فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری‌عمومی، 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 پیشِ روی برنامه‌ریزان است. بر این اساس، تأمین آب از نقاط مختلف و اجرای گزینه های گوناگون، از راهکارهای جاری جهت رفع این چالش در کنار مدیریت غیرسازهای بوده و میزان زیادی از اعتبارات و بودجه‌های ملّی را به خود اختصاص داده است. در این مقاله، به‌صورت موردی، به چالش‌ها و فرصت های 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 دامنهٔ امکان بروز مخاطرات ریسک تمام گزینه‌ها محاسبه شده است. نتایج نشان داد، گرچه کمترین مقدار متوسط ریسک مربوط به گزینهٔ انتقال آب از هزارمسجد است، اما از دیدِ کارشناسان، گزینهٔ انتقال پساب از غرب مشهد دامنهٔ امکان بروز ریسک کمتری را نسبت به سایر گزینه‌هاَ داراست. درواقع، این نتایج نشان می دهد، استفاده از دامنهٔ امکان ریسک برای اولویت‌بندی گزینه‌ها (اتخاذ تصمیمات مدیریتی) می‌تواند بسیار مفید واقع شود. در پایان مقاله، گزینه‌های مختلف براساس پارامتر قیمت تمام‌شدهٔ پروژه، حجم انتقال آب هر پروژه، ریسک و ضریب بازچرخانی آب مجدداً اولویت بندی شده‌اند.

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

۱. مقدمه
در عمدهٔ 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

www.SID.ir
Archive of SID

کاهش عرضهٔ 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 سیستم های 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 etal, 2005). همچنین در مدیریت سیستم‌های منابع آب، دیدگاه‌ها و نگرش‌های متفاوت افراد و درنتیجه بروز عدم قطعیت‌های رفتاری افراد مختلف تصمیم‌گیری را پیچیده کرده است؛ چراکه افراد مختلف دارای منافع و خواسته‌های متعددند و از دیدگاه ایشان اهمیت موضوعات مختلف مدیریت آب متفاوت است (Luyet et al, 2012). درواقع، به‌دلیل وجود چنین پیچیدگی‌های است که موضوع مدیریت ریسک در این‌گونه مسائل بروز می‌کند. گزینه‌های تأمین آب، به‌علت حساسیت‌های ویژهٔ اجتماعی، فنی و بین- المللی (به‌ویژه در نواحی مرزی) از پیچیدگی بالایی برخوردارند و لذا آیندهٔ مبهمی در پیش رو دارند. در چنین شرایطی، بررسی گزینه‌های تأمین آب و انتخاب گزینه یا گزینه‌های برتر، باید با توجهِ کامل به عدم قطعیت‌ها و توأم با ارزیابی ریسک آن‌ها باشد. درحقیقت، بدون توجه به ریسک، ممکن است گزینه‌هایی که جذاب به‌نظر می‌رسند انتخاب گردند؛ درحالی‌که حامل ریسک های نهفتهٔ بالایی هستند. همچنین، عدم قطعیت منجر به تشدید ریسک‌های گزینه های تأمین آب می‌شود و از این‌رو نیازمند توجه ویژه است.

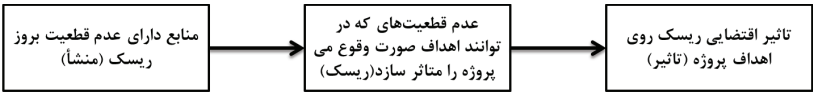
تاکنون بیشتر مطالعات در محدودهٔ مسائل مربوط به ریسک، سطحی از احتمالات را مبنای محاسبات قرار داده‌اند. در این پژوهش، برای تعیین احتمال و شدت عواقب سوء از روش بارش افکار استفاده شده است. نظرهای جمعی از کارشناسان خبره و باسابقه جمع‌آوری و تحلیل شده و سطح اعتماد هر طرح تأمین آب با توجه به متوسط نظرهای ایشان محاسبه شده است. همچنین تلاش شده است تا ریسک های 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 برعهدهٔ مدیران است. برای درک وقوع این حوادث، در درجهٔ اول، مدیران باید عوامل بالقوهٔ 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. درصورتی‌که ریسک‌ها به‌درستی شناسایی و ارزیابی نشوند، اعتبار فرایند مدیریت ریسک خدشه‌دار خواهد شد. چراکه درحقیقت برآورد واقعی از ریسک‌های پروژه وجود ندرد و لذا نمی‌توان آن‌ها را مدیریت کرد. ازاین‌رو، لازم است تا در فرایند شناسایی ریسک‌ها به‌نحوی اقدام شود که آنچه واقعاً ریسک نیست، ریسک فرض نشود و بالعکس. درواقع، 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 صورتِ اتفاق افتادن، اهداف پروژه را متأثر خواهند کرد. آثار ریسک انحرافات پیش‌بینی‌نشده در اهداف پروژه است که به‌صورت مثبت یا منفی درنتیجهٔ وقوع ریسک بروز خواهند کرد. ارتباط بین منشأ، ریسک و تأثیر آن در شکل ۱ نشان داده‌شده است (نظری و همکاران، ۱۳۸۷).

