بررسی نقش آبهای غیرمتعارف (بازچرخانی و نمک‌زدایی) در نواحی خشک با رویکرد مدیریت بهم پیوستهٔ منابع آب

فرهاد یزدان‌دوست[۱]، محمّد مسعود نوروزی[۲]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۱۰/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۸

مقاله پژوهشی

چکیده

در این تحقیق، به مقولهٔ برنامه‌ریزی نیازهای آبی در نواحی خشک، به کمک منابع غیرمتعارف (آبهای بازچرخانی و نمک‌زدایی) با رویکرد مدیریت‌بهم‌پیوستهٔ منابع‌آب پرداخته شده‌است. برای ارزیابی نقش آبهای غیرمتعارف، یک جعبه‌ابزار(toolbox) طراحی شده که شامل مدلسازی بهم‌پیوسته، کمّی‌سازی، سناریوهای منابع و مصارف و ابزار تصمیم‌سازی است. برای بررسیِ نقش آب غیرمتعارف در تخصیص یکپارچه منابع و مصارف، مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع در این جعبه‌ابزار به کار گرفته‌شد؛ ابتدا شرایط موجود، در مدل شبیه‌سازی و واسنجی گردید. سپس سناریوهای منابع (متعارف و غیرمتعارف) و مصارف(شرب، کشاورزی و صنعت) برای پیش‌بینی در سال افق طرح مورد تحلیل قرار گرفت. از دیگر قابلیت‌های جعبه ابزار، رتبه‌دهیِ مطلوبیتِ سناریوها از طریق ابزار تصمیم‌سازی چندمعیارهٔ‌چندشاخصه (MADM) است، که این امکان را به وجود آورده که علی‌رغم پیچیدگی عوامل موجود در تصمیم‌گیری، رابطهٔ بین آنها به صورت سیستماتیک بررسی گردد. مطالعه، روی حوضهٔ کاشان انجام گرفت که به دلیل استفادهٔ بی‌رویه از منابع متعارف، با بحران مواجه است. نتایج نشان داد که امکان افزایش سطح زیرکشت، در این‌گونه حوضه‌ها وجود ندارد، امّا صنعت می‌تواند، به شرط استفاده از آبهای غیرمتعارف، تا حدّ معینی افزایش یابد؛ در این حالت، از میزان کمبود آب نیز نسبتاً کاسته می‌شود. گزینهٔ انتقال آب از سایر حوضه‌ها، در مقایسه با گزینهٔ استفاده از آبهای غیرمتعارف، گزینهٔ مناسبی نیست. نتایج مبین نقش برجستهٔ آب-بازچرخانی برای صنعت، و آب‌نمک‌زدایی‌شده برای شرب است. طبق این تحقیق، جعبه‌ابزار به دلیل دربرگیری ابزارهای مناسب و قابل تعمیم، کمبودها را به صورت یکپارچه ارزیابی کرده و به سوی تصمیم-گیری مناسب‌تر هدایت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آب غیرمتعارف، بازچرخانی، آب لب‌شور، جعبه‌ابزار، تصمیم‌سازی‌چندشاخصه، مدیریت بهم‌پیوستهٔ منابع، نرم‌افزارDEFINITE .

[۱] دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه‌صنعتی‌خواجه‌نصیرالدین‌طوسی تهران، تلفن: ۰۲۱۸۸۷۷۹۴۷۳، yazdandoost@kntu.ac.ir. (مسؤل مکاتبه).

[۲] دانشجوی دکتری مهندسی آب‌وسازه‌های‌هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه‌صنعتی خواجه‌نصیرالدین‌طوسی، تهران، تلفن: ۰۹۳۷۵۰۸۱۹۱۵، mnoruzi@mail.kntu.ac.ir.

