ارزیابی خطر کردن گزینه‌های تامین آب مشهد و تعیین اولویت آنها

احمد قندهاری[۱]، کامران داوری[۲*]، بیژن قهرمان[۳]

چکیده:

امروزه تامین نیازهای آبی برای مصارف مختلف در بسیاری از نقاط دنیا، و به ویژه ایران، از اساسی‌ترین چالش‌های پیش‌روی برنامه‌ریزان است. بر این اساس، تامین آب از نقاط مختلف، واجرای گزینه‌های گوناگون، از راهکارهای جاری جهت رفع این چالش در کنار مدیریت غیرسازه‌ای بوده، و میزان زیادی از اعتبارات و سرمایه های ملی را به خود اختصاص داده است. در این مقاله، به صورت موردی، به چالش‌ها و فرصت‌های طرح‌های تامین آب مشهد پرداخته شده، همچنین، روش منسجمی جهت ارزیابی خطر کردن ارائه شده است. به همین، منظور در بخش اول مقاله، بر اساس روش بارش افکار، عوامل مخاطره‌آمیز در گزینه‌های تامین آب مشهد بررسی، و متوسط خطر کردن هر کدام از گزینه‌ها محاسبه شده اند. در بخش دوم، بر اساس دامنه ی امکان بروز مخاطرات خطر کردن تمام گزینه‌ها محاسبه شده اند. نتایج نشان دادند، گرچه کمترین مقدار مبه وسیله ی خطر کردن مربوط به گزینه ی انتقال آب از هزار مسجد می‌باشد، اما از دیدِ کارشناسان، که گزینه ی انتقال پساب از غرب مشهد است، دامنه امکان بروز خطر کردن کمتری را نسبت به سایر گزینه‌ها دارا است. در واقع، این نتایج نشان می‌دهند، که استفاده از دامنه ی امکان خطر کردن برای اولویت‌بندی گزینه‌ها (اتخاذ تصمیمات مدیریتی) می‌تواند بسیار مفید باشد. همچنین، گزینه‌های مختلف بر اساس پارامتر قیمت تمام شده پروژه، حجم انتقال آب هر پروژه، خطر کردن و ضریب بازچرخانی آب مجددا اولویت‌بندی شده‌اند.

واژه های کلیدی: دشت مشهد، خطر کردن، عدم قطعیت، تامین آب

[۱] دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۲] دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
Email: k.davary@gmail.com
[۳] دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

مقدمه:

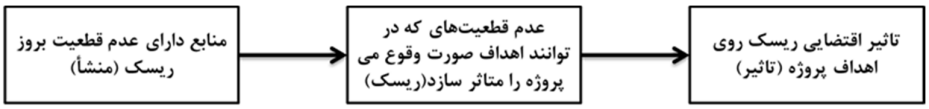
در عمده مناطق دنیا در سال‌های اخیر «پایداری منابع آب» همزمان با رشد سریع تقاضاهای ناهمگون، کاهش عرضه ی آب و مدیریت ضعیف منابع و تخصیص آب دچار چالش اساسی شده است (WEF, 2015). باتوجه به این که پایداری سامانه های منابع آب، تابع عوامل مختلف اقتصادی- زیست‌محیطی- اجتماعی است، لذا، در ارزیابی گزینه‌های تامین آب بررسی اثرات متقابل پارامترهای مختلف، از عوامل فوق و خطر کردن‌های ناشی از آنها ضروری است. بسیاری از پارامترها و ارتباط بین آنها در سامانه های مدیریت آب، به علت خطا در داده‌برداری، ناکافی بودن اطلاعات، پیچیدگی سامانه های آبی و غیره، همراه با عدم قطعیت بالا و خطر کردن فراوان می‌باشد (McIntyre و همکاران Maqsood2005 و همکاران2003). همچنین، در مدیریت سامانه های منابع آب، دیدگاه‌ها و نگرش‌های متفاوت افراد، و در نتیجه بروز عدم قطعیت‌های رفتاری افراد مختلف، تصمیم‌گیری را پیچیده نموده، چه، افراد گوناگون دارای منافع و خواسته‌های متعدد بوده، و از دیدگاه ایشان اهمیت موضوعات مختلف مدیریت آب متفاوت است (Luyetو همکاران۲۰۱۲). در واقع، به دلیل وجود چنین پیچیدگی‌هایی است که موضوع مدیریت خطر کردن در این گونه مسائل بروز می‌نمایند. گزینه‌های تامین آب، به علت حساسیت‌های ویژه ی اجتماعی، فنی و بین-المللی (به ویژه در نواحی مرزی) از پیچیدگی بالایی برخوردار بوده، و لذا آینده ی مبهمی را در پیش رو دارند. در چنین شرایطی، بررسی گزینه‌های تامین آب و انتخاب گزینه(های) برتر، باید با توجه کامل به عدم قطعیت‌ها و توام با ارزیابی خطر کردن آنها باشد. در حقیقت، بدون توجه به خطر کردن، ممکن است گزینه‌هایی که جذاب به نظر می‌رسند انتخاب گردند، در حالی که حامل خطر کردن‌های نهفته بالایی هستند. همچنین، عدم قطعیت منجر به تشدید خطر کردن‌های گزینه‌های تامین آب می-شود و از این روی نیازمند توجهی ویژه می‌باشد.

تاکنون، بیشتر مطالعات در محدوده ی مسائل مربوط به خطر کردن، 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/ باسابقه جمع‌آوری و تحلیل گردیده، و سطح اعتماد هر طرح تامین آب با توجه به مبه وسیله ی نظرات ایشان محاسبه شده است. همچنین، تلاش شده است تا خطر کردن‌های گزینه‌های تامین آب از جنبه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد.

انگاره ارزیابی خطر کردن:

همواره وجود عدم قطعیت‌های مختلف باعث بروز حوادث ناگواری می‌گردد، که پیش‌بینی و جلوگیری از وقوع این حوادث بر عهده ی مدیران می‌باشد. برای درک وقوع این حوادث، در درجه ی اول، مدیران باید عوامل بالقوه بروز مخاطرات را درک نمایند. هنگامی که مخاطرات با سطح بالایی از خطر کردن شناسایی شدند، لازم است که برنامه‌های مدیریت خطر کردن 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 خطر کردن‌ها می‌باشد. درصورتی‌که ریسک‌ها به درستی شناسایی و ارزیابی نشوند، اعتبار فرایند مدیریت ریسک خدشه‌دار خواهد شد،چه، در حقیقت براورد واقعی از خطر کردن‌های پروژه نداشته و لذا نخواهد توانست آنها را مدیریت کند. ازاین‌رو، لازم است تا در فرایند شناسایی ریسک‌ها به نحوی اقدام شود که آنچه واقعاً ریسک نیست، خطر کردن فرض نشود و بالعکس. در واقع، رایج‌ترین اشتباه در شناسایی ریسک، ناتوانی در تمایز بین منشأ ریسک، ریسک واقعی و تأثیر آن است. منشأ بروز خطر کردن، اتفاق‌های قطعی یا مجموعه‌ای از شرایطی به شمار می روند 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 پیش‌بینی‌نشده در اهداف پروژه هستند که به‌صورت مثبت یا منفی درنتیجه وقوع ریسک بروز خواهند کرد. ارتباط بین منشأ، ریسک و تأثیر در شکل (۱) نشان داده‌شده است(نظری و همکاران،۱۳۸۷).