Archive of SID
www.SID.ir

شکل۱. تفکیک بین منشأ ریسک، ریسک و تأثیر آن



همچنین اندازهٔ ریسک باید با دقت کافی برآورد شود تا ارزیابی ریسک به‌درستی صورت گیرد. درغیراین‌صورت، این خطر وجود دارد که ریسک‌های واقعی پنهان بمانند و یا کوچک انگاشته شوند. برای مثال، وقایع قطعی (با عدم قطعیت ناچیز) و یـا وقایعی کـه اهداف پـروژه را متأثر نمی‌کنند، نباید به‌عنوان ریسک درنظر گرفته شوند. عموماً براساس مطالعات گذشته روش‌های تحلیل و ارزیابی ریسک را می‌توان براساس دو نگرش تقسیم بندی کرد: الف) روش های گذشته‌نگر و آینده نگر؛ ب) روش‌های تحلیل جعبهٔ سفید و جعبهٔ سیاه. روش های گذشته نگر[۴] به‌دنبال کشف ریشهٔ حوادث ناهنجار و متضاد در گذشته‌اند. هدف اصلی در این روش مشخص کردنِ علت وقوع حواث ناخوشایند است. در این روش، مقصر و یا مسئولِ حـوادثِ ناخـوشایند معلوم می گـردد و، بنـابراین، از تکـرار این‌گونه اتفـاقات جلوگیری می‌کند (USGS, 2000). مدل «تحلیلی ریشه‌یابی علّی» (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 راه‌هـای کاهش ریسـک را نشان نمی‌دهد (Germain et al, 2008). روشهای آینده نگر[۵] برای ارزیابی و تحلیل ریسک از روش‌های گذشته نگر مفیدترند. ازجمله مدل های آینده نگر 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, 2010; Yokoi et al, 2006; Jayarante, 2008)؛ ۲. مدل شکست و تحلیل اثر[۷] (Dominguez-Chicas and Scrimshaw, 2010; Hamilton et al. 2006)؛ و ۳. مدل تحلیل درخت خطا[۸] (Hong et al, 2009). در این میان، مدل‌های ارزیابی احتمالاتی ازقبیل درخت واقعه[۹] (Hokstad et al, 2009) نیز می‌توانند به‌عنوان ابزار کمکی برای برآورد بدترین احتمالات شکست مورداستفاده قرار گیرند. در این روش‌ها، عموماً تمرکز بر عوامل ذهنی و انتزاعی کارشناسان است. روش آینده نگر گرچه نیازمند داده های محدود است، اما جمع آوری این داده‌ها (یا استخراج آن‌ها از ذهن کارشناسان) بسیار دشوار و وقت‌گیر است. مزیت این روش ها 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 درمورد استفاده از روش های آینده نگر دخالت نظر کارشناسی در نحوهٔ کمّی کردن ریسک ها 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 جعبهٔ سیاه[۱۰]: در این روش، تحلیل را شخص باتجربه و مجرّب انجام می‌دهد. وی براساس تجربهٔ خود و آشنایی با پروژه، ریسک آن را تخمین می‌زند. بنابراین، تخمین‌ریسک، متکی بر تجربهٔ کارشناسی است و محاسبات مشخصی ندارد

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

Archive of SID
www.SID.ir

(Tanaka, 2000)؛ ب) روش جعبه سفید[11]: 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 متغییرهای سیستم) درنظر 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 مکانی‌ذاتی این فرایندها. برای مثال، مقدار واقعی/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: به‌دلیل 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 عدم دقت در اندازه‌گیری ناشی از ناکافی بودن اندازه‌گیری‌ها و خطاهای به‌وجودآمده در حین مرتب کردن و انتقال داده‌ها؛ ۵. عدم قطعیت بهره‌برداری: که درنتیجهٔ فرسودگی (تغییرات در زمان)، انحراف آیندهٔ وقوع‌یافته از پیشبینی‌شده (جمعیت برآوردشده، تغییر اقلیم، ...). به‌منظور کمیت بخشیدن به عدم قطعیت ها نظر کارشناسان خبره تجزیه و تحلیل شده است؛ یعنی به متوسط و دامنهٔ نظرهای کارشناسی توجه شده است. درواقع برای برآورد ریسک‌های تأمین آب مشهد، مسائل و چالش‌ها و فرصت-های 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.