مقدمه

به کارگیری آبهای غیرمتعارف در کنار آبهای متعارف، از نقطه‌نظر مدیریت‌بهم‌پیوستهٔ‌منابع آب(IWRM)[1] ، از ویژگی‌های تحقیق حاضراست. در دهه‌های اخیر، کم‌بارشی ناشی از تغییر اقلیم و رشد تقاضای آبی، خصوصاً در حوضه‌های خشک، مدیران اجرایی را به تلاش برای تأمین کمبود آب، از طُرُق مختلف و گاهاً شتابزده و کوتاه‌مدّت وادار کرده است. کشورها هزینه‌های زیادی را برای انتقال آب از نواحی دوردست متقبّل می‌شوند. امّا متاسفانه، این هزینه‌ها، فاقد یک رویکرد سیستماتیک می‌باشد. مدیریت‌بهم‌پیوستهٔ‌منابع‌آب، رویکردی برای تأمین درازمدّت آب، با درنظر گرفتن اکوسیستم، منابع متعارف و غیرمتعارف و ذینغعان است که مدیران آبی را به انتخاب بهترین راه‌حل با کمترین خسارت، هدایت می‌کند.

طبق تعریف، آب غیرمتعارف شامل آب بازچرخانی[2]، آب نمک‌زدایی شده[3] و آب فسیلی[4] می‌باشد (Jaber and Mohsen, 2001). در این تحقیق به آبهای غیرمتعارف بازچرخانی و نمک‌زدایی پرداخته شده است.

۹۹ درصد فاضلاب شهری، آب، و کمتر از ۰/۵ درصد آن آلاینده است. اگر فاضلاب شهری از میان فرایندهای تصفیه عبور داده شود و به استاندارد معینی برسد، اصطلاحاً به آن آب بازچرخانی می‌گویند. آب بازچرخانی می‌تواند برای تغذیهٔ سفره‌های آب‌زیرزمینی، صنعت، آبیاری کشاورزی (کریمی و همکاران، ۱۳۹۴) و حتی شرب استفاده شود. در چین از ۱۹۵۸ استفاده از آب بازچرخانی در کشاورزی، به سرعت رشد کرده است. امروزه اگـرچه به کارگیری آب بازچرخانی رایج است، امّا کسرکوچکی ازکلِّ فاضلاب تولید شدهٔ شهری و صنعتی را در برمی‌گیرد (Miller, 2006).

دومین آب غیرمتعارف بحث شده، آب نمک‌زدایی شده از سفرهٔ زیرزمینی لب‌شور است. نمک‌زدایی نوعی تصفیهٔ آب است که در آن، نمک و سایر مواد معدنی از آب دریا یا آب لب‌شور جدا می‌گردد تا برای مصرف انـسان ایـمن باشد. نرخ روزانهٔ تولید آب نمک‌زدایی در سال ۱۹۶۰ کمتر از ۱ میلیون مترمکعب بود (El-Dessouky and Ettouney, 2002) . امّا این عدد در سال ۲۰۰۰، به بیش از ۲۶ میلیون مترمکعب رسید که در حال افزایش است (Tsiourtis, 2001).

اگرچه استفاده از این منابع غیرمتعارف، در دنیا در حال افزایش است، امّا در اغلب موارد، از آنها صرفاً، به صورت منابعی مجزا، برای حل سریع مشکل کم‌آبی استفاده شده است؛ یعنی آنها را به عنوان فاکتوری برای تصمیم‌سازی در بین راه‌حل‌های مختلف طبق رویکرد مدیریت‌بهم‌پیوستهٔ‌منابع‌آب ندیده‌اند. پرسش اصلی این پژوهش این است که طبق رویکرد IWRM ، از بین راه‌حل‌های مختلف مانند انتقال آب یا استفاده از منابع غیرمتعارف و ... کدامیک مناسب‌تر است و آب‌بازچرخانی یا آب نمک‌زدایی تا چه میزان می‌توانند کمبود آب در نواحی خشک را کاهش دهند.

به منظور اجرای کاربردی رویکرد IWRM در منابع غیرمتعارف آب، یک جعبه‌ابزار کاربردی طراحی گردید. در این جعبه‌ابزار به کمک مدلسازی بهم‌پیوسته، ابتدا منابع و مصارف، کمّی‌سازی شده و سپس سناریوهای محتمل آبرسانی و نیازمندی ارزیابی گردید. معیار قضاوت در این ارزیابی‌ها، شاخص کمبودآب[5] در نظر گرفته شده است. جعبه‌ابزار، همچنین شامل ابزار مدیریت‌تصمیم‌سازی‌چندشاخصه(MADM)[6] برای رتبه‌دهی به سناریوهای مختلف بوده است.