همچنین، بایستی اندازه ی خطر کردن با دقت کافی براورد شود تا ارزیابی آن به درستی صورت گیرد، در غیر این صورت، این خطر وجود دارد که خطر کردن‌های واقعی پنهان مانده و یا کوچک انگاشته شوند. به‌عنوان مثال، وقایع قطعی (با عدم قطعیت ناچیز) و یا وقایعی که اهداف پروژه را متأثر نمی‌کنند، نباید به عنوان خطر کردن در



شکل۱- تفکیک بین منشا خطر کردن، خطر کردن و تاثیر آن

نظر گرفته شوند. عموماً، بر اساس مطالعات گذشته ، روش-های تحلیل و ارزیابی خطر کردن را می‌توان بر اساس دو نگرش تقسیم‌بندی کرد: الف) روش‌های گذشته‌نگر و آینده‌نگر، ب) (retrospective روش‌های تحلیل جعبه سفید و جعبه سیاه. روش‌های گذشته‌نگر به دنبال کشف ریشه ی حوادث ناهنجار و متضاد در گذشته می‌باشند. هدف اصلی در این روش مشخص کردن علت وقوع حواث ناخوشایندند. در این روش مقصر و یا مسئول حوادث ناخوشایند معلوم می‌گردد، و لذا از تکرار این گونه اتفاقات جلوگیری کند USGS,2000 ()). مدل «تحلیلی ریشه‌یابی علّی» (root cause analysis) که کاربرد آن برای محیط-های پیچیده توصیه می‌گردد، از این دست می‌باشد. رویکرد اساسی در این مدل شناسایی سلسله وقایعی 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 نموده، و لذا از توجه به دیگر نمایشنامه های محتمل، غفلت می‌شود. همچنین، مدل وهمکاران،۲۰۰۸)مزبور راههای کاهش خطر کردن را نشان نمی‌دهد (Germain). روش‌های آینده‌نگر(prospective) برای ارزیابی و تحلیل خطر کردن از روش‌های گذشته‌نگر مفیدترند. از جمله مدل‌های آینده-نگر می‌توان به ۱- مدل تحلیل مخاطرات و نقاط مهار کردن بحرانی (HACCP[۴] و همکاران، ۲۰۰۵؛ (Griffith و همکاران، ۲۰۰۵ ؛Davison،۲۰۱۰؛ Scrimshaw و Dominguez-Chicas؛ و همکاران، ۲۰۰۶ ؛Yokoi، Jayarante۲۰۰۸)؛ ۲- مدل شکست و تحلیل اثر(FMEA[۵]،۲۰۱۰)(Scrimsha و Dominguez- Chicas و همکاران،۲۰۱۰؛Hamilton 2006)؛ و ۳- مدل تحلیل درخت خطا (FTA[۶]و همکاران،۲۰۰۹) (Hong اشاره نمود. در این میان((مدل‌های ارزیابی احتمالاتی از قبیل درخت واقعه (ETA[۷] و همکاران،۲۰۰۹) (Hokstad) نیز می‌توانند به عنوان ابزار کمکی برای(براورد بدترین احتمالات شکست مورد استفاده قرار گیرند. در این روش‌ها، عموماً تمرکز بر عوامل ذهنی و انتزاعی کارشناسان است. روش آینده‌نگر، گرچه نیازمند داده‌های معدودی است، اما جمع-آوری این داده‌ها (یا استخراج آنها از ذهن کارشناسان) بسیار دشوار و وقت‌گیر است. مزیت این روش‌ها افزایش درک اعضای گروه کارشناسی نسبت وقوع انواع نمایشنامه های محتمل و ارزیابی نسبتاً جامع اثرات اصلی و جانبی هر نمایشنامه قبل از اتخاذ تصمیمات می‌باشد. نگرانی اصلی در مورد استفاده از روش‌های آینده‌نگر، دخالت نظر کارشناسی در نحوه ی کمّی کردن خطر کردن‌ها و عواقب آن است، چه، تخمین صحیح هزینه و منافع پیامدها می-تواند بسیار دشوار باشد.

از منظر دیگر تحلیل ریسک به دو دسته تقسیم می-شود (Ted،۲۰۱۴): الف) روش جعبه ی سیاه (black box methodology): در این روش، تحلیل به وسیله ی شخص آزموده انجام می‌شود. وی براساس تجربه ی خود و آشنایی با پروژه، ریسک آن را تخمین می‌زند؛بنابراین، تخمین خطر کردن، متکی بر تجربه ی کارشناسی بوده و محاسبات مشخصی ندارد (Tanaka و همکاران،۲۰۰۰). ب) روش جعبه ی سفید (white box methodology): در این روش 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 خطر کردن ارتباط تنگاتنگی با مفهوم عدم قطعیت دارد. در این پژوهش، عدم قطعیت معادل عدم توانایی در برآورد دقیق کمیت‌ها (فراسنج ها و متغییرهای سامانه) در نظر گرفته شده است. پنج منشأ برای عدم قطعیت‌ها در پروژه‌های مهندسی آب شناسایی شده‌اند (Mays وTung، ۱۹۹۲): ۱- عدم قطعیت طبیعی: مربوط به ماهیت تصادفی فرآیندهای طبیعی و تغییرات زمانی و مکانی ذاتی این فرآیندها. برای مثال مقدار واقعی/ دقیق شدت مبه وسیله ی بارش در سطح یک حوضه به هیچ

[4] hazard analysis and critical control points
[5] failu re mode and effects analysis
[6] fault tree analysis
[7] event tree analysis

وجه قابل پیش‌بینی و اندازه‌گیری نیست؛ ۲- عدم قطعیت طراحی: ضعف مدل در شبیه‌سازی یا طراحی دقیق یک فرآیند فیزیکی در طرح‌ها و پروژه‌های مهندسی آب؛ ۳- عدم قطعیت فراسنج ها: به دلیل واریانس (تغییرپذیری مکانی یا زمانی) بالا و محدودیت مالی و زمانی در اندازه-گیری آنها، فراسنج های سامانه معمولاً دارای عدم قطعیت می باشند؛ ۴- عدم قطعیت داده‌ها: یعنی عدم دقت در اندازه‌گیری ناشی از ناکافی بودن اندازه‌گیری‌ها و خطاهای به وجود آمده در حین مرتب کردن و انتقال داده‌ها؛ و ۵- عدم قطعیت بهره‌برداری: که در نتیجه فرسودگی (تغییرات در زمان)، انحراف آینده ی وقوع یافته از پیش‌بینی شده (جمعیت برآورد شده، تغییر اقلیم، ...).

