعیف منابع و تخصیص آب دچار چالش اساسی شده است (WEF, 2015). با توجه به اینکه پایداری سیستم‌های منابع آب، تابع عوامل مختلف اقتصادی-زیست محیطی-اجتماعی است، لذا در ارزیابی گزینه‌های تأمین آب، بررسی اثرهای متقابل پارامترهای مختلف از عوامل فوق و ریسک‌های ناشی از آن‌ها لازم و ضروری است. بسیاری از پارامترها و ارتباط بین آن‌ها در سیستم‌های مدیریت آب، به علت خطا در داده‌برداری، ناکافی بودن اطلاعات، پیچیدگی سیستم‌های آبی و...، همراه با عدم قطعیت بالا و ریسک فراوان است (McIntyre et al, 2003; Maqsood et al, 2005). همچنین در مدیریت سیستم‌های منابع آب، دیدگاه‌ها و نگرش‌های متفاوت افراد و در نتیجه بروز عدم قطعیت‌های رفتاری افراد مختلف تصمیم‌گیری را پیچیده کرده است؛ چراکه افراد مختلف دارای منافع و خواسته‌های متعددی و از دیدگاه ایشان اهمیت موضوعات مختلف مدیریت آب متفاوت است (Luyet et al, 2012). در واقع، به دلیل وجود چنین پیچیدگی‌های است که موضوع مدیریت ریسک در این گونه مسائل بروز می‌کند. گزینه‌های تأمین آب، به علت حساسیت‌های ویژه اجتماعی، فنی و بین-المللی (به ویژه در نواحی مرزی) از پیچیدگی بالایی برخوردارند و لذا آینده مبهمی در پیش رو دارند. در چنین شرایطی، بررسی گزینه‌های تأمین آب و انتخاب گزینه یا گزینه‌های 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 گردند؛ 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. نظرهای جمعی از کارشناسان خبره و با سابقه جمع‌آوری و تحلیل شده و سطح اعتماد هر طرح تأمین آب با توجه به متوسط نظرهای ایشان محاسبه شده است. همچنین تلاش شده است تا ریسک‌های گزینه‌های تأمین آب از جنبه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد.

۱. تئوری ارزیابی ریسک

همواره وجود عدم قطعیت‌های مختلف باعث بروز حوادث ناگواری می‌گردند که پیش‌بینی و جلوگیری از وقوع این حوادث برعهده 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 جهت کاهش خسارات محتمل از هر طریق (پیشگیری، آمادگی، پاسخ و اقدامات بهبودی) طراحی و اجرا گردد (قندهاری و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین، اولین گام شناسایی و ارزیابی ریسک‌هاست. در صورتی که ریسک‌ها به درستی شناسایی و ارزیابی نشوند، اعتبار فرایند مدیریت ریسک خدشه‌دار خواهد شد. چراکه در حقیقت برآورد واقعی از ریسک‌های پروژه وجود ندرد و لذا نمی‌توان آن‌ها را مدیریت کرد. 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 شرایط هستند که در پروژه و یا در محیط آن وجود دارند و باعث بروز عدم قطعیت می‌شوند. ریسک عبارت است از عدم قطعیت‌هایی که در صورت اتفاق افتادن، اهداف پروژه را متأثر خواهند کرد. آثار ریسک انحرافات پیش‌بینی نشده در اهداف پروژه است که به صورت مثبت یا منفی در نتیجه وقوع ریسک بروز خواهند کرد. ارتباط بین منشأ، ریسک و تأثیر آن در شکل ۱ نشان داده شده است (نظری و همکاران، ۱۳۸۷).

شکل ۱. تفکیک بین منشأ ریسک، ریسک و تأثیر آن



همچنین 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 بمانند و یا کوچک انگاشته شوند. برای 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 تقسیم بندی کرد: الف) روش‌های گذشته‌نگر و آینده‌نگر؛ ب) روش‌های تحلیل جعبه سفید و جعبه سیاه. روش‌های گذشته‌نگر^۴ به دنبال کشف ریشه حوادث ناهنجار و متضاد در گذشته‌اند. هدف اصلی در این روش مشخص کردن علت وقوع حوادث ناخوشایند است. در این روش، مقصر و یا مسئول حوادث ناخوشایند معلوم می‌گردد و، بنابراین، از تکرار این گونه اتفاقات جلوگیری می‌کند

(USGS, 2000). مدل «تحلیلی ریشه‌یابی علی» (Root Cause Analysis) که کاربرد آن برای محیط‌های پیچیده توصیه می‌گردد، از این دست است. رویکرد اساسی در این مدل شناسایی سلسله وقایعی است که در امتداد یکدیگر منجر به پیامدهای ناخوشایند می‌شوند. مشکل اصلی این مدل آن است که صرفاً بر وقایع مشخصی که پیامد را رقم زده‌اند تمرکز می‌کند و، بنابراین، از توجه به دیگر