[1] . Integrated Water Resources Management
[2]. Rrecycled water
[3]. Desalinated water
[4]. Paleo water or fossil water
[5] . Unmet Demand
[6] . Multiple Attribute Decision Making

دو شهرستان کاشان و آران بیدگل در کویر مرکزی ایران (حوضهٔ آبریزکاشان)، به عنوان مورد مطالعاتی یک ناحیهٔ خشک که از کمبود آب رنج می‌برند، انتخاب شدند. اگرچه کم‌آبی در حوضهٔ کاشان سابقه‌ای طولانی داشته، امّا با افزایش جمعیت و کشاورزی، استفادهٔ غیرعلمی از سفره-های زیرزمینی و تغییرات اقلیمی در سالهای اخیر، خشکسالی وارد مرحلهٔ بحرانی شده است. خشکسالی یکی از خطرناک‌ترین بلاهای طبیعی است که مشکلات عمده‌ای را درتوسعه ایجاد می‌کند (بهشتی‌راد، ۱۳۹۴). در مجموع، کاشان با کمبود شدید آبهای متعارف روبرو است.

رویکرد و متدولوژی

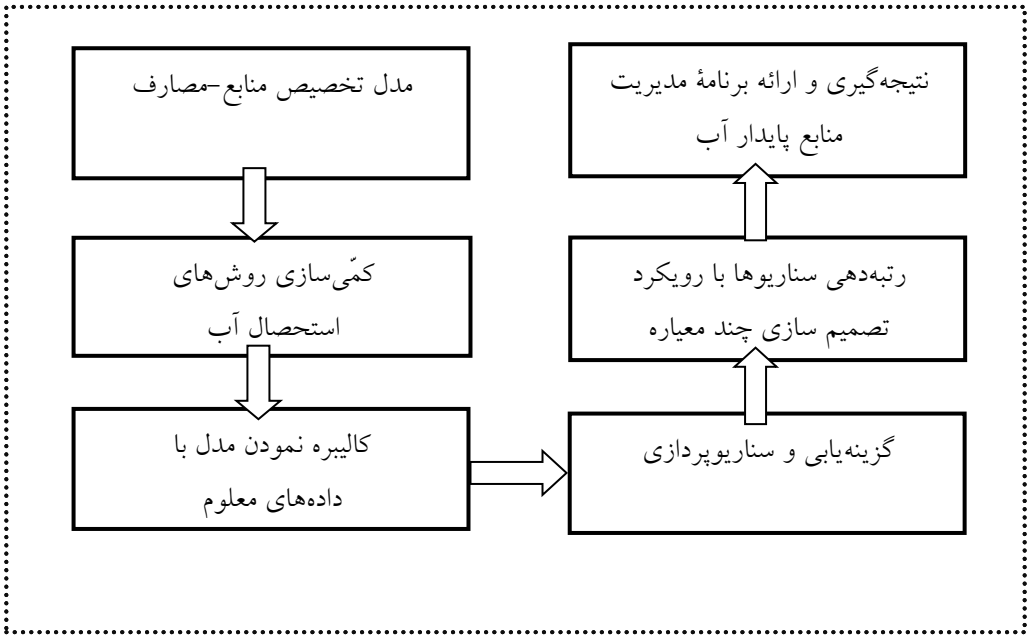
الف)رویکرد مدیریت‌بهم‌پیوستهٔ‌منابع

منظور از رویکرد، جهت‌گیری در تصمیم-سازی بر طبق برنامه برای رسیدنِ تدریجی به مقصدی معین با نگاهی وسیع است. رویکرد مدیریت‌بهم‌پیوستهٔ منابع آب، فرایندی است که مدیریت و توسعهٔ هماهنگ منابع متعارف و غیرمتعارف آب را بهبود می‌بخشد؛ و هدفش افزایش رفاه، بدون آسیب زدن به پایداریِ اکوسیستم‌ها است. تصمیم‌گیری براساس IWRM، کل‌نگرانه، فنی و علمی است. طبق رویکرد IWR*M*، ذینفعان، مراقبند تا به اسمِ تامین نیازهای آبی‌شان، اکوسیستم منابع آبی را تخریب نکنند(Cardwell et al., 2006). مدیریت‌بهم‌پیوستهٔ‌منابع‌آب، یک رویکرد علمی برای رسیدن به توسعهٔ پایدار است.