به منظور کمیت بخشیدن به عدم‌قطعیت‌ها نظرات کارشناسان خبره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است؛ یعنی مبه وسیله ی و دامنه ی نظرات کارشناسی در نظر گرفته شده است. در واقع، برای براورد خطر کردن‌های تامین آب مشهد، مسائل و چالش‌ها و فرصت‌های هر پروژه در جلسات بارش افکار جداگانه ی مورد کنکاش قرار گرفته؛ و برای این امر به طور مبه وسیله ی برای هر پروژه ۶ ساعت با کاربرد روش بارش افکار وقت صرف شده است.

مواد وروش‌ها:

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

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

جدول ۱- شرح مختصری از گزینه‌های محتمل تامین آب مشهد

	عنوان گزینه	شرح / وضعیت	حجم تأمین سالانه (mcm)	زمان احتمالی بهره‌برداری
۱	آب زیر زمینی	• برداشت از آبخوان محدوده ی مطالعاتی مشهد که در حال حاضر تحت تنش است • نیازمند کاهش برداشت برای احیاء 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 رودخانه رها شده (و جایگزین برداشت از آب زیرزمینی نگردیده است)	اکنون 34 درصد	در حال بهره‌برداری بدون تخصیص صحیح
			در آینده قابل توسعه تا ۷۰٪ مصارف شهری (تابع توسعه شهری)	تا ۱۴۲۰به تدریج افزایش می‌یابد
۴	هزار مسجد	• استفاده از رودهای منطقه کلات و منابع سازندی • امکان افزایش تعارضات با ترکمنستان	56/8	۷ تا ۱۲ سال آتی
۵	دریای عمان	انتقال با مسافت زیاد	۱۵۷ – ۲۲۰	تقریبا ۱۴۳۰
۶	تاجیکستان (مسیرهای مختلف)	کاهش قدرت سیاسی ایران در منطقه به لحاظ وابستگی شدید به آب‌های خارج از مرز	۱۰۰۰	۱۴۱۰ تا ۱۴۳۰

شکل۲- چارچوب تحقیق

الف) چالش‌های تامین 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 گردید. برای شناسایی تمامی چالش‌های مرتبط با گزینه‌های تامین آب مشهد، بر اساس مدل PEST-ICDF

[1] جدول (۲) منطبق بر منشاء خطر کردن‌های متصور تنظیم شده است. سپس با توجه به اینکه «تأمین آب مشهد» هدف گزینه‌های فوق‌الذکر است، کلیه ی چالش‌ها و فرصت‌ها از منظر داشتن اثرات منفی و مثبت احتمالی درباره ی هدف مورد بررسی قرار گرفته، و در صورت تأیید، خطر کردن تلقی شده است. منشاء بروز خطر کردن‌های «تأمین آب مشهد» عبارتند از:

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

نوع خطر کردن	شرح
روابط بین‌الملل (international)	منظور مخاطراتی است که از این منشأ وقوع یافته و موجب اختلال در تأمین آب مشهد می‌گردند. نوع رابطه با کشوری(هایی) که در مسیر انتقال آب قرار دارند، بر حجم/ قطع و وصل جریان آب به ایران تاثیر دارد. بنابراین فقط گزینه‌های مرزی و برون‌مرزی در معرض این مخاطره می‌باشند. انواع روابط بین‌الملل عبارتند از: «حسن همجواری»، «همکاری» و «رقابت».
مالی (financial)	منظور مخاطراتی می باشند که به دلیل عدم تامین (به موقع/ کافی) منابع مالی وقوع یافته و موجب اختلال در تامین آب مشهد می‌گردند. منشاء تأمین مالی،چه منابع بخش خصوصی، و چه منابع عمومی باشد؛ تأخیر یا کاهش در تأمین منابع مورد نیاز گزینه‌ها موجب اخلال در دستیابی به هدف خواهد شد.
تغییر اقلیم (climate change)	تغییر اقلیم می‌تواند منشا ی مخاطراتی برای تامین آب مشهد در بیشتر گزینه‌ها (به جز جایگزینی پساب و دریای عمان) باشد.
انتقال (transfer)	مسیر طولانی انتقال آب به خودی خود منشا مخاطراتی از جمله صعوبت ساخت، هزینه‌ی بالا، پیچیدگی عملیات بهره-برداری و نگهداری و ... می‌باشد. 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 تامین آب مشهد باشند.
توسعه بالادست (development)	توسعه ی آتی در مبدای تامین و یا در مسیر انتقال آب می‌تواند در آینده موجبات اختلال تامین آب مشهد گردد.
زیست محیطی (environmental)	محدودیت‌ها و چالش‌های زیست محیطی در مبدا و یا مسیر انتقال می‌توانند اجرای گزینه‌ها را با مشکلات جدی/ لاینحل روبه‌رو نمایند و از این رو تامین آب مشهد را با اختلال مواجه سازند.
سیاسی (political)	رقابت سیاسی میان مراجع مختلف تصمیم‌گیری شهرستانی/ استانی/ ملی می‌تواند منجر به عدم هماهنگی میان ایشان، و لذا کند یا متوقف شدن اجرای گزینه‌ها می‌شود. (استانداری‌ها، مدیران استانی و شهرستانی، نمایندگان مجلس و ...)

ب) مخاطرات و خطر کردن‌های هر گزینه از نتایج جلسات بارش افکار استخراج گردیده و بر اساس 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(جدول۳). در این قسمت پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها به منظور بررسی میزان اتفاق نظر خبرگان، و در صورت لزوم حذف و یا نظر سنجی مجدد، ضریب همبستگی داخلی (ICC) محاسبه شده است. با توجه به اینکه مقادیر آلفای کرونباخ از نظرسنجی به‌دست 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 مبه وسیله ی ، و اگر کمتر از ۰/۵باشد همبستگی و توافق ضعیف نظرات را نشان می‌دهد که در این حالت و در صورت لزوم، نظر سنجی مجدد انجام می‌شود(Bayazidi و همکاران،۲۰۱۲).

پ) در این مرحله ارزیابی خطر کردن (شدت و احتمال وقوع هر کدام از مخاطرات) بر اساس نظرات کارشناسان انجام گرفته و نتایج در قالب نرم افزار شبیه‌سازی ارائه گردیده است. سپس عدم قطعیت مخاطرات مبتنی بر ارزیابی دامنه تغییرات (انحراف معیار) نمایش داده شده است.