سناریوهای محتمل، غفلت می‌شود. همچنین، مدل مزبور راه‌های کاهش ریسک را نشان نمی‌دهد (Germain et al, 2008). روش‌های آینده‌نگر^۵ برای ارزیابی و تحلیل ریسک از روش‌های گذشته‌نگر مفیدترند. از جمله مدل‌های آینده‌نگر میتوان به این موارد اشاره کرد: ۱. مدل تحلیل مخاطرات و نقاط کنترل بحرانی^۶ (Griffith et al, 2005; Davison et al, 2005; Dominguez-Chicas and Scrimshaw, 2006; Jayarante, 2008; Yokoi et al, 2010); ۲. مدل شکست و تحلیل اثر^۷ (Dominguez-Chicas, 2006; Hamilton et al, 2010; Scrimshaw, 2010); و ۳. مدل تحلیل درخت خطا^۸ (Hong et al, 2009). در این میان، مدل‌های ارزیابی احتمالاتی از قبیل درخت واقعه^۹ (Hokstad et al, 2009) 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 گرچه نیازمند داده‌های محدود 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 اثرهای 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 است، چراکه تخمین صحیح هزینه و منافع پیامدها می‌تواند بسیار دشوار باشد.

از منظر دیگر، تحلیل ریسک به دو دسته تقسیم می‌شود (Ted, 2014): الف) روش جعبه سیاه^{۱۰}: در این روش، تحلیل را شخص باتجربه و مجرب انجام می‌دهد. وی براساس تجربه خود و آشنایی با پروژه، ریسک آن را تخمین می‌زند. بنابراین، تخمین ریسک، متکی بر تجربه کارشناسی است و محاسبات مشخصی ندارد

1. retrospective
2. prospective
3. hazard analysis and critical control points (HACCP)
4. Failure mode and effects analysis (FMEA)
5. Fault tree analysis (FTA)
6. Event tree analysis (ETA)
7. Black Box Methodology





(Tanaka, 2000)؛ ب) روش جعبه سفید^{۱۱}: در این روش‌ها برای هر پروژه، ریسک‌ها محاسبه می‌شوند (Wang & Du 2003; Li et al, 2006, 2007; Li & Huang, 2008; Cetinkaya et al, 2008; Simonovic, 2009; (Guo & Huang, 2010; Xu & Qin, 2010; Lv et al, 2012).

مفهوم ریسک ارتباط تنگاتنگی با مفهوم عدم قطعیت دارد. در این پژوهش، عدم قطعیت معادل عدم توانایی 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): ۱. عدم قطعیت طبیعی: مربوط به ماهیت تصادفی فرایندهای طبیعی و تغییرات زمانی و مکانی ذاتی این فرایندها. برای مثال، مقدار واقعی/دقیق شدت متوسط بارش در سطح یک حوضه به هیچ‌وجه 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 وابستگی (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 عدم دقت در اندازه‌گیری ناشی از ناکافی بودن اندازه‌گیری‌ها و خطاهای موجود 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، ...)، به منظور کمیت بخشیدن به عدم قطعیت‌ها نظر کارشناسان خبره تجزیه و تحلیل شده است؛ یعنی به متوسط و دامنه نظرهای کارشناسی توجه شده است. در واقع برای برآورد ریسک‌های تأمین آب مشهد، مسائل و چالش‌ها و فرصت‌های هر پروژه در جلسات بارش افکار جداگانه مورد کنکاش قرار گرفته؛ و برای این امر، به طور متوسط، برای هر پروژه شش ساعت به روش بارش افکار وقت صرف شده است.

۲.۱. مواد و روش‌ها

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

جدول ۱. شرح مختصری از گزینه‌های محتمل تأمین آب مشهد

عنوان گزینه	شرح/ وضعیت	حجم تأمین سالانه (mcm)	زمان احتمالی بهره‌برداری
۱ آب زیر زمینی	- برداشت از آبخوان محدوده مطالعاتی مشهد که در حال حاضر تحت تنش است. - نیازمند کاهش برداشت برای احیای آبخوان	۶۰۰	در حال بهره‌برداری
۲ سد دوستی	- دچار تنش در بهره‌برداری با افغان‌ها	۱۵۰	در حال بهره‌برداری
۳ جایگزینی پساب	- درصد زیادی از آب استفاده شده در مشهد هنوز جمع‌آوری/ تصفیه نمی‌شود. - پساب تصفیه شده در رودخانه‌ها رها شده (و جایگزین برداشت از آب زیرزمینی نگردیده است).	اکثرن ۳۴ درصد	در حال بهره‌برداری بدون تخصیص صحیح
۴ هزارمسجد	- استفاده از رودهای منطقه کلات و منابع سازندی - امکان افزایش تعارضات با ترکمنستان	۵۶۸	در آینده قابل توسعه تا ۷۰ درصد تا ۱۴۲۰ به تدریج افزایش می‌یابد. مصارف شهری (تابع توسعه شهری)
۵ دریای عمان	- انتقال با مسافت زیاد	۱۵۷ - ۲۲۰	۷ تا ۱۲ سال آبی 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