IWRM خواستار تغییر پارادایم از مدیریت کوتاه مدت، بخشی و صرفاً سازه‌ای، به مدیریت بلندمدت، کل‌نگرانه و نرم، با صرف مناسب تمام منابع متعارف و غیرمتعارف است. برای ارزیابی خط‌مشی رویکرد IWRM، توسعهٔ یک بسته متشکل از ابزارهای مختلف و بهم‌مرتبط به نام جعبه‌ابزار، لازم است. در دل این جعبه‌ابزار، رویکرد و فلسفهٔ مدیریت‌بهم‌پیوستهٔ‌منابع وجود دارد.

ب)متدولوژی

به منظور بررسی نقش آبهای غیرمتعارف در مدیریت منابع، متدولوژی به کار گرفته شده، بر مبنای توسعهٔ یک جعبه‌ابزارعملیاتی می‌باشد. این جعبه‌ابزار از اجزای مختلفِ بهم‌پیوسته تشکیل شده است. اجزا شامل یک مدل تخصیصِ منابع-مصارف برای کمّی‌سازی و شبیه‌سازی داده‌های حوضه، سناریوهای محتملِ آینده و ابزار حمایت از تصمیم‌سازی برای انتخاب بین سناریوها طبق رویکرد مدیریت‌بهم‌پیوسته می‌باشد. نظریهٔ اصلی در این تحقیق بررسی این موضوع بوده که رویکرد مدیریت‌بهم‌پیوستهٔ منابع‌آب (IWRM)، با وارد کردن راه‌حلِ آب‌های غیرمتعارف، تا چه میزان جامع‌تر و پایدارتر خواهد شد. همچنین ورود آب غیرمتعارف به سیستم، نباید بدون توجه به رویکرد مدیریت جامع و کل‌نگرانه باشد. روند انجام متدولوژی این تحقیق، طبق شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل(۱): روند متدولوژی در قالب یک جعبه‌ابزار

برنامه‌ریزی سیستم‌های آب، اغلب با پارامترهای غیرقطعی متعددی، ناشی از نامعینی-ها در تعریفِ اهداف و پیش‌بینی‌ها همراه می-باشد. برای رسیدن به انسجام درونی، نگاه جامعی لازم است تا بتوان پارامترهای قطعی و غیرقطعی را تعریف و بین آنها رابطه ایجاد نمود. بعد از تعریف پارامترها، برای تبیین ارتباط سیستمی آنها می‌توان از یک مدل شبیه‌سازیِ تخصیص، استفاده کرد. در تحقیق حاضر برای این منظور، از سیستم ارزیابی و برنامه‌ریزی آب[1](WEAP) استفاده شده‌است. مدلWEAP ابزاری میکروکامپیوتری برای مدیریت و برنامه‌ریزیِ اجراییِ بهم پیوسته، انعطاف‌پذیر و جامع در منابع آب است. *WEAP* ، منابع آب را با نگاه زیست-محیطی تخصیص می‌دهد (موحدیان‌عطار و صمدی بروجنی، ۱۳۹۲). این مدل به طور همزمان، مصارف آب را در معادله‌ای با جریانهای سطحی، آبخوان‌ها، مخازن، کانال‌های انتقال و غیره بررسی می‌نماید؛ و نیاز آبی، تامین، جریان‌ها و ذخیره را توماً شبیه‌سازی می‌کند (Sieber and Purkey, 2015). به این ترتیب مدل مذکور تا حدود زیادی می‌تواند رویکرد مدیریت-بهم‌پیوسته منابع را تأمین نماید.