ت) معادله ی تبیین خطر کردن در شکل عمومی به شرح (۱ تا ۳) است:

[1] political- environmental- social- transfer- international- financial- climate change- development

{ خطر کردن = مخاطره[۴] * در معرض بودن[۳] آسیب‌پذیری[۲] $\Rightarrow R = H \times E \times V$ } (۱)

مخاطره = احتمال * شدت $\Rightarrow H = f(Probability, Severity)$ (۲)

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

جدول ۳- مهمترین خطر کردن گزینه‌های تامین آب دشت مشهد

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

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

د) با توجه به خطر کردن، قیمت و بده تامین شدنی؛ گزینه‌ها اولویت‌بندی می‌شوند. همچنین به منظور فراهم آوردن امکان مقایسه کلی گزینه‌ها از یک شاخص ترکیبی (رابطه ی۴) به شرح زیر استفاده گردیده است. در این شاخص عوامل مطلوب در صورت کسر و عوامل نامطلوب در مخرج کسر قرار داده شده‌اند:

$$\left(\frac{Q \times \omega}{C \times R}\right) \qquad (۴)$$

در این معادله R مربوط به خطر کردن فنی گزینه (بر حسب۰ تا ۱۰۰٪)، C هزینه ی احداث پروژه (بر حسب هزار میلیارد ریال)، Q میزان بده ورودی ناشی از گزینه تامین آب به مشهد (بر حسب میلیارد متر مکعب) است و ضریب امگا (ω) مربوط به میزان بازچرخانی آب در حوضه است. این ضریب برای آب وارداتی به حوضه برابر با 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 مزبور از جمع (۱ + ۰/۷) بدست آمده است. برای آب استحصال شده از منابع زیرزمینی، با توجه به میزان آب برگشتی، این ضریب معادل ۰/۷ براورد گشته است. همچنین، جایگزینی پساب از دیدگاه مدیریت منابع آب نسبت به استفاده از آب زیرزمینی دارای مزیت ۰/۱ فرض شده است. یادآوری می‌گردد که برگشت مصارف خانگی از طریق چاه جذبی به منابع آب زیرزمینی منجر به رشد آلودگی این منابع می‌شود. در این صورت برای مهار کردن آلودگی‌ها لازم است که مقداری آب آلوده از انتهای حوضه تخلیه گردد. تصفیه فاضلاب نیز می‌تواند باعث کاهش جریان خروجی حوضه گردد، و بر همین اساس مزیت پساب برآورد گشته است.

ارزیابی خطر کردن

در مطالعات رایج معمولا خطر کردن به صورت یک عدد نمایش داده می‌شود؛ اما آنچه مسلم است در مورد خطر

[2] vulnerability
[3] exposure
[4] hazard

کردن باید تمام حالات از ببده نانه‌ترین حالت تا خوش بینانه‌ترین آن در نظر گرفته شود. به عبارت دیگر، خود خطر کردن که ناشی از پدیده‌های متعدد تصادفی با دامنه‌های گسترده‌ای می‌باشد، دارای دامنه‌ای از عدم قطعیت است. این عدم قطعیت با توجه به نظرات کارشناسان، با قبول اینکه امکان حذف هیچ یک از نظرات وجود ندارد، به دست می‌آید. مقادیر مبه وسیله ی احتمال و شدت هر مخاطره برای هر گزینه برابر با میانگین مقادیر کسب شده از کارشناسان می‌باشد. همچنین، عدم قطعیت-های 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 خطر کردن با احتساب ۹۹ درصد از دامنه احتمال و شدت (بر اساس نظرات کارشناسان)، شبیه‌سازی شده است.

نتایج و بحث:

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

چالش‌ها و فرصت‌ها

با توجه به جدول (۱)، گرچه استفاده از منابع آبی محدوده ی 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 ی منابع آب این منطقه در آینده باشد. از آنجا که این مطالعه به دنبال تعیین اولویت گزینه‌های نو و محتمل (برای سرمایه گذاری) است، بنابراین سد دوستی (که قبلا سرمایه‌گذاری آن انجام یافته) از فهرست موارد مقایسه حذف می‌گردد. در ادامه، مختصری درباره ی گزینه‌های تامین 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. گرچه 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 ی اجرا نرسیده‌اند؛ بنابراین، با اطمینان مناسبی می‌توان گفت که تنها راه جلوگیری از خروج آب از کشور و استفاده بهینه از منابع آب رودهای مورد مطالعه، پس از تامین نیازهای حوضه‌های مبداء (کمبود آب تابستانه)، انتقال آب به حوضه ی مشهد می‌باشد.

- **انتقال آب از دریای عمان**

انتقال آب از دریای عمان در حال حاضر به عنوان 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 است.

- **جایگزینی پساب**

با کاهش امیدها به تأمین آب شرب مشهد از سد دوستی، و همچنین افت بیش از حد سطح آب زیر زمینی دشت مشهد، گزینه ی"جایگزینی پساب تصفیه شده با آب کشاورزی برای تامین آب شرب شهر مشهد" پر رنگ‌تر شده است.

- **تاجیکستان**

گزینه ی انتقال آب از خارج کشور از گزینه‌های جدی در دست مطالعه ی وزارت نیرو می‌باشد که شامل کشورهای افغانستان، ترکمنستان و تاجیکستان می‌باشد.گزینه ی اول، تامین آب از رود پنج در مرز تاجیکستان و افغانستان و انتقال آب از طریق افغانستان بوده، می‌توان با ایجاد خط انتقال به طول۹۰۰ کیلومتر تا تایباد، یک میلیارد مترمکعب آب را به کشور انتقال داد. گزینه ی دوم، احداث سد روی رودخانه ی مرغاب در افغانستان و انتقال آب از آن سد که می‌توان سالانه ۶۰۰ میلیون مترمکعب آب به کشور انتقال داد. گزینه ی پیشنهادی سوم، به صورت تامین و انتقال آب از طریق ترکمنستان و نهر قره‌قوم می-باشد. در جدول (۴) فهرستی از چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌روی گزینه‌های تامین آب دشت مشهد به صورت خلاصه ذکر شده است.