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

شکل ۲. چارچوب تحقیق



الف) چالش‌های تأمین آب مشهد مرتبط با هر گزینه، در جلسات بارش افکار^{۱۲} با حضور حداقل ۱۰ نفر از کارشناسان ارشد آب منطقه‌ای خراسان رضوی و در قالب ۱۴۴ نفر-ساعت کار جمعی، شناسایی گردید. برای شناسایی تمامی چالش‌های مرتبط با گزینه‌های تأمین آب مشهد، براساس مدل PEST-ICDF^{۱۳} جدول ۲ منطبق بر منشأ ریسک‌های متصور تنظیم شده است. سپس با توجه به اینکه «تأمین آب مشهد» هدف گزینه‌های یادشده است، همه چالش‌ها و فرصت‌ها از منظر داشتن آثار منفی و مثبت احتمالی بر روی هدف بررسی، و در صورت تأیید، ریسک تلقی شده است. منشأ بروز ریسک‌های «تأمین آب مشهد» عبارت‌اند از:

جدول ۲. منابع بروز عدم قطعیت بر اساس مدل PEST-ICDF

شرح	نوع ریسک
منظور مخاطراتی است که از این منشأ وقوع می‌یابند و موجب اختلال در تأمین آب مشهد می‌گردند. نوع رابطه با کشور(ها)یی که در مسیر انتقال آب قرار دارند، بر حجم/ قطع و وصل جریان آب به ایران تأثیر دارد. بنابراین، فقط گزینه‌های مرزی و برون‌مرزی در معرض این مخاطره‌اند. انواع روابط بین‌الملل عبارت‌اند از: «حسن‌هم‌جواری»، «همکاری» و «رقابت».	روابط بین‌الملل (International)
منظور مخاطراتی است که به دلیل عدم تأمین (به‌موقع/ کافی) منابع مالی وقوع یافته‌اند و موجب اختلال در تأمین آب مشهد می‌گردند. منشأ تأمین مالی، چه منابع بخش خصوصی و چه منابع عمومی باشد، تأخیر یا کاهش در تأمین منابع موردنیاز گزینه‌ها موجب اختلال در دستیابی به هدف خواهد شد.	مالی (Financial)
تغییر اقلیم می‌تواند منشأ مخاطراتی برای تأمین آب مشهد در بیشتر گزینه‌ها (به‌جز جایگزینی پساب و دریای عمان) باشد.	تغییر اقلیم (Climate change)
مسیر طولانی انتقال آب به‌خودی‌خود منشأ مخاطراتی ازجمله صعوبت ساخت، هزینه بالا، پیچیدگی عملیات بهره‌برداری و نگهداری و... است. همچنین امکان قطع جریان به دلیل فنی، طبیعی (زلزله و...) و انسانی در مسیر انتقال وجود دارد.	انتقال (Transfer)
تعارضات قومی و منطقه‌ای نیز می‌تواند منشأ مخاطرات و آثار منفی بر تأمین آب مشهد باشد.	اجتماعی (Social)
توسعه آبی در مبدأ تأمین آب و یا در مسیر انتقال آب می‌تواند در آینده موجب اختلال تأمین آب مشهد گردد.	توسعه بالادست (Development)
محدودیت‌ها و چالش‌های زیست‌محیطی در مبدأ و یا مسیر انتقال می‌تواند اجرای گزینه‌ها را با مشکلات جدی/ لاینحل روبرو کند و از این‌رو تأمین آب مشهد را با اختلال مواجه سازند.	زیست‌محیطی (Environmental)
رقابت سیاسی میان مراجع تصمیم‌گیری شهرستانی/ استانی/ ملی می‌تواند منجر به عدم هماهنگی میان ایشان و لذا آهسته یا متوقف شدن اجرای گزینه‌ها شود (استانداری‌ها، مدیران استانی و شهرستانی، نمایندگان مجلس و...).	سیاسی (Political)

9. brain storming

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



ب) مخاطرات و ریسک‌های هر گزینه از نتایج جلسات بارش افکار استخراج گردیده و براساس نتایج پرسشنامه، اولویت بروز هر کدام از مخاطرات ذیل هرگزینه مشخص شد. این اولویت بندی معیاری برای تعیین وزن مخاطرات شناسایی شده نیز خواهد بود (رک: جدول ۳). در این قسمت، پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، به‌منظور بررسی میزان اتفاق نظر خبرگان و، در صورت لزوم، حذف و یا نظرسنجی مجدد، ضریب همبستگی داخلی (ICC) 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 نظرهای خبرگان را 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 نظرها را نشان می‌دهد که در این حالت، در صورت لزوم، نظرسنجی مجدد انجام می‌شود (Bayazidi & Abbasi, 2012).