دنباله‌ای از رخدادها که به طور منطقی در نظر گرفته شده‌اند، اساس سناریوها برای تحولات آینده در منطقه مورد مطالعه را شکل می‌دهند. سناریوها براساس پارامترهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی تعریف شدند و در برابر معیارهای توسعهٔ پایدار صحت‌سنجی گردیدند. در این مدل، یک *سناریوی پایه* و تعدادی سناریوی معقول ساخته شد. سناریوی پایه، ادامهٔ وضع موجود، بدون حضور منابع غیرمتعارف، تا سال افق طرح است؛ که برای داده‌های موجود، تطبیق داده شد و مدل کالیبره گردید. پارامترهای زیر برای ساخت سناریوها، به کار گرفته شدند:

۱. نرخ رشد جمعیت
۲. اولویت تخصیص به نیازها

[1] . Water Evaluation And Planning System

۳. وجود یا عدم آبهای غیرمتعارف
۴. شرایط کشاورزی
۵. تغییرات در میزان صنایع
۶. وجودیاعدم‌انتقال‌آب بین‌حوضه‌ای.

در مدل ساخته شدهٔ WEAP، فرضیات منطقیِ ذیل در نظر گرفته شده‌اند: الف. همهٔ آب‌های برگشتی (به منظور حفظ اکوسیستم)، به آب زیرزمینی تخلیه می‌شوند. ب. رفتار نیاز شربِ روستایی، شبیه رفتار نیاز شرب شهری است. ج. مقدار تغذیهٔ طبیعیِ سالانهٔ آبخوان(ناشی از بارش)، ثابت است. د. ترتیب اولویت برداشت از منابع متعارف و غیرمتعارف یا اولویت تأمین[1] در مصارف مختلف، متفاوت است؛ ترتیب در مصرف صنعت، ابتدا با آب‌بازچرخانی و سپس با آب-زیرزمینی است. برای مصرف شرب، اولویت تأمین با آب زیرزمینی و سپس آب نمک‌زدایی و در نهایت آب رودخانه است. برای تأمین نیاز کشاورزی، اولویت برداشت، به این ترتیب می-باشد: ابتدا از رودخانه، سپس از آبخوان‌ها، و در نهایت برای جبران کمبودهای باقیمانده، از آب-بازچرخانی برداشت می‌شود. هـ در هرسناریو، اولویت‌تأمین نیازهای[2] شرب، صنعت و کشاورزی متفاوت در نظر گرفته شده است و در هر سناریو، اولویت تأمینِ نیاز، با یکی از اینها می‌باشد.