همان طور که گفته شد، بر اساس۱۰ 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) جمع آوری شد. گروه خبرگان شامل: «اعضای هیئت مدیره»، «معاونان شرکت و مدیران مرتبط» بودند. پس از

جدول ۴- چالش‌ها/ فرصت‌های گزینه‌های تامین آب دشت مشهد

چالش/ فرصت	عمان	تاجیکستان	پساب	هزار مسجد
تاسیسات 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 ی مستقیم پساب به آبخوان			*	
استفاده چند منظوره از تونل (راه و ترابری درگز- قوچان، انتقال آب، ...)				*
افزایش خطر کردن امنیتی پروژه با افزایش طول و ارزش پروژه و تقسیم پروژه (بده ی 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 ی مراودات سیاسی و اقتصادی با کشورهای مسیر		*		
ایجاد فضای بی‌اعتمادی به آب منطقه‌ای به دلیل ایجاد درآمد از پساب			*	
آسیب‌پذیری تاسیسات از منظر پدافند غیرعامل	*	*		*
بازچرخانی پساب و استفاده از نیمرخ خاک برای تصفیه ی اولیه ی پساب			*	
بالا بردن امنیت مناطق مرزی با حفظ مراکز جمعیتی	*	*		*
بالا بودن هزینه‌های انتقال و نگهداری نسبت به حجم تأمین آب	*		*	*
بروز مشکلات اجتماعی	*	*	*	*
تاسیسات آبی ایجاد شده در منطقه (حمایت‌های سیاسی)	*			
تخصیص حداکثری از منابع آب زیرزمینی خروجی از مرز جهت بهینه نمودن استفاده از منابع آب سطحی				*
تروریسم	*	*		*
تغییر اقلیم بر آبدهی رودها		*		*
تقویت آبخوان دشت(استفاده از توان سامانه بازچرخانی آب در مشهد)	*	*		*
تهدید تمرکز جمعیتی در مسیر انتقال آب	*	*		*
تهدید طبیعی (مانند سونامی) آب شیرین‌کن ها با توجه به کنار دریا بودن	*			
جنگ داخلی و ناامنی نسبی در حوضه‌های مبداء		*		
درخواست و اعمال فشار برای تغییر مسیر پروژه	*			*
رقابت بین استانها و مدیریت بهره برداری بین استانی و احتمال سیر نزولی تامین آب باتوجه به افزایش نیازها در مسیر انتقال	*			
خطر کردن زیست محیطی بین المللی (شوری دریا)	*			
احتمال عدم تامین 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 ی شمالی هزارمسجد (شرایط ویژه ی توسعه ی گردشگری طبیعت و ایجاد فرصت سرمایه‌گذاری برای پروژه‌های آبی)				*
صعوبت استحصال آب از سازندهای کارستی به دلیل پیچیدگی‌های زمین‌شناسی سازند سخت و نحوه ی استحصال آب				*

طول زیاد خط و تعداد ایستگاه‌ها و خطر کردن خرابی (فنی، زلزله، ...) + (تأخیر در ساخت)	*	*		
نبودن امکان مدیریت توسعه‌ی ناهمگون و ا افزایش انتظارات با ورود آب (به جای مهار کردن بحران، توسعه ادامه می‌یابد)	*	*	*	*
نبودن پذیرش پساب به لحاظ فرهنگی			*	
نبودن ثبات در سیاست خارجی کشورهای حوضه مبدا (نبودن توافق در ساخت، نبودن توان حفاظت در انتقال)		*		
نبودن نیاز به شیرین سازی (کاهش هزینه‌های جاری و کاهش احتمال مقابله گروه‌های محیط‌زیستی)		*		*
فرصت و مزیت داخلی بودن این آب و نبودن معارض (عدم وابستگی به سایر کشورها به لحاظ تامین آب)	*		*	
فرصت چانه زنی با سایر تأمین کنندگان احتمالی آب (ترکمنستان، افغانستان، ...)	*			
قابلیت تامین آب شهرهای مسیر خط انتقال و جلب مشارکت آنها (توجیه‌پذیری 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 نبودن شرایط توسعه سریع در حوضه‌های مبداء		*		
کمبود انرژی برق و گاز و ... در حوضه‌های مبداء: مبادله آب و انرزی		*		
مرزی بودن رودخانه‌های منطقه و التزام به سرعت بخشیدن طرح‌های جلوگیری از خروج آب از کشور در مهلت معین				*
مطالعات دشوار در مرحله شناسایی و نبودن قطعیت‌های فراوان مطالعات				*
ناامنی نسبی و نبودن توسعه سریع در این کشورها (کند شدن آهنگ توسعه کشور مبداء)		*		
نامشخص بودن قیمت آب انتقالی	*	*	*	*
نیاز به ۱۶ تصفیه خانه محلی			*	
هزینه کمتر از گزینه‌های انتقال از بیرون حوضه			*	*
همجواری با مشهد (کوتاهی مسیر انتقال)			*	*
وجود برنامه‌های مختلف توسعه به وسیله ی سازمان‌های بین‌المللی (پروژه داکار و ...) و تسریع توسعه افغانستان		*		
وجود رودهای پر آب و یا آب نسبتاً فراوان		*		
وجود گروه‌های محیط زیستی بین اللملی جهت توقف پروژه		*		
وجود مسائل اجتماعی در مسیر برای انتقال آب	*			*
وجود مناطق حفاظت شده در مسیر انتقال	*			*
ورود نمایندگان مجلس به موضوع و اوج‌گیری اختلافات/ تنش‌های سیاسی	*			*

آنکه مهمترین چالش/ فرصت‌های محتمل تامین آب دشت مشهد به شرح جدول (۴) شناسایی و تعیین شدند، آن گاه متناسب با هر دسته از چالش‌ها و فرصت، مخاطرات چهار گزینه ی محتمل، فهرست و اولویت بندی شدند. در این مرحله سعی گردید تا موارد مشابه حذف یا ادغام گردند. در هر حال، کلیه ی مخاطرات شناسایی شده مربوط به چهار گزینه ی تامین آب، به صورت گروه‌های پانزده‌گانه از خطر کردن به صورت ساختار شکست ریسک دسته‌بندی و به صورت پرسشنامه زیر در اختیار خبرگان حاضر در جلسه 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. با این حال روایی پرسشنامه مورد بررسی قرار گرفته است.

مهار کردن روایی پرسشنامه

پس از تجمیع پرسشنامه‌ها به منظور بررسی میزان توافق نظرات خبرگان در رابطه با 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 عمومی‌ترین ضرایبی است که به وسیله ی پژوهشگران علوم اجتماعی برای سنجش روایی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. آلفای کرونباخ به طورکلی با استفاده از رابطه ی (۵) محاسبه می‌شود (Cronbachو Shavelson،۲۰۰۴)؛