جدول ۳. مهم‌ترین ریسک گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد

انتقال سباب	انتقال آب از هزارمسجد	انتقال آب از عمان	انتقال آب از تاجیکستان
زیست‌محیطی	انتقال	مالی	روابط بین‌المللی
اجتماعی	تغییر اقلیم	انتقال	مالی
مالی	روابط بین‌المللی	اجتماعی	تغییر اقلیم
انتقال	مالی	سیاسی	انتقال
سیاسی	اجتماعی	زیست‌محیطی	اجتماعی
	زیست‌محیطی	توسعه بالادست (احتمال کاهش استحصال)	توسعه بالادست (احتمال کاهش استحصال)
	توسعه بالادست (احتمال کاهش استحصال)		زیست‌محیطی

پ) در این مرحله، ارزیابی ریسک (شدت و احتمال وقوع هر کدام از مخاطرات) براساس نظرهای کارشناسان انجام گرفته و نتایج در قالب مدل شبیه سازی ارائه شده است. سپس عدم قطعیت مخاطرات مبتنی بر ارزیابی دامنه تغییرات (انحراف معیار) نمایش داده شده است.
ت) معادله تبیین ریسک در شکل عمومی به صورت رابطه ۱ تا ۳ است:

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

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

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

در این مطالعه، مقادیر آسیب‌پذیری و در معرض بودن برابر یک فرض شده است. بنابراین، ریسک موردنظر صرفاً متناسب با مخاطرات است. یعنی $H = P \times S$ ریسکی است که از یک منشأ غیر از پروژه صادر و آثار منفی آن بر پروژه وارد می‌گردد. در ادامه، روش محاسبه ریسک شرح داده شده است.
د) با توجه به ریسک، قیمت و دبی تأمین‌شدنی، گزینه‌ها اولویت بندی می‌شوند. همچنین، به‌منظور 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.

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



در این معادله، R مربوط به ریسک فنی گزینه (برحسب ۰ تا ۱۰۰ درصد)، C هزینهٔ احداث پروژه (برحسب هزار میلیارد ریال)، Q میزان دبی ورودی ناشی از گزینهٔ 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 $1/7$ انتخاب شده است. در واقع، از آنجا که استحصال آب از خارج حوضه بوده است و پس از مصرف شهری 70% درصد آب برگشتی 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 $0/7$ برآورد گشته است. همچنین، جایگزینی پساب از دیدگاه مدیریت منابع آب نسبت به استفاده از آب زیرزمینی دارای مزیت $0/1$ فرض شده است. یادآوری می‌گردد، 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 گردد. تصفیهٔ فاضلاب می‌تواند باعث کاهش جریان خروجی حوضه گردد، و بر همین اساس، مزیت پساب برآورد گشته است.

۲.۲. 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 بدبینانه ترین حالت تا خوشبینانه ترین حالت در نظر گرفته شود. به عبارت دیگر، خود ریسک که ناشی از پدیده‌های متعدد تصادفی با دامنه‌های گسترده است، دارای دامنه‌ای از عدم قطعیت است. این عدم قطعیت با توجه به نظریات کارشناسان، با قبول اینکه امکان حذف هیچ یک 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 $1\% = \alpha$) قابل محاسبه است. در این پژوهش، عدم قطعیت ریسک با احتساب ۹۹ درصد از دامنهٔ احتمال و شدت (براساس نظریات کارشناسان)، شبیه سازی شده است.

۳. نتایج و بحث

در این قسمت، مطابق چارچوب مطالعه (رک: شکل ۲)، نتایج ارائه می‌شوند. ابتدا نتایج بررسی چالش‌ها/فرصت‌های گزینه‌ها و تعیین نوع ریسک، سپس نتایج ارزیابی ریسک و در انتها اولویت گزینه‌ها بررسی و عرضه می‌شود.

۳.۱. چالش‌ها و فرصت‌ها

با توجه به جدول ۱، گرچه استفاده از منابع آبی محدودهٔ 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 توسعهٔ منابع آب این منطقه در آینده باشد. از آنجا که 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 می‌گردد. در ادامه، مختصری دربارهٔ 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 هزارمسجد. این گزینه بدین لحاظ حائز اهمیت است که مانع خروج آب از کشور می‌شود. گرچه تاکنون طرح‌های زیادی برای جلوگیری از خروج آب در این مناطق پیشنهاد



شده است، 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 در حال بررسی است. این گزینه با توجه به طول خط، حجم عظیم سرمایه‌گذاری، زمان اجرا و... با چالش‌های زیادی روبرو است.

جایگزینی پساب. با کاهش امیدها به تأمین آب شرب مشهد از سد دوستی، و همچنین، اُفت بیش از حد سطح آب زیرزمینی دشت مشهد، گزینه «جایگزینی پساب تصفیه شده 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 است 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 بود. می‌توان با ایجاد خط انتقال به طول ۹۰۰ کیلومتر تا تاباد، ۱ میلیارد مترمکعب آب به کشور انتقال داد. گزینه دوم، احداث سد روی رودخانه مرغاب در افغانستان و انتقال آب از آن سد است که می‌توان سالانه ۶۰۰ میلیون متر مکعب آب به کشور انتقال داد. گزینه پیشنهادی سوم، به‌صورت تأمین و انتقال آب از طریق ترکمنستان و کانال قره‌قوم است. در جدول ۴ فهرستی از چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد به‌صورت خلاصه ذکر شده است.