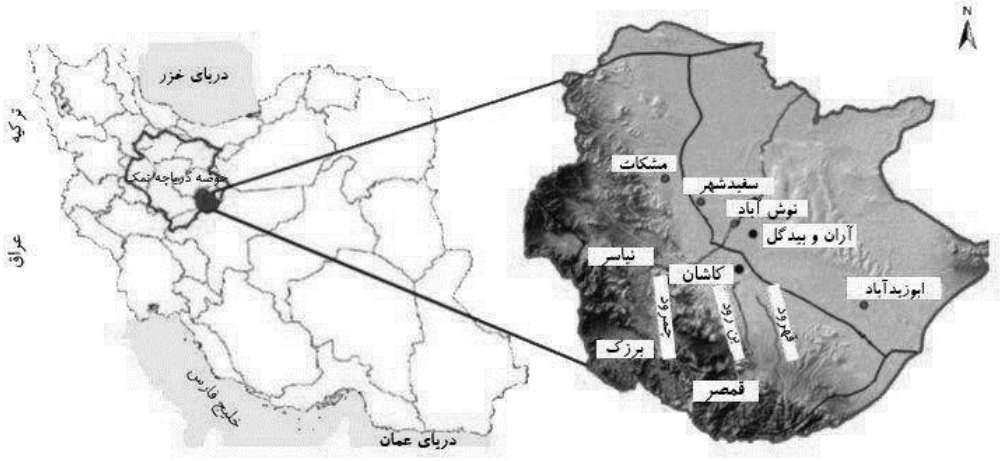
به طور کلّی، تحلیل سناریوها، روشی مناسب برای رویارویی با پارامترهای غیرقطعی در تصمیم‌گیری است. به منظور ساده‌سازی شرایط پیچیده در انتخاب بین سناریوها، علم تصمیم-سازی‌چندشاخصه[3](MADM) و ابزارهای مختلف مرتبط با آن توسعه یافته‌است (اصغرپور، ۱۳۹۴). یکی از ابزارهای مناسب و متداول برای اِعمال و حل تصمیم‌سازی چندمعیاره، خصوصاً در تحقیقات آب، نرم‌افزار DEFINITE[4] می‌باشد (Greco etal., 2005). نرم‌افزار DEFINITE یک مدل حمایت از تصمیم‌گیری است که برای بهبود سطح مدیریت در مسائل زیست‌محیطی و آبی، توسط موسسهٔ مطالعات زیست‌محیطی دانشگاه آمستردام نوشته شده است. این مدل با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی، تمام اطلاعاتی که توسط متخصصین ایجاد شده را به صورت یک مجموعهٔ کامل از توابعِ ارزش جمع‌آوری می‌کند. تصمیمات حاصل از این مدل، سیستماتیک و بی‌تناقض است. پژوهشگران از این نرم‌افزار برای تصمیم‌سازی در زمینهٔ مدیریت‌بهم‌پیوستهٔ تالاب در اتحادیه اروپا استفاده کرده‌اند و از نتایج آن راضی بوده‌اند (Janssen etal., 2005) . مبانی محاسباتی در DEFINITE، بر پایهٔ تکنیک REGIME می‌باشد. در تکنیک REGIME مجموعهٔ جواب‌ها، قابل‌شمارش هستند و ماهیتی گسسته دارند. در این تکنیک، گزینه‌ها به طور صریح تعریف شده‌اند. تکنیک REGIME با استفاده از شیوهٔ وزن‌دهی روی شاخصه‌ها (معیارها)، گزینهٔ برتر را معرفی می‌کند. این تکنیک را می‌توان به عنوان یک تعمیم ترتیبی[5] از روش‌های مقایسه دو به دویی[6] دانست که در واقع، نوعی تحلیل توافقی به حساب می‌آید. پس از کسب پاسخ‌های مناسب از تصمیم‌سازی چند شاخصه، سرانجام، سیاست‌ها و راهکارهای عملی برای شرایط رایج در نواحی خشک، مطرح گردید.

مشخصات منطقه مورد مطالعه

حوضهٔ آبریز کاشان، جزئی از حوضهٔ بزرگ دریاچهٔنمک می‌باشد که بین کوه‌کرکس و کویرمرکزی قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع آن، ۱۲۰۰ متر در غرب و حداقل ارتفاع آن ۸۰۰ متر در شرق است. این حوضه، از شمال غربی به جنوب شرقی کشیده شده و بین طول‌های '۵۰ °۵۱ تا '۵۵ °۵۱ شرقی، و عرض‌های '۴۵ °۳۳

[1]. Supply Preference
[2] .Demand Priority
[3] . Multiple Attribute Decision Making
[4] . Decisions support system for a finite set of alternatives
[5] . Ordinal generalization
[6] . Pairwise comparison

تا ′۲۳ °۳۴ شمالی قرار دارد و تا تهران حدود ۲۴۰ کیلومتر فاصله دارد.



شکل(۲): موقعیت حوضهٔ آبریز کاشان و آران و بیدگل

رودخانه‌های فصلی این حوضه نیمه‌خشک شده‌اند. رشد جمعیت، استفاده نکردن از تکنولوژی جدید آبیاری، وضع منابع متعارف را در آنجا بحرانی کرده است. متوسط بارندگی در سال ۹۳، حدود ۱۰۰ میلی‌متر است که از بارش سالانه ایران(۲۵۲ میلی‌متر) پایین‌تر می‌باشد. هشت شهر و دوازده روستا در این حوضه قرار دارند که جمعیت آنها در جدول(۱) آمده است. متوسط نرخ رشد جمعیت در شهر ۱/۱۴ و در روستا ۰/۶ می‌باشد (دفتر آمار شرکت آب و فاضلاب کاشان،۱۳۹۳).