جدول۵- معرفی پرسشنامه

مخاطره	مخاطرات	توضیح
H_1	امکان بروز نا امنی در مبداء	موارد زیادی نظیر نزدیکی به مرز و ... می‌توانند موجب شکست سامانه تأمین آب مشهد شوند.
H_2	امکان خرابکاری در مسیر انتقال یا در تاسیسات (تروریسم/ پدافند غیر عامل)	عواملی همچون نگهداری و بهره‌برداری و مواردی نظیر آن می‌توانند سامانه تأمین آب مشهد را دچار مشکل کنند.
H_3	امکان بروز مخالف از طرف NGOهای زیست محیطی	طرفداران محیط زیست می‌توانند مانع انجام پروژه گردند.
H_4	امکان عدم تامین مالی حسب برنامه	عدم تامین منابع مالی معمولا تابعی از بزرگی پروژه و سرمایه مورد نیاز است
H_5	امکان کاهش تامین آب مشهد به دلیل توسعه ی بالادست	منظور توسعه در مبداء یا در مسیر است
H_6	روابط بین‌الملل	منظور پیشرانه‌های اقتصادی داخل افغانستان، دخالت سایر کشورها، توازن متقابل خواهد بود.
H_7	تغییرات اقلیمی(تغییر وضعیت سیر دریا/ آمو دریا)	تغییرات اقلیم به احتمال زیاد منجر به کاهش تأمین آب مشهد می-گردد و به طور خاص ممکن است تا ۵۰ سال بعد یخچال‌های هیمالیا آب شود.
H_8	افزایش تخصیص با تعیین حقابه ی ثابت	افزایش حقابه، بدون توجه به وضعیت طبیعی منبع آب، نوسانهای آب وهوایی و نمایشنامه های توسعه
H_9	بروز مشکلات اجتماعی در مخالفت با تامین آب مشهد	مشکلات اجتماعی ناشی از بی اعتمادی به مسئولین یا رقابت سایر شهرستان‌ها با مشهد
H_{10}	تاثیرات مخرب زیست محیطی یا آلودگی منابع آب	عبور از مناطق حفاظت شده و محدودیت‌های قانونی
H_{11}	نبودن پذیریش جایگزین پساب به دلیل فرهنگی	این گزینه ویژه ی پساب است
H_{12}	پیچیدگی مطالعه، طراحی، اجرا و بهره‌برداری از منابع کارست	این گزینه ویژه ی 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 تاسیسات استحصال	خرابی تلمبه ، زلزله، قطع برق، سونامی در حاشیه راه و ...
H_{15}	هزینه‌های اجتماعی برای جلب رضایت ساکنان مبداء و مسیر	

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(\frac{\sum_{i=1}^{k} S_i^2}{\sigma^2}\right) \qquad (۵)$$

که در این رابطه k تعداد سؤالات، S_i^2 واریانس سؤال i ام، σ^2 واریانس مجموع کلی سؤالات می‌باشند. نتایج مقدار آلفای کرونباخ برای هر کرام گزینه‌ها بین ۰/۷ و ۰/۹ به دست آمده، و لذا همبستگی و توافق مناسب بین نظرات خبرگان را نشان می‌دهند. نتایج نظرسنجی بر اساس صحت پرسشنامه و همچنین داده‌های مورد استفاد برای هر گزینه به شرح جدول (۶) ذکر شده اند.

جدول۶- بررسی روایی پرسشنامه با آلفای کرونباخ برای چهار گزینه تامین آب مشهد

گزینه	هزار مسجد	پساب	تاجیکستان	عمان
مقدار آلفای کرونباخ	۰.۷۴	۰.۷۳۶	۰.۸۳	۰.۷۵

نتایج پرسشنامه

همان طور که ذکر شد، مرحله ی اول این تحقیق شامل شناسایی کیفی مخاطرات و تولید مجموعه‌ای از داده‌های کارشناسی (اطلاعات خام ذهنی) در مورد احتمال و اثر بروز مخاطرات بر گزینه‌های تامین آب دشت مشهد است. در این مرحله، به صورت مستقیم از عامل های در معرض قرارگیری (exposure) و آسیب‌پذیری (vulnerability) برای تعدیل اثر شدت و احتمال وقوع ناشی از هر مخاطره استفاده نشده است؛ زیرا خبرگان بر اساس یادگیری جمعی (social learning) خود از جلسات بارش افکار به صورت ذهنی به میزان در معرض قرارگیری و آسیب‌پذیری هر گزینه ناشی از مخاطرات، آگاهی نسبی می‌یابند(pipattanapiwong،۲۰۰۴)؛ در واقع برای ارزیابی خطر کردن گزینه‌های تامین آب مشهد، دو عامل احتمال (probability) و شدت اثر(Severity) متاثر از دو عامل در معرض قرارگیری (exposure) و آسیب‌پذیری (vulnerability) می‌باشند (جدول ۷). با این حال، و به جهت اعمال دقیق‌تر دو عامل مذکور از ضریب وزنی بر اساس بده آب انتقال داده شده به مشهد، و شکستی که به سامانه تامین آب مشهد وارد می‌شود، در محاسبات لحاظ شده است. به عبارت دیگر، بر اساس میزان شدت اثر هر مخاطره بر شکست پروژه، مجموع درجات آسیب‌پذیری آن مخاطره نیز بین ۱ تا ۵ متغیر است؛ در واقع، آسیب-پذیری اشاره به ناتوانی یک سامانه یا یک واحد در برابر اثرات یک محیط خصمانه دارد (Turner،۲۰۱۰)؛ بنابراین، جهت محاسبه احتمال وقوع و شدت مبه وسیله ی هر مخاطره، مجموع نظرات خبرگان درباره ی احتمال وقوع و اثر هر کدام از مخاطرات بر تعداد نظرات شرکت‌کنندگان تقسیم شده، و احتمال و شدت مبه وسیله ی آنها به دست آمده است. در انتها، برای محاسبه ی خطر کردن مبه وسیله ی هر گزینه، از روش میانگین وزنی استفاده شده است، یعنی بر اساس درجه ی آسیب‌پذیری پروژه ناشی از مخاطرات، به هر مخاطره وزن یا ارزش معینی تعلق گرفته است. آن گاه، جمع ارقام به دست آمده از کل مخاطرات بر وزن کل درجات آسیب‌پذیری تقسیم گردیده است. بر اساس سوابق تحقیق، هر گزینه‌ای که کمترین سطح خطر کردن را دارا باشد مناسب‌ترین جهت تامین آب مشهد خواهد بود؛ لذا، خطر کردن ناشی از گزینه ی تامین آب از کوه‌های هزار مسجد کمترین مقدار مبه وسیله ی خطر کردن (R=6.94) را دارا است.