جدول ۴. چالش‌ها/ فرصت‌های گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد

چالش / فرصت	عمان	تاجیکستان	پساب	هزارمسجد
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			*	
آسب‌پذیری 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 ایجادشده در منطقه (حمایت‌های سیاسی)	*			



*				تخصیص حداکثری از منابع آب زیرزمینی خروجی از مرز جهت بهینه کردن 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 هرامسجد (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، ...) + (تأخیر در ساخت)
*	*	*	*	عدم امکان مدیریت توسعه ناهمگون و افزایش انتظارات با ورود آب (به‌جای کنترل بحران، توسعه ادامه می‌یابد)
		*		عدم پذیرش پساب به لحاظ فرهنگی
		*		عدم ثبات در سیاست خارجی کشورهای حوضه مبدأ (عدم توافق در ساخت، عدم توان حفاظت در انتقال)
*		*		عدم نیاز 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، ...)
		*	*	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 عدم وجود 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
		*	*	ناامنی نسبی و عدم توسعه سریع در این کشورها (آهسته شدن آهنگ توسعه کشور مبدأ)
*	*	*	*	نامشخص بودن قیمت آب انتقالی
		*		نیاز به شانزده تصفیه‌خانه محلی
*	*		*	هزینه کمتر از گزینه‌های انتقال از بیرون حوضه
*	*		*	هم‌جواری با مشهد (کوتاهی مسیر انتقال)



		*	وجود برنامه‌های مختلف توسعه از جانب سازمان‌های بین‌المللی (پروژه داکار و...) و تسریع توسعه افغانستان
		*	وجود رودخانه‌های پر آب و یا آب نسبتاً فراوان
		*	وجود گروه‌های محیط زیستی بین‌المللی 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/ تنش‌های سیاسی

همان‌طور که گفته شد، براساس ده جلسه تشکیل شده، نظرهای خبرگان با بهره‌مندی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی - نظیر تکنیک دلفی و طوفان فکری - در قالب شش گروه از مجموعه کارشناسان آب منطقه‌ای (جمعا پانزده نفر) جمع‌آوری شد. گروه خبرگان شامل «اعضای هیئت مدیره»، «معاونان شرکت و مدیران مرتبط» بودند. پس از آنکه مهم‌ترین چالش/ فرصت‌های محتمل تأمین آب دشت مشهد به شرح جدول ۴ شناسایی و تعیین شد، آنگاه متناسب با هر دسته از چالش‌ها و فرصت، مخاطرات چهار گزینه محتمل، فهرست و اولویت‌بندی شد. در این مرحله، سعی شد موارد مشابه حذف یا ادغام گردد. در هر حال، همه مخاطرات شناسایی شده مربوط به چهار گزینه تأمین آب، به‌صورت گروه‌های پانزده‌گانه از ریسک به‌صورت ساختار شکست ریسک دسته‌بندی و به‌صورت پرسشنامه در اختیار خبرگان حاضر در جلسه قرار گرفت (رک: جدول ۵).

جدول ۵. معرفی پرسشنامه

مخاطره	مخاطرات	توضیح
H ₁	امکان بروز نا امنی در مبدأ	موارد زیادی نظیر نزدیکی به مرز و... می‌تواند موجب شکست سیستم تأمین آب مشهد شوند.
H ₂	امکان خرابکاری در مسیر انتقال یا در تأسیسات (تروریزم/ پدافند غیر عامل)	عواملی همچون نگهداری و بهره‌برداری و مواردی نظیر آن می‌تواند سیستم تأمین آب مشهد را دچار مشکل کنند.
H ₃	امکان بروز مخالف از طرف سازمان های غیردولتی زیست محیطی	طرفداران محیط زیست می‌توانند مانع انجام پروژه شوند.
H ₄	امکان عدم تأمین مالی حسب 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 بین الملل	منظور پشترانه‌های اقتصادی داخل افغانستان، دخالت سایر کشورها، توازن متقابل است.
H ₇	تغییرات اقلیمی (تغییر رژیم سیر دریا/ آمو دریا)	تغییرات اقلیم به احتمال زیاد منجر به کاهش تأمین آب مشهد می‌گردد و به‌طور خاص ممکن است تا پنجاه سال بعد یخچال‌های هیمالیا آب شود.
H ₈	افزایش تخصیص یا تعیین حقابه ثابت	افزایش حقابه، بدون توجه به رژیم طبیعی منبم آب، نواسانات آب‌وهوایی و سناریوهای توسعه
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 زیست محیطی یا آلودگی منابع آب	عبور از مناطق حفاظت‌شده و محدودیت‌های قانونی
H ₁₁	عدم پذیرش جایگزین پساب به دلیل فرهنگی	این گزینه ویژه پساب است.
H ₁₂	پیچیدگی مطالعه، طراحی، اجرا و بهره‌برداری از منابع کارست	این گزینه ویژه هزارمسجد 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	



این جدول به همراه پرسشنامه به اعضای حاضر در جلسه تحویل داده شد تا پاسخ دهندگان نسبت به پرسش ها از آگاهی کافی برخوردار گردند. روایی پرسشنامه نیز بررسی شد.