جدول(۱): جمعیت شهرهای مورد مطالعه در حوضه -۱۳۹۳

کل	روستاها	سفیدشهر	ابوزیدآباد	نوش‌آباد	آران وبیدگل	برزک	نیاسر	قمصر	کاشان
۴۶۰۰۲۷	۴۴۱۵۹	۶۲۲۱	۶۱۴۴	۱۲۴۰۲	۶۹۶۸۸	۳۳۴۱	۳۰۲۱	۷۰۸۵	۳۰۷۹۶۶

داده‌های منابع و مصارف

الف)منابع متعارف

منابع آب متعارف این حوضه عبارتند از آب سطحی(بُن‌رود و قُهرود)، آب‌زیرزمینی، و تونل انتقال‌بین‌حوضه‌ای‌گلاب‌می‌باشند(جدول۲). متوسط سطح ایستابی آب‌زیرزمینی از سال۱۳۶۹ تا ۱۳۸۹، ۰/۵ متر در هر سال کاهش داشته است. تونل انتقال گلاب، به طول ۱۱ کیلومتر، آب را از سرچشمه‌های حوضهٔ زاینده‌رود در زاگرس، به این حوضه منتقل می‌کند. ظرفیت بالقوهٔ تونل گلاب، هنوز به حدّ نهایی خود نرسیده است. طبق مصوبهٔ هیات وزیران، قرار بوده دبی در افق ۱۴۲۰، به Mm^3 ۳۵ برسد. ولی با توجه به شرایط واقعی، امکان چنین افزایشی نیست و حداکثر به (Mm^3 ۲۰) خواهد رسید (گزارش شورای شهر،۹۳).

جدول(۲): منابع آب متعارف سال ۹۳-میلیون مترمکعب

منبع متعارف	دبی	درصد
رودخانه و نهر	۱۵/۲	۳/۸
آب‌زیرزمینی	۲۱۸	۹۳/۴
تونل گلاب	۱۱	۲/۸
جمع کل	۲۴۷	۱۰۰

ب) منابع غیرمتعارف

آبهای غیرمتعارف این حوضه، آب بازچرخانی و نمک‌زدایی هستند. چنانکه در جدول ۳ نشان داده شده، کارخانهٔ آب بازچرخانی، در سال پایهٔ ۹۳ هنوز راه اندازی نشده، امّا در سال ۹۴ با ظرفیت یک مدول در کاشان ساخته شده است. برای محاسبهٔ حجم فاضلاب شهری، ضریب تبدیل فاضلاب ۸۰ درصد در نظر گرفته شد (نشریه ۳-۱۱۸). حجم فاضلاب ورودی به مدول اوّل، ۱/۲ میلیون‌مترمکعب در سال ۹۴ (۰/۰۳۸m3/s) بوده ، ولی بعد از تکمیل، دبی هر مدول به ۸/۷۶ میلیون‌مترمکعب(۰/۲۷۸ m3/s) رسید. تا افق ۱۴۲۰، ظرفیت نهایی بازچرخانی کاشان، به ۳۵ میلیون‌مترمکعب (۱/۱۱ m^3/s) خواهد رسید. در آران‌وبیدگل یک کارخانهٔ بازچرخانی با ظرفیت یک مدول در سال ۱۴۱۰ ساخته می‌شود. سپس این کارخانه در سال ۱۴۲۰ به حداکثر ظرفیتش با دو مدول خواهد رسید.

جدول(۳): سیر افزایش ظرفیت کارخانهٔ بازچرخانی تا افق طرح-میلیون مترمکعب

سال	مدول کاشان	حجم کاشان	مدول آران‌بیدگل	حجم آران‌بیدگل
۱۳۹۳	-	صفر	-	صفر
۱۳۹۴	۱مدول-با ظرفیت ناقص	۱/۲	-	صفر
۱۳۹۶	۱ مدول- با ظرفیت کامل	۸/۷۶	-	صفر
۱۴۰۱	۳ مدول	۲۸/۲۶	-	صفر
۱۴۱۰	۴ مدول	۳۵	۱ مدول	۱/۷
۱۴۲۰	۴ مدول	۳۵	۲ مدول	۳/۴

دو شهر ابوزیدآباد و نوش‌آباد دارای منابع غنی آب لب‌شور زیرزمینی با ضریب هدایت الکتریکی حدود ۲۸۰۰moh/cm µ اند. ظرفیت آبهای غیرمتعارف درجدول۴ آمده است..