۱. ۲. مواد و روش‌ها

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

جدول ۱. شرح مختصری از گزینه های محتمل تأمین آب مشهد

	عنوان گزینه	شرح/ وضعیت	حجم تأمین سالانه (mcm)	زمان احتمالی بهره‌برداری
۱	آب زیر زمینی	ـ برداشت از آبخوان محدودهٔ مطالعاتی مشهد که در حال حاضر تحت تنش است. ـ نیازمند کاهش برداشت برای احیای آبخوان	۶۰۰	در حال بهره‌برداری
۲	سد دوستی	ـ دچار تنش در بهره‌برداری با افغان‌ها	۱۵۰	در حال بهره‌برداری
۳	جایگزینی پساب	ـ درصد زیادی از آب استفاده‌شده در مشهد هنوز جمع‌آوری/ تصفیه نمی‌شود. ـ پساب تصفیه شده در رودخانه رها شده (و جایگزین برداشت از آب زیرزمینی نگردیده است).	اکنون ۳۴ درصد در آینده قابل توسعه تا ۷۰ درصد مصارف شهری (تابع توسعهٔ شهری)	در حال بهره‌برداری بدون تخصیص صحیح تا ۱۴۲۰ به‌تدریج افزایش می‌یابد.
۴	هزارمسجد	ـ استفاده از رودهای منطقهٔ کلات و منابع سازندی ـ امکان افزایش تعارضات با ترکمنستان	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 به‌لحاظ وابستگی شدید به آب‌های خارج از مرز	۱۰۰۰	۱۴۱۰ تا ۱۴۳۰

8. White Box Methodology

www.SID.ir
Archive of SID

مراحل انجام پژوهش در شکل ۲ نمایش داده شده و سپس روش به‌کار 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 ـ ساعت کار جمعی، شناسایی گردید. برای شناسایی تمامی چالش‌های مرتبط با گزینه‌هایتأمین 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، همهٔ چالش‌ها و فرصت‌ها ازمنظر 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:

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

نوع ریسک	شرح
روابط بین‌الملل (International)	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: «حسن هم‌جواری»، «همکاری» و «رقابت».
مالی (Financial)	منظور مخاطراتی است که به‌دلیل 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 اخلال 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 به‌خودی‌خود منشأ مخاطراتی ازجمله صعوبت ساخت، هزینهٔ بالا، پیچیدگی عملیات بهره‌برداری و نگهداری و... است. همچنین امکان قطع جریان به‌دلیل فنی، طبیعی (زلزله و...) و انسانی در مسیر انتقال وجود دارد.
اجتماعی (Social)	تعارضات قومی و منطقه‌ای نیز می‌توانند منشأ مخاطرات و آثار منفی بر تأمین آب مشهد باشند.
توسعهٔ بالادست (Development)	توسعهٔ آتی در مبدأ تأمین آب و یا در مسیر انتقال آب می‌تواند در آینده موجب اختلال تأمین آب مشهد گردد.
زیست‌محیطی (Environmental)	محدودیت‌ها و چالش‌های زیست‌محیطی در مبدأ و یا مسیر انتقال می‌توانند اجرای گزینه‌ها را با مشکلات جدی/ لاینحل روبه‌رو کنند و از این‌رو تأمین آب مشهد را با اختلال مواجه سازند.
سیاسی (Political)	رقابت سیاسی میان مراجع مختلف تصمیم‌گیری شهرستانی/ استانی/ ملّی می‌تواند منجر به عدم هماهنگی میان ایشان و لذا آهسته یا متوقف شدن اجرای گزینه‌ها شود (استانداری‌ها، مدیران استانی و شهرستانی، نمایندگان مجلس و...).

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

www.SID.ir

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 شناسایی‌شده 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 می آید، اگر این مقدار بیش از ۰/۷ باشد، همبستگی و توافقِ مناسب بین نظرهای خبرگان را نشان می دهد؛ 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 گزینه های تأمین آب دشت مشهد

انتقال پساب	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	توسعهٔ بالادست (احتمال کاهش استحصال)	توسعهٔ بالادست (احتمال کاهش استحصال)
	توسعهٔ 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 دامنهٔ تغییرات (انحراف معیار) نمایش داده شده است.