۲.۳. کنترل روایی پرسشنامه

پس از تجمیع پرسشنامه‌ها به منظور بررسی میزان توافق نظرهای خبرگان درباره هر مخاطره، با استفاده از نرم افزار SPSS، ضریب آلفای کرونباخ به ازای هر کدام از گزینه‌ها محاسبه شده است. ضریب آلفای کرونباخ به عنوان یکی از ضرایب روایی یا قابلیت اعتماد شناخته شده است. این ضریب از عمومی ترین ضرایبی است که پژوهشگران علوم اجتماعی برای سنجش روایی داده‌ها استفاده می کنند. آلفای کرونباخ به طور کلی با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می شود (Cronbach & Shavelson, 2004):

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

در این روابط k تعداد سوالات، S_i^2 کوارینانس سؤال i ام، σ^2 واریانس مجموع کلی سوالات است. نتایج مقدار آلفای کرونباخ برا هر کدام از گزینه‌ها بین ۰/۷ و ۰/۹ به دست آمد و لذا همبستگی و توافق مناسب بین نظرهای خبرگان را نشان می دهد. نتایج نظرسنجی براساس صحت پرسشنامه و همچنین داده های مورد استفاده برای هر گزینه در جدول ۶ آمده است.

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

جدول ۶. بررسی روایی پرسشنامه با آلفای کرونباخ

برای چهار گزینه تأمین آب مشهد

گزینه	هزارمسجد	پساب	تاجیکستان	عمان
مقدار آلفای کرونباخ	۰.۷۴	۰.۷۳۶	۰.۸۳	۰.۷۵

۳.۳. نتایج پرسشنامه

همان طور که ذکر شد، مرحله اول این تحقیق شامل شناسایی کیفی مخاطرات و تولید مجموعه ای از داده های کارشناسی (اطلاعات خام ذهنی) درمورد احتمال و اثر بروز مخاطرات بر گزینه های تأمین آب دشت مشهد است. در این مرحله، به صورت مستقیم از فاکتورهای در معرض قرارگیری و آسیب پذیری برای تعدیل اثر شدت و احتمال وقوع ناشی از هر مخاطره استفاده نشده است؛ زیرا خبرگان براساس یادگیری جمعی^{۱۴} خود از جلسات بارش افکار به صورت ذهنی به میزان در معرض قرارگیری و آسیب پذیری هر گزینه ناشی از مخاطرات، آگاهی نسبی می یابند (Pipattanapiwong, 2004). درواقع برای ارزیابی ریسک گزینه های تأمین آب مشهد، دو عامل احتمال^{۱۵} و شدت اثر^{۱۶} متاثر از دو فاکتور در معرض قرارگیری و آسیب پذیری می باشند (رک: جدول ۷). با این حال و به جهت اعمال دقیق تر دو

14. social learning

15. probability

16. severity



فاکتور مذکور از ضریب وزنی براساس دبی آب انتقال داده شده به مشهد و شکستی که به سیستم تأمین آب مشهد وارد می شود، در محاسبات لحاظ شده است. به عبارت دیگر، براساس میزان شدت اثر هر مخاطره بر شکست پروژه، مجموع درجات آسیب پذیری آن مخاطره نیز بین ۱ تا ۵ متغیر است. در واقع، آسیب پذیری اشاره به ناتوانی یک سیستم یا یک واحد در برابر اثرهای یک محیط خصمانه دارد (Turner, 2010). بنابراین، جهت محاسبه احتمال وقوع و شدت متوسط هر مخاطره، مجموع نظرهای خبرگان درباره احتمال وقوع و اثر هر کدام از مخاطرات بر تعداد نظرهای شرکت کنندگان تقسیم شده است و احتمال و شدت متوسط آن ها به دست آمده است. در پایان، برای محاسبه ریسک متوسط هر گزینه، از روش میانگین وزنی استفاده شده است. یعنی براساس درجه آسیب پذیری 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 آسیب پذیری تقسیم شده است. براساس سوابق تحقیق، هر گزینه ای که کمترین سطح ریسک را دارا باشد مناسب ترین گزینه جهت تأمین آب مشهد خواهد بود. از این رو، ریسک ناشی از گزینه تأمین آب از کوه های هزارمسجد کمترین مقدار متوسط ریسک ($R=6.94$) را دارد.