جدول(۴): آب‌های غیرمتعارف درسال ۹۳-میلیون مترمکعب

شهر	بازچرخانی	نمک‌زدایی
کاشان	۲۲/۱۸	-
آران و بیدگل	۴/۹	-
ابوزیدآباد	-	۱/۳۲
نوش‌آباد	-	۲/۲۶

ج)مصارف

سهم تفکیکی مصارف در جدول ۵ آده است. صنعت، هیچ مصرفی از آب سطحی ندارد. آب رودخانه، در بالادستِ حوضه، صرف کشاورزی می‌گردد.

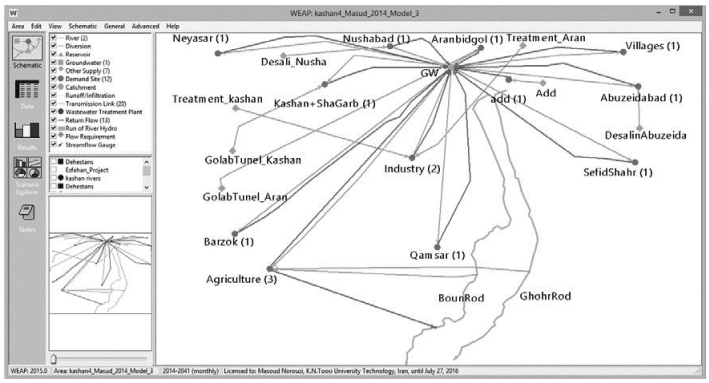
جدول (۵): نیاز مصرف آب به تفکیک کاربری در سال ۹۳- میلیون مترمکعب

مصرف	دبی	درصد
کشاورزی و فضای‌سبز	۳۸۵	۸۶/۲
شرب و بهداشت شهری	۳۹/۵	۸/۸۵
روستایی	۶	۱/۳۵
صنعت	۱۶	۳/۶
جمع کل	**۴۴۶/۵**	**۱۰۰**

نتایج و بحث

الف) مدل‌سازی با نرم افزار

تمام داده‌های ضروری برای ساخت یک مدل بهم‌پیوستهٔ اولیه برای این حوضه، جمع‌آوری و دسته‌بندی گردید. با داشتن بازهٔ مناسبی از داده‌های موجود، سال ۹۳(۲۰۱۴م) به عنوان سال پایه در نظر گرفته شد، که درآن بیشترین تقاضا برای کشاورزی و کمترین تقاضا برای صنعت بود. منابعی شامل آب زیرزمینی، رودخانه، انتقال بین حوضه‌ای با تونل گلاب، آب نمک- زدایی و آب بازچرخانی در نرم‌افزارWEAP و به کمک نقشهٔ منطقه در محیط GIS تعبیه و در مدل ترسیم گردید(شکل۳). سپس میزان مصرف و انواع تقاضا برای سال پایه ۱۳۹۳ به هر گره (شهر و روستا) داده شد. کمبود آب شرب برای سال ۹۴، از طریق مدل پیش‌بینی گردید. سپس با کمبود شرب واقعیِ سال ۹۴ که از شرکت آب و فاضلاب کاشان اخذ شده بود، مدل واسنجی شد. مدل پایه، تا سال افق ۱۴۲۰، صرفاً با افزایش آبِ انتقال میان حوضه‌ایِ تونل گلاب، طراحی گردید.



شکل(۳): شماتیک حوضهٔ کاشان و آران بیدگل در مدل *WEAP*

ب) سناریوپردازی

سند طرح جامع آب منطقه‌ای و بخش- نامهٔ توسعهٔ ادارهٔ کشاورزی کاشان، سناریوهای متفاوت و متضادی را برای آینده برنامه‌ریزی کرده‌اند. چند سناریو مکمل برای حالاتِ باقی‌مانده نیز به سناریوهای سند طرح جامع و