ت) معادلهٔ تبیین ریسک در شکل عمومی به‌صورت رابطهٔ ۱ تا ۳ است:

$$\text{ریسک} = \{\text{آسیب‌پذیری}^{11} * \text{در معرض بودن}^{12} * \text{مخاطره}^{13}\} \Rightarrow R = H \times E \times V \quad (۱)$$

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

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

در این مطالعه، مقادیر آسیب پذیری و در معرض بودن برابرِ یک فرض شده است. بنابراین، ریسک موردنظر صرفاً متناظر 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 محاسبهٔ ریسک شرح داده شده است.

د) با توجه به ریسک، قیمت و دبی تأمین شدنی، گزینه‌ها اولویت بندی می شوند. همچنین، به‌منظور فراهم آوردن امکان مقایسهٔ کلی گزینه‌ها از یک شاخص ترکیبی (رابطهٔ ۴) به شرح زیر استفاده شده است. در این شاخص، عوامل مطلوب در صورت کسر و عوامل نامطلوب در مخرج کسر قرار داده شده‌اند.

$$\left(\frac{Q \times \omega}{C \times R}\right) \quad (٤)$$

www.SID.ir

در این معادله، R مربوط به ریسک فنی گزینه (برحسب۰ 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 ۱/۷ انتخاب شده است. درواقع، از آنجا که استحصال آب از خارج حوضه بوده است و پس از مصرف شهری ۷۰٪ درصد آب برگشتی تولید می‌کند، ضریب مزبور از جمع (۱ + ۰/۷) به‌دست آمده است. برای آب استحصال‌شده 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 می‌گردد، برگشت مصارف خانگی از طریق چاه جذبی به منابع آب زیرزمینی منجر به رشد آلودگی این منابع می‌شود. دراین‌صورت، 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 به‌صورت یک عدد نمایش داده میشود؛ اما آنچه مسلم است درمورد ریسک باید تمام حالات از بدبینانه ترین حالت تا خوشبینانه ترین حالت درنظر گرفته شود. به عبارت دیگر، خود ریسک که ناشی از پدیده های متعدد تصادفی با دامنه‌های گسترده است، دارای دامنه‌ای از عدم قطعیت است. این عدم قطعیت با توجه به نظرهای کارشناسان، با قبول اینکه امکان حذف هیچ یک از نظرات وجود ندارد، به‌دست می‌آید. مقادیر متوسط احتمال و شدت هر مخاطره برای هرگزینه برابر با میانگین مقادیر کسب‌شده از کارشناسان است. همچنین، عدم قطعیت های مربوط به هر مخاطره (دامنه‌های شدت و احتمال آن) با فرض تبعیت آن‌ها از توزیع احتمالاتی در سطح موردنظر (مثلاً $\alpha = \%1$) قابل محاسبه است. در این پژوهش، عدم قطعیت ریسک با احتساب ۹۹ درصد از دامنهٔ احتمال و شدت (براساس نظرهای 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 تعادل‌بخشی آبخوان) ادامه خواهدیافت، اما این منبع در حال زوال نمی‌تواند جزئی از گزینه‌های توسعهٔ منابع آب این منطقه در آینده باشد. از آنجا که این مطالعه به‌دنبال تعیین اولویت گزینه‌های نو و محتمل (برای سرمایه‌گذاری) است، بنابراین سد دوستی (که قبلا 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

Archive of SID
www.SID.ir

شده است، اما به‌دلیل 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 موردمطالعه، 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، گزینهٔ «جایگزینی پساب تصفیه شده با آب کشاورزی برای تأمین آب شرب شهر مشهد» پررنگ‌تر شده است.