جدول۷- ساختار شکست ریسک عمومی گزینه‌ها

	عمان			تاجیکستان			پساب			هزار مسجد			وزن
	P	S	R_W	P	S	R_W	P	S	R_W	P	S	R_W	W
H_1	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۵.۰۰	۵.۰۰	۱۲۵.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۴.۰۰	۲.۰۰	۴۰.۰۰	5.00
H_2	۴.۲۰	۳.۰۰	۲۵.۲۰	۸.۰۰	۴.۰۰	۶۴.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۴.۵۰	۱.۵۰	۱۳.۵۰	2.00
H_3	۱.۰۰	۱.۰۰	۳.۵۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۷.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۲۱.۰۰	۳.۰۰	۳.۰۰	۳۱.۵۰	3.50
H_4	۷.۳۰	۴.۰۰	۱۴۶.۰۰	۸.۰۰	۵.۰۰	۲۰۰.۰۰	۵.۵۰	۲.۲۵	۶۱.۸۸	۵.۶۰	۲.۰۰	۵۶.۰۰	5.00
H_5	۵.۰۰	۵.۰۰	۸۷.۵۰	۵.۷۵	۴.۰۰	۸۰.۵۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۳.۰۰	۱.۰۰	۱۰.۵۰	3.50
H_6	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۸.۳۰	۶.۰۰	۱۹۹.۲۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۱۲.۰۰	4.00
H_7	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۹.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۳.۰۰	۱.۰۰	۴.۵۰	1.50
H_8	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۵.۰۰	۱.۰۰	۵.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	1.00
H_9	۳.۵۰	۵.۰۰	۸۷.۵۰	۷.۰۰	۶.۰۰	۲۱۰.۰۰	۳.۲۵	۲.۰۰	۳۲.۵۰	۵.۰۰	۱.۰۰	۲۵.۰۰	5.00
H_{10}	۱.۰۰	۱.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۲.۰۰	۴.۵۰	۲.۰۰	۱۸.۰۰	۵.۰۰	۲.۰۰	۲۰.۰۰	2.00
H_{11}	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۸.۰۰	۳.۰۰	۲۴.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	1.00
H_{12}	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۶.۰۰	۰.۵۰	۳.۰۰	1.00
H_{13}	۳.۴۰	۳.۷۵	۴۴.۶۳	۸.۰۰	۲.۰۰	۵۶.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۳.۵۰	3.50
H_{14}	۷.۰۰	۳.۰۰	۳۱.۵۰	۵.۰۰	۵.۰۰	۳۷.۵۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۳.۰۰	1.50
H_{15}	۶.۶۰	۵.۰۰	۶۶.۰۰	۷.۰۰	۷.۰۰	۹۸.۰۰	۵.۰۰	۲.۰۰	۲۰.۰۰	۶.۲۰	۴.۱۰	۵۰.۸۴	2.00
جمع	۲۸.۰۰		493.83	۳۸.۵۰		1088.20	۲۱.۰۰		183.88	۳۹.۵۰		273.34	41.50

خطر کردن به وسیله ی	$\overline{R}$	۱۷.۶۴	$\overline{R}$	۲۸.۲۶	$\overline{R}$	۸.۷۶	$\overline{R}$	۶.۹۲	

از آنجا که تمام مخاطرات به صورت بالقوه امکان وقوع را دارند، دامنه ی خطر کردن هر پروژه نیز مورد محاسبه قرار گرفته است. در مرحله ی دوم تحقیق، برای به دست آوردن دامنه یامکان‌پذیر وقوع خطر کردن گزینه‌های تامین آب مشهد، عدم قطعیت مخاطرات نیز از ببده نانه‌ترین تا خوشبینانه‌ترین حالت مد نظر قرار گرفته اند؛ لذا، در شبیه تصمیم‌گیری، از رابطه ی Z معیار استفاده شده است؛ یعنی میانگین مقادیر خطر کردن هر مخاطره از مقدار مخاطرات نظرسنجی شده کم و بر انحراف معیار آن تقسیم می‌شود (رابطه ی ۶):

$$P(\overline{X} - z\sigma_{\overline{X}} \le \mu \le \overline{X} + z\sigma_{\overline{X}}) = 1 - \alpha\%$$

$\overline{x_i}$ میانگین خطر کردن هر گزینه تأمین آب، و σ_j انحراف معیار مربوط به آن گزینه می‌باشد. باتوجه به رابطه ی فوق،و با در نظر گرفتن فاصله ی امکان ۹۹٪ برای احتمال و شدت هر مخاطره، حدهای بالا و پایین خطر کردن برای تمام گزینه‌ها محاسبه شده اند (جدول۸).

جدول (۸)- نتایج بررسی فضای امکان خطر کردن گزینه‌های انتقال آب به مشهد

گزینه ی نتقال آب	خطر کردن مبه وسیله ی (درصد)	Z	انحراف معیار (درصد)	حد بالای خطر کردن(درصد)	حد پایین خطر کردن(درصد)
پساب	8.76	2.58	3.32	17.32	0.19
هزار مسجد	6.94	2.58	5.25	20.48	0
عمان	17.64	2.58	12.07	48.78	0
تاجیکستان	28.26	2.58	20.12	80.16	0

تعیین اولویت گزینه‌ها

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

فراسنج های دیگری نیز وجود دارند که برای اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب باید مد نظر قرار گیرند. یکی از این فراسنج ها، هزینه ی تمام شده ی پروژه است (C). طرحی که هزینه تمام شده کمتری را نسبت به سایر گزینه‌ها دارا باشد، سهل‌الوصول‌تر خواهد بود، و گزینه‌های که هزینه ی نهایی آنها بالا باشد، هنگام اجرا دچار چالش‌های فراوانی خواهند شد. فراسنج بعدی بر اساس حجم آبی است 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 فراسنج های مذکور، به صورت شاخص ترکیبی، می‌توان 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 با 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 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. بر اساس شاخص مزبور نیز گزینه ی پساب، و سپس گزین ی تاجیکستان مناسب‌ترین گزینه خواهند بود.

نتیجه‌گیری:

اگرچه تاکنون روش معیار ی برای ارزیابی خطر کردن ارائه نشده است، اما بیش از ۷۰ نوع روش ارزیابی کمّی و کیفی

برای ارزیابی آن وجود دارند. علاوه بر آن، خطر کردن همواره به صورت ضریبی از احتمال نمایش داده می‌شود. در این مقاله علاوه بر ارائه ی روشی مرکب از روش‌های کمی وکیفی جهت ارزیابی خطر کردن، مفهوم ساده شده ی دیگری برای بیان ارتقاء مفهوم خطر کردن ارائه گردیده است. اولین روش استفاده شده برای ارزیابی خطر کردن بر مبنای محاسبه ی سطح مبه وسیله ی خطر کردن می باشد. در این روش به وسیله ی نظرسنجی از خبرگان،

جدول (۹)- اولیت‌بندی گزینه‌های تامین آب مشهد

اولویت گزینه‌ها	بر اساس هزینه (C)	بر اساس حجم (Q)	بر اساس خطر کردن (R)	ترکیبی $\left(\frac{Q\times\omega}{C\times R}\right)$
	ارزان ($\pm$)	زیاد ($\pm$)	کم ($\pm$)	بزرگ ($\pm$)
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 (۰.۰۰۱۴)
۳	عمان (۹۴.۵۶)	هزار مسجد (۰.۰۵۶)	عمان (۱۷۶۴)	تاجیکستان (۰.۰۰۰۸)
۴	تاجیکستان (۶۷ .۷۰)	انتقال پساب (۰.۲۱)	تاجیکستان (۲۸.۲۶)	عمان (۰.۰۰۰۲)
	گران ($\pm$)	کم ($\pm$)	زیاد ($\pm$)	کوچک ($\pm$)