جدول ۷. ساختار شکست ریسک عمومی گزینه ها

وزن W	هزارمسجد			پساب			تاجیکستان			عمان			
	Rw	S	P	Rw	S	P	Rw	S	P	Rw	S	P	
5.00	۴۰.۰۰	۲.۰۰	۴.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۱۲۵.۰۰	۵.۰۰	۵.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	H1
2.00	۱۳.۵۰	۱.۵۰	۴.۵۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۶۴.۰۰	۴.۰۰	۸.۰۰	۲۵.۲۰	۳.۰۰	۴.۲۰	H2
3.50	۳۱.۵۰	۳.۰۰	۳.۰۰	۲۱.۰۰	۲.۰۰	۳.۰۰	۷.۰۰	۱.۰۰	۲.۰۰	۳.۵۰	۱.۰۰	۱.۰۰	H3
5.00	۵۶.۰۰	۲.۰۰	۵.۶۰	۶۱.۸۸	۲.۲۵	۵.۵۰	۲۰۰.۰۰	۵.۰۰	۸.۰۰	۱۴۶.۰۰	۴.۰۰	۷.۳۰	H4
3.50	۱۰.۵۰	۱.۰۰	۳.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۸۰.۵۰	۴.۰۰	۵.۷۵	۸۷.۵۰	۵.۰۰	۵.۰۰	H5
4.00	۱۲.۰۰	۲.۰۰	۱.۵۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۱۹۹.۲۰	۶.۰۰	۸.۳۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	H6
1.50	۴.۵۰	۱.۰۰	۳.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۹.۰۰	۲.۰۰	۳.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	H7
1.00	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۵.۰۰	۱.۰۰	۵.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	H8
5.00	۲۵.۰۰	۱.۰۰	۵.۰۰	۳۲.۵۰	۲.۰۰	۳.۲۵	۲۱۰.۰۰	۶.۰۰	۷.۰۰	۸۷.۵۰	۵.۰۰	۳.۵۰	H9
2.00	۲۰.۰۰	۲.۰۰	۵.۰۰	۱۸.۰۰	۲.۰۰	۴.۵۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	H10
1.00	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۲۴.۰۰	۳.۰۰	۸.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	H11
1.00	۳.۰۰	۰.۵۰	۶.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	H12
3.50	۳.۵۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۵۶.۰۰	۲.۰۰	۸.۰۰	۴۴.۶۳	۳.۷۵	۳.۴۰	H13
1.50	۳.۰۰	۱.۰۰	۲.۰۰	۱.۵۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۳۷.۵۰	۵.۰۰	۵.۰۰	۳۱.۵۰	۳.۰۰	۷.۰۰	H14
2.00	۵۰.۸۴	۴.۱۰	۶.۲۰	۲۰.۰۰	۲.۰۰	۵.۰۰	۹۸.۰۰	۷.۰۰	۷.۰۰	۶۶.۰۰	۵.۰۰	۶.۶۰	H15
41.50	273.34	۳۹.۵۰	183.88	۲۱.۰۰	1088.20	۳۸.۵۰	493.83	۲۸.۰۰					جمع
	۶.۹۲	\bar{R}	۸.۷۶	\bar{R}	۲۸.۲۶	\bar{R}	۱۷.۶۴	\bar{R}					ریسک متوسط

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 گزینه های تأمین آب مشهد، عدم قطعیت مخاطرات نیز از بدبینانه ترین تا خوشبینانه ترین حالت مدنظر قرار گرفته است. بنابراین،



در مدل تصمیم گیری، از رابطه Z استاندارد استفاده شده است؛ یعنی میانگین مقادیر ریسک هر مخاطره از مقدار مخاطرات نظرسنجی شده کم و بر انحراف معیار آن تقسیم می شود (رک: 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 $\sigma_{\bar{x}_i}$ انحراف معیار مربوط به آن گزینه است. با توجه به رابطه فوق با در نظر گرفتن فاصله امکان ۹۹٪ برای احتمال و شدت هر مخاطره حد بالا و پایین ریسک در جدول ۸ برای تمام گزینه‌ها محاسبه شده است.

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

حد پایین ریسک (درصد)	حد بالای ریسک (درصد)	انحراف معیار (درصد)	Z	ریسک متوسط (درصد)	گزینه انتقال آب
0.19	17.32	3.32	2.58	8.76	پساب
0	20.48	5.25	2.58	6.94	هزارمسجد
0	48.78	12.07	2.58	17.64	عمان
0	80.16	20.12	2.58	28.26	تاجیکستان

۳.۴. تعیین اولویت گزینه‌ها

نتایج شبیه سازی فضای امکان نشان می دهد، 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 هزارمسجد، کمترین مقدار متوسط ریسک را دارد؛ ولی باین حال و به لحاظ فضای محتمل بروز ریسک، پروژه انتقال پساب، فضای امکان کوچک تری نسبت به سایر گزینه‌ها دارد. 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 اولویت بندی گزینه‌های انتقال آب باید مدنظر قرار گیرند. یکی از این پارامترها هزینه تمام شده پروژه است (C). پروژه‌های که هزینه تمام شده کمتری نسبت به سایر گزینه‌ها داشته باشد، سهل الوصول تر خواهد بود و گزینه‌های که هزینه نهایی آن بالا باشد، در هنگام اجرا دچار چالش‌های فراوانی خواهد شد. پارامتر بعدی براساس حجم آبی است که پروژه به مشهد انتقال خواهد داد (Q)؛ هر چه 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 اولویت بندی گزینه‌ها استفاده کرد. در این باره، 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 است و پس از مصرف شهری ۷۰ درصد آب برگشتی تولید می کند، 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 مناسب ترین گزینه خواهد بود. در این باره جدول ۹ را ببینید.