تاجیکستان. گزینهٔ انتقال آب از خارج کشور از گزینه‌های جدّی در دست مطالعه وزارت نیرو است که شامل کشورهای افغانستان، ترکمنستان و تاجیکستان است. گزینهٔ اول، تأمین آب از رودخانهٔ پنج در مرز تاجیکستان و افغانستان و انتقال آب ازطریق افغانستان بود. می‌توان با ایجاد خط انتقال به طول ۹۰۰ کیلومتر تا تایباد، ۱ میلیارد مترمکعب آب به کشور انتقال داد. گزینهٔ دوم، احداث سد روی رودخانهٔ مرغاب در افغانستان و انتقال آب از آن سد است که می‌توان سالیانه ۶۰۰ میلیون متر مکعب آب به کشور انتقال داد. گزینهٔ پیشنهادی سوم، به‌صورت تأمین و انتقال آب از طریق ترکمنستان و کانال قرهقوم است. در جدول ۴ فهرستی از چالش‌ها و فرصت‌های پیشِ 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 آیندهٔ منطقه و وجود مسائل اجتماعی در منطقه برای انتقال آب	*	*	*	*
احتمال دخالت‌های سیاسی سایر کشورها		*		
احتمال عواقب سوء کیفی در اثر نفوذ عمقی یا تغذیهٔ 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 (دیی 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 توسعهٔ مراودات سیاسی و اقتصادی با کشورهای مسیر		*		
ایجاد فضای بی‌اعتمادی به آب منطقه‌ای به‌دلیل ایجاد درآمد از پساب			*	
آسیب‌پذیری تأسیسات از منظر پدافند غیرعامل	*	*		*
بازچرخانی پساب و استفاده از پروفیل خاک برای تصفیهٔ اولیهٔ 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)	*			

www.SID.ir

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 باتوجه 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 معیّن)			*	
شرایط سخت نگهداری از پروژه‌ها	*	*		
شرایط مناسب استفاده آب و هوای مناسب منطقه شمالی هزارمسجد (شرایط ویژهٔ توسعهٔ گردشگری				*
طبیعت و ایجاد فرصت سرمایه‌گذاری بر روی پروژه‌های آبی)				
صعوبت استحصال آب از سازندهای کارستی به‌دلیل پیچیدگی‌های زمین‌شناسی سازند سخت و نحوهٔ استحصال آب				*
طول زیاد خط و تعداد ایستگاه‌ها و ریسک خرابی (فنی، زلزله، ...) + (تأخیر در ساخت)	*	*		
عدم امکان مدیریت توسعهٔ 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 حوضهٔ مبدأ (عدم توافق در ساخت، عدم توان حفاظت در انتقال)		*		
عدم نیاز به شیرین‌سازی (کاهش هزینه‌های جاری و کاهش احتمال مقابلهٔ 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 (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 عدم وجود شرایط توسعهٔ سریع در حوضه‌های مبدأ		*		
کمبود انرژی برق و گاز و... در حوضه‌های مبدأ: مبادلهٔ آب و انرژی		*		
مرزی بودن رودخانه‌های منطقه و التزام به سرعت بخشیدن طرح‌های جلوگیری از خروج آب از کشور در مهلت معیّن				*
مطالعات دشوار در فاز شناسایی و عدم قطعیت‌های فراوان مطالعات				*
ناامنی نسبی و عدم توسعه سریع در این کشورها (آهسته شدن آهنگ توسعهٔ کشور مبدأ)		*		
نامشخص بودن قیمت آب انتقالی	*	*	*	*
نیاز به شانزده تصفیه‌خانهٔ محلی			*	
هزینهٔ کمتر از گزینه‌های انتقال از بیرون حوضه			*	*
هم‌جواری با مشهد (کوتاهی مسیر انتقال)			*	*

www.SID.ir

وجود برنامه‌های مختلف توسعه از جانب سازمان‌های بین‌المللی (پروژهٔ داکار و...) و تسریع توسعهٔ 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 جلسهٔ تشکیل‌شده، نظرهای خبرگان با بهره مندی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی ـ نظیر تکنیک دلفی و طوفان فکری ـ در قالب شش گروه از مجموعه کارشناسان آب منطقه‌ای (جمعاً 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 چالش ها و فرصت، مخاطرات چهار گزینهٔ محتمل، فهرست و اولویت‌بندی شد. در این مرحله، سعی شد موارد مشابه حذف یا ادغام گردد. درهرحال، همهٔ مخاطرات شناسایی‌شده مربوط به چهار گزینهٔ تأمین آب، به‌صورت گروه های پانزده گانه از ریسک به‌صورت ساختار شکست ریسک دسته بندی و به‌صورت پرسشنامهٔ در اختیار خبرگان حاضر در جلسه قرار گرفت (رک: جدول ۵).