سطح احتمال و شدت اثر مربوط به عدم قطعیت‌های هر گزینه استخراج شده است. سپس از مجموع نظرات کلیه ی خبرگان یک سطح خطر کردن مبه وسیله ی برای هر گزینه به دست آمده است. مطابق با بررسی این تحقیق، خطر کردن ناشی از انتقال آبهای خارج از مرز(انتقال آب از تاجیکستان) با احتمال مبه وسیله ی (P=0.56) و شدت (S=0.4)، بیشترین سطح خطر کردن یعنی R=0.28 را دارا است. گزینه ی 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 مبه وسیله ی خطر کردن، دارای کمترین میزان خطر کردن R=0.069 می-باشد. در نتیجه، اگر برای مقایسه ی گزینه‌ها از مبه وسیله ی خطر کردن استفاده کنیم، گزینه ی انتقال آب از کوه-های هزار مسجد مناسب‌ترین خواهد بود. در روش دوم، که جهت محاسبه ی خطر کردن مورد تاکید است، از بررسی فضای امکان بروز خطر کردن استفاده شده است. به عبارت دیگر،در روش دوم از خبرگان خواسته شده است تا احتمال، شدت و آسیب‌پذیری هر گزینه را در برابر عدم قطعیت‌های موجود، بیان نمایند. از آنجا که تمام مخاطرات به صورت بالقوه امکان وقوع را دارند، دامنه ی خطر کردن هر پروژه نیز مد نظر قرار گرفته است ؛ یعنی دامنه ی امکان‌پذیر وقوع خطر کردن‌های تأمین آب مشهد، شامل بدبینانه‌ترین تا خوش بینانه‌ترین نظرات کارشناسی مد نظر است. با این حال گزینه ی انتقال پساب با کوچکترین فضای امکان خطر کردن، و به تناسب کمترین سطح آن نسبت به سایر گزینه‌ها در اولویت اجرا قرار دارد. در انتها، مجدداً چهار گزینه ی انتقال، بر اساس قیمت تمام شده، حجم آب انتقالی جهت تأمین آب، خطر کردن گزینه‌ها، ضریب بازچرخانی اولویت بندی شده است. سیاست‌گذاران می‌توانند بر اساس هر کدام از فراسنج های مزبور انتخاب معقولانه را داشته باشند.

منابع:

۱) قندهاری، ا. داوری، ک.، و عمرانیان خراسانی، ح .۱۳۹۴. راهنمای چارچوب مدیریت خطر کردن، نخستین کنگره ملی آبیاری زهکشی ایران، دانشگاه فردوسی، اردیبهشت ۹۴

۲) نظری، ا. فرصت‌کار، ا.، و کیافر، ب. ۱۳۸۷. مدیریت خطر کردن در پروژه‌ها، انتشارات معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی: ۸۷/۰۰/۱۰۹، ۳۲۰ ص، ISBN 978-964-179-020-4

3) Bayazidi, B., Oladi, B., and Abbasi, N., 2012. The questionnaire data analysis using by SPSS

16) Luyet, V,. Schlaepfer, R., Parlange, M., and B. Buttler, A., 2012 . A framework to implement stakeholder participation in environmental projects, Journal of Environmental Management,111: 213-219.
17) Maqsood, I., Huang, G. H. and 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.
18) Mays, L.W., and Tung, Y.K. 1992. Hydrosystems Engineering and Management. McGraw-Hill. Book Co., Singapore.
19) McIntyre, N., Wagener, T., Wheater, H. S. and Siyu, Z. 2003. Uncertainty and risk in water quality modelling and management. J. Hydroinformat. 5 (4): 259–274.
20) Pipattanapiwong, J., 2004. Development of multi-party risk and uncertainty management process for an infrastructure project, Doctoral dissertation, Japan, Kochi University of Technology.
21) 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)
22) 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
23) 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
24) Tankana, H. and Gue, p. 1999. Theory and methodology portfolio selection based on upper and lower exponential possibility distributions. European Journal of Operational Research 114: 115-126
25) Tankana, H. Gue, P. and Turkesen, B. 2000. Portfolio selection based on fuzzy probabilities and possibility distributions. Fuzzy Sets and Systems 111: 387-397
26) Ted, S. 2014. Environmental Risk Assessment: A Toxicological Approach. CrC Press group. International Standard book Number 13-978-1-4665 - 9829- 4.
27) Tran, L. D., Schilizzi, S., Chalak, M. and Kingwell, R. 2011. Optimizing competitive uses of water for irrigation and fisheries. Agric. Water Manage. 101: 42–51.
28) Turner B.L. 2010, Vulenrability and resilience: coalescing or paralleling approaches for sustainability science?. Global Environrmental Change, 20:570-576
software (PASW) 18, Mehregan, Tehran, in persion.
4) Cronbach, L. J., and Shavelson R. J. 2004. My current thoughts on coefficient alpha and successor Procedures. Educational and Psychological Measurement. 64: 391-418.
5) 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.
6) Davison, A., Howard, G., Stevens, M., Callan, P., Fewtrell, L., and Deere, D,. 2008. Water safety plans: managing drinking-water quality from catchment to consumer. Prepared for theGeneva: World Health Organisation; 2005 [WHO/SDE/WSH/05.06].
7) Dominguez-Chicas, A., and 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.
8) Faye, R. M., Sawadogo, S., Lishoua, C. and Mora-Camino, F. 2003. Long-term fuzzy management of water resource systems. Appl. Math. Comput. 137: 459–475.
9) Germain, D., and Cohen, D., Frederick, J. 2008. A Retrospective Look at the Water Resource Management Policies in Nassau County, Long Island, New York, 44(5): 1337–1346
10) Griffith, C., Obee, P., and Cooper, R. 2005. The Clinical application of hazard analysis critical control points (HACCP). American Journal of Infection Control 33, e39
11) Hellier,K. 2000. Hazard analysis and critical control points for water supplies .63rd Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference Civic Centre – Warrnambool 6 and 7 September.
12) Hokstad, P., Pettersson, T.J.R., Kirchner, D., Niewersch, C., Linde, A., Sturm, S., Røstum, J., Sklet, S., and 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. TECHNEAU
13) Hong, E., Lee, I., Shin, H., Nam, S., and 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: 269–277
14) Jayarante A. 2008. Application of a risk management system to improve drinking water safety. J Water Health 2008;6(4):547–57.
15) Jairaj, P. G. and Vedula, S. 2000. Multi-reservoir system optimization using fuzzy mathematical rogramming. Water Resour. Manage. 14: 457–472.

29) Zhang, X. H., Zhang, H. W., Chen, B., Guo, H. C., Chen, G. Q. and Zhao, B.A. 2009. An inexact-stochastic dual water supply programming model. Commun. Nonlinear Sci. 14: 301–309.
30) Zilinskas, R. 2005. Assessing the threat of bio terrorism congressional testimony. Center for Nonproliferation Studies. From http://cns.miis.edu.