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)	هزارمسجد (۶.۹۴)	پساب (۰.۰۲۳)
۲	هزارمسجد (۹.۷)	عمان (۰.۲)	انتقال پساب (۸.۷۶)	هزارمسجد (۰.۰۰۱۴)
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 (±)

۴. نتیجه

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، جهت ارزیابی ریسک، مفهوم ساده‌شده دیگری برای بیان ارتقای مفهوم ریسک عرضه شد. اولین روش استفاده‌شده برای ارزیابی ریسک بر مبنای محاسبه سطح متوسط ریسک است. در این روش، با نظرسنجی از خبرگان، سطح احتمال و شدت اثر مربوط به عدم قطعیت‌های هر گزینه استخراج شد. سپس، از مجموع نظرهای همه خبرگان، یک سطح ریسک متوسط برای هر گزینه به دست آمد. مطابق بررسی ماه، 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 داراست. گزینه انتقال آب از کوه‌های هزارمسجد هم به دلیل نحوه و فصل انتقال آب در ماه‌های سرد و هم به علت قرار داشتن در داخل کشور دارای احتمال $P=0/38$ و شدت $I=0/17$ خواهد بود که از نظر 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 هزارمسجد مناسب‌ترین گزینه خواهد بود. در روش دوم که جهت محاسبه ریسک مورد تأکید است، از بررسی فضای امکان بروز ریسک استفاده شده است. به عبارت دیگر، در روش دوم از خبرگان خواسته‌ایم که احتمال، شدت و آسیب پذیری هر گزینه در برابر عدم قطعیت‌های موجود را بیان کنند. از آنجا که تمام مخاطرات به صورت بالقوه امکان وقوع دارند، دامنه ریسک هر پروژه نیز مدنظر قرار گرفته است. یعنی دامنه امکان پذیر وقوع ریسک‌های تأمین آب مشهد، شامل بدبینانه‌ترین تا خوشبینانه‌ترین نظرهای کارشناسی است. باین 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 پایان، مجدداً چهار گزینه انتقال، براساس قیمت تمام‌شده، حجم آب انتقالی جهت تأمین آب، ریسک گزینه‌ها، ضریب بازچرخانی اولویت‌بندی شده است. سیاست‌گذاران براساس هر کدام از پارامترهای مزبور می‌توانند انتخاب معقولانه داشته باشند.

- قندهاری، ا. داوری، ک. عمرانیان خراسانی، ح. (۱۳۹۴). راهنمای چارچوب مدیریت ریسک. در: نخستین کنگره ملی آبیاری زهکشی ایران. دانشگاه فردوسی.
- نظری، ا. فرصتکار، ا. کیافر، ب. (۱۳۸۷). مدیریت ریسک در پروژه ها. تهران: معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی: مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات، ۸۷/۰۰/۱۰۹.
- 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.
- Chaves, P. & Kojiri, T. (2007). "Deriving reservoir operational strategies considering water quantity and quality objectives by stochastic fuzzy neural networks". *Adv. Water Resour.*, pp 1329–1341.
- Davison, A. et al. (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.* No 44 (2). pp 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. pp 459–475.
- Germain, D., Cohen, D., Frederick, J. (2008). "A Retrospective Look at the Water Resource Management Policies in Nassau County, Long Island", New York. Vol 44. (October). Issue 5, pp 1337–1346.
- Griffith, C., Obee, P., Cooper, R. (2005). The Clinical Application of Hazard Analysis Critical Control Points (HACCP). *American Journal of Infection Control.* 33, e39
- Hellier, K. (2000). Hazard analysis and Critical Control Points for water supplies . In: 63rd Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference Civic Centre. Warrnambool (6-7 September).
- Hokstad, P. et al. (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. et al. (2009). "Quantitative risk evaluation based on event tree analysis technique: Application to the design of shield TBM". *Tunnelling and Underground Space Technology.* 24. pp 269–277
- Jayarante A. (2008). "Application of a risk management system to improve drinking water safety". *Water Health.* 6(4). pp 547–557.
- Jairaj, P. G. & Vedula, S. (2000). "Multi-reservoir system optimization using fuzzy mathematical programming". *Water Resour. Manage.* Vol ?. No ? (?). 14. pp 457–472.
- Luyet, V. et al. (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 nder uncertainty".





- Eur. J. Oper. Res.* 167 (1). pp 208–225.
- Mays, L.W. and Tung, Y.K. 1992. *Hydrosystems engineering and management*. Singapore: McGraw-Hill. Book Co.
- 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.
- Pipattanapiwong, J. (2004). *Development of multi-party risk and uncertainty management process for an infrastructure project*. Doctoral dissertation. Japan :Kochi University of Technology.
- Tankana, H. Gue, p. 1999. “Theory and Methodology Portfolio selection based on upper and lower exponential possibility distributions”. *European Journal of Operational Research*. 114. pp 115-126
- Tankana, H. Gue, p. Turkesen, B. (2000). “Portfolio selection based on fuzzy probabilities and possibility distributions”. *Fuzzy Sets and Systems*. 111. pp 387-397
- Ted, S. (2014). *Environmental Risk Assessment: A Toxicological Approach*. CrC Press group. International Standard book Number 13-978-1-4665 - 9829- 4.
- Tran, L. D et al. (2011). “Optimizing competitive uses of water for irrigation and fisheries”. *Agric. Water Manage*. 101. pp 42–51.
- Turner B.L. (2010). “vullenrability and resilience: coalescing or paralleling approaches for sustainability science?”. *Global environrmental change*. 20. pp 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.
- 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.* . 53(4). pp 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>.