جدول۵. معرفی پرسشنامه

مخاطره	مخاطرات	توضیح
H_1	امکان بروز نا امنی 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 غیر عامل)	عواملی همچون نگهداری و بهره‌برداری و مواردی نظیر آن می‌توانند سیستم تأمین آب مشهد را دچار مشکل کنند.
H_3	امکان بروز مخالف از طرف سازمان های غیردولتی زیست‌محیطی	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 سرمایهٔ موردنیاز است.
H_5	امکان کاهش تأمین آب مشهد به‌دلیل توسعهٔ بالادست	منظور توسعه در مبدأ یا در مسیر است.
H_6	روابط بین‌الملل	منظور پیشرانه‌های 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 با تعیین حقابهٔ ثابت	افزایش حقابه، بدون توجه به رژیم طبیعی منبع 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 زیست‌محیطی یا آلودگی منابع آب	عبور از مناطق حفاظت‌شده و محدودیت‌های قانونی
H_{11}	عدم پذیریش جایگزین پساب به‌دلیل فرهنگی	این گزینه ویژهٔ پساب است.
H_{12}	پیچیدگی مطالعه، طراحی، اجرا و بهره‌برداری از منابع کارست	این گزینه ویژهٔ 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 حاشیهٔ راه و...
H_{15}	هزینه‌های اجتماعی برای جلب رضایت ساکنان مبدأ و مسیر	

www.SID.ir

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.

۳. ۲. کنترل روایی پرسشنامه

پس از تجمیع پرسشنامه‌ها به‌منظور بررسی میزان توافق نظرهای خبرگان دربارهٔ 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 پژوهشگران علوم اجتماعی برای سنجش روایی داده‌ها استفاده می‌کنند. آلفای کرونباخ به‌طورکلی با استفاده از رابطهٔ ۵ محاسبه می شود (Cronbach & Shavelson, 2004):

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

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

جدول۶. بررسی روایی پرسشنامه با آلفای کرونباخ برای چهار گزینهٔ تأمین آب مشهد

جدول٦. بررسی روایی پرسشنامه با آلفای کرونباخ

برای چهار گزینهٔ تأمین آب مشهد

گزینه	هزارمسجد	پساب	تاجیکستان	عمان
مقدار آلفای کرونباخ	۰.۷٤	۰.۷۳٦	۰.۸۳	۰.۷۵

۳. ۳. نتایج پرسشنامه

همان‌طور که ذکر شد، مرحلهٔ اول این تحقیق شامل شناساییِ کیفیِ 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، به‌صورت 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[14] 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[15] و شدت اثر[16] متاثر از دو فاکتور در معرض قرارگیری و آسیب پذیری می‌باشند (رک: جدول ۷). بااین‌حال و به‌جهت اعمال دقیق‌تر دو

14. social learning
15.probability
16. severity

Archive of SID
www.SID.ir

فاکتور مذکور از ضریب وزنی براساس دبی آب انتقال‌داده‌شده 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. درواقع، آسیب‌پذیری اشاره به ناتوانی یک سیستم یا یک واحد در برابر اثرهای یک محیط خصمانه دارد (Turner, 2010). بنابراین، جهت محاسبهٔ احتمال وقوع و شدت متوسط هر مخاطره، مجموع نظرهای خبرگان دربارهٔ احتمال وقوع و اثر هر کدام از مخاطرات بر تعداد نظرهای شرکت‌کنندگان تقسیم شده است و احتمال و شدت متوسط آن‌ها به‌دست آمده است. در پایان، برای محاسبهٔ ریسک متوسط هر گزینه، از روش میانگین وزنی استفاده شده است. یعنی براساس درجهٔ آسیب‌پذیری پروژه ناشی از مخاطرات به هر مخاطره وزن یا ارزش معیّنی تعلق گرفته است. آنگاه جمع ارقام به‌دست‌آمده از کلّ مخاطرات بر وزن کلّ درجات آسیب‌پذیری تقسیم شده است. براساس سوابق تحقیق، هر گزینه‌ای که کمترین سطح ریسک را دارا باشد مناسب ترین گزینه جهت تأمین آب مشهد خواهد بود. از این‌رو، ریسک ناشی از گزینهٔ تأمین آب از کوه‌های هزارمسجد کمترین مقدار متوسط ریسک (R=6.94) را دارد.

جدول۷. ساختار شکست ریسک عمومی گزینه ها

	عمان			تاجیکستان			پساب			هزارمسجد			وزن
	P	S	Rw	P	S	Rw	P	S	Rw	P	S	Rw	W
H_1	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۵.۰۰	۵.۰۰	۱۲۵.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	٤.۰۰	۲.۰۰	٤۰.۰۰	5.00
H_2	٤.۲۰	۳.۰۰	۲۵.۲۰	۸.۰۰	٤.۰۰	٦٤.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	٤.۵۰	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	٤.۰۰	۱٤٦.۰۰	۸.۰۰	۵.۰۰	۲۰۰.۰۰	۵.۵۰	۲.۲۵	٦۱.۸۸	۵.٦۰	۲.۰۰	۵٦.۰۰	5.00
H_5	۵.۰۰	۵.۰۰	۸۷.۵۰	۵.۷۵	٤.۰۰	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	٦.۰۰	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	٤.۵۰	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	٦.۰۰	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	٤.۵۰	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	۲٤.۰۰	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	٦.۰۰	۰.۵۰	۳.۰۰	1.00
H_{13}	۳.٤۰	۳.۷۵	٤٤.٦۳	۸.۰۰	۲.۰۰	۵٦.۰۰	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}	٦.٦۰	۵.۰۰	٦٦.۰۰	۷.۰۰	۷.۰۰	۹۸.۰۰	۵.۰۰	۲.۰۰	۲۰.۰۰	٦.۲۰	٤.۱۰	۵۰.۸٤	2.00
جمع	۲۸.۰۰		493.83	۳۸.۵۰		1088.20	۲۱.۰۰		183.88	۳۹.۵۰		273.34	41.50
ریسک متوسط	$\bar{R}$		۱۷.٦٤	$\bar{R}$		۲۸.۲٦	$\bar{R}$		۸.۷٦	$\bar{R}$		٦.۹۲	

از آنجا که تمام مخاطرات به‌صورت بالقوه امکان وقوع دارند، دامنهٔ ریسک هر پروژه نیز مورد محاسبه قرار گرفته است. در مرحلهٔ دوم تحقیق، برای به‌دست آوردن دامنهٔ امکان پذیر وقوع ریسک گزینه های تأمین آب مشهد، عدم قطعیت مخاطرات نیز از بدبینانه ترین تا خوشبینانه ترین حالت مدّنظر قرار گرفته است. بنابراین،

www.SID.ir

در مدل تصمیم گیری، از رابطهٔ Z استاندارد استفاده شده است؛ یعنی میانگین مقادیر ریسک هر مخاطره از مقدار مخاطرات نظرسنجی‌شده کم و بر انحراف معیار آن تقسیم می‌شود (رک: رابطهٔ ۶).

$$P(\bar{X}-z\sigma_{\bar{X}} \le \mu \le \bar{X}+z\sigma_{\bar{X}}) = 1-\alpha\% \qquad (٦)$$

$\bar{x}_i$ میانگین ریسک هر گزینهٔ تأمین آب و σ_j انحراف معیار مربوط به آن گزینه است. با توجه به رابطهٔ فوق با درنظرگرفتن فاصلهٔ 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

گزینهٔ انتقال آب	ریسک متوسط (درصد)	Z	انحراف معیار (درصد)	حد بالای ریسک(درصد)	حد پایین ریسک(درصد)
پساب	8.76	2.58	3.32	17.32	0.19
هزارمسجد	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

۳. ۴. تعیین اولویت گزینه‌ها

نتایج شبیه سازی فضای امکان نشان می دهد، گزینهٔ انتقال آب از تاجیکستان، فضای امکان بیشتری به‌لحاظ بروز ریسک دارد و اجرای آن نیز طبیعتاً با ریسک زیادی همراه خواهد بود. در بین سایر گزینه ها، پروژهٔ انتقال آب از کوه های هزارمسجد، کمترین مقدار متوسط ریسک را دارد؛ ولی بااین‌حال و به لحاظ فضای محتمل بروز ریسک، پروژهٔ انتقال پساب، فضای امکان کوچک‌تری نسبت به سایر گزینه ها دارد. درنتیجه، گزینهٔ انتقال پساب از غرب مشهد، نسبت به سایر گزینه ها در اولویت اول اجرا قرار دارد.

پارامترهای دیگری نیز وجود دارند که برای اولویت بندی گزینه‌های انتقال آب باید مدّنظر قرار گیرند. یکی از این پارامترها هزینهٔ تمام‌شدهٔ پروژه است (C). پروژه‌ای که هزینهٔ تمام‌شدهٔ کمتری نسبت به سایر گزینه‌ها داشته باشد، سهل‌الوصول‌تر خواهد بود و گزینه‌های که هزینهٔ 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)؛ هرچه میزان آب ورودی به مشهد بیشتر باشد، پروژه از اهمیت بالاتری برخوردار است. همچنین، با ترکیب تمام پارامترهای مذکور، به‌صورت شاخص ترکیبی، میتوان جهت اولویت بندی گزینه ها استفاده کرد. در این‌باره، ضریب آمگا (ω) مربوط به میزان بازچرخانی آب در حوضه است. این ضریب برای آب وارداتی به حوضه برابر ۱/۷ انتخاب شده است. درواقع از آنجا که استحصال آب از خارج حوضه است و پس از مصرف شهری ۷۰ درصد آب برگشتی تولید می‌کند، ضریب مزبور از جمع (۱ + ۰/۷) به‌دست 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 گزینهٔ تاجیکستان مناسب‌ترین گزینه خواهد بود. در این‌باره جدول ۹ را ببینید.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۹. اولیتبندی 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)
٤	تاجیکستان (۶۷ .۷۰)	انتقال پساب (۰.۲۱)	تاجیکستان (۲۸.۲۶)	عمان (۰.۰۰۰۲)
	گران (±)	کم (±)	زیاد (±)	کوچک (±)

۴. نتیجه

اگرچه تاکنون روش استانداردی برای ارزیابی ریسک ارائه نشده است اما بیش از ۷۰ نوع روش ارزیابی کمّی و کیفی برای ارزیابی ریسک وجود دارد. علاوه‌بر آن، ریسک همواره به‌صورت ضریبی از احتمال نمایش داده می شود. در این مقاله، علاوه‌بر ارائهٔ روشی مرکّب از روش‌های کمّی و کیفی، جهت ارزیابی ریسک، مفهوم ساده‌شدهٔ دیگری برای بیان ارتقای مفهوم ریسک عرضه شد. اولین روشِ استفاده‌شده برای ارزیابی ریسک بر مبنای محاسبهٔ سطح متوسط ریسک است. در این روش، با نظرسنجی از خبرگان، سطح احتمال و شدت اثر مربوط به عدم قطعیت های هر گزینه استخراج شد. سپس، از مجموع نظرهای همهٔ خبرگان، یک سطح ریسک متوسط برای هر گزینه به‌دست آمد. مطابق بررسی ما، ریسک ناشی از انتقال آب‌های خارج از مرز (انتقال آب از تاجیکستان) با احتمال متوسط (P=۰/۵۶) و شدت (S=۰/۴)، بیشترین سطح ریسک یعنی R=۰/۲۸ را داراست. گزینهٔ انتقال آب از کوه‌های هزارمسجد هم به‌دلیل نحوه و فصل انتقال آب در ماه‌های سرد و هم به‌علت قرار داشتن در داخل کشور دارای احتمال P=۰/۳۸ و شدت I=۰/۱۷ خواهد بود که ازنظر سطح متوسط ریسک، دارای کمترین میزان ریسک R=۰/۰۶۹ است. درنتیجه، اگر برای مقایسهٔ گزینه‌ها از متوسط ریسک استفاده کنیم، گزینهٔ انتقال آب از کوه های هزارمسجد مناسب ترین گزینه خواهد بود. در روش دوم که جهت محاسبهٔ 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 قطعیت های موجود را بیان کنند. از آنجا که تمام مخاطرات به‌صورت بالقوه امکان وقوع دارند، دامنهٔ ریسک هر پروژه نیز مدّنظر قرار گرفته است. یعنی دامنهٔ امکان پذیر وقوع ریسک های تأمین آب مشهد، شامل بدبینانه ترین تا خوشبینانه ترین نظرهای کارشناسی است. بااین‌حال، گزینهٔ انتقال پساب با کوچک‌ترین فضای امکان ریسک و به‌تناسب کمترین سطح ریسک نسبت به سایر گزینه ها در اولویت اجرا قرار دارد. در پایان، مجدداً چهار گزینهٔ انتقال، براساس قیمت تمام‌شده، حجم آب انتقالی جهت تأمین آب، ریسک گزینه ها، ضریب بازچرخانی اولویت‌بندی شده است. سیاست گذاران براساس هر کدام از پارامترهای مزبور می‌توانند انتخاب معقولانه داشته باشند.

Archive of SID
www.SID.ir

کتابنامه

قندهاری، ا. داوری، ک. عمرانیان خراسانی، ح. (۱۳۹۴). راهنمای چارچوب مدیریت ریسک. در: نخستین کنگرهٔ ملّی 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 theGeneva: 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 rogramming". *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".

Archive of SID
www.SID.ir

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.

Archive of SID
www.SID.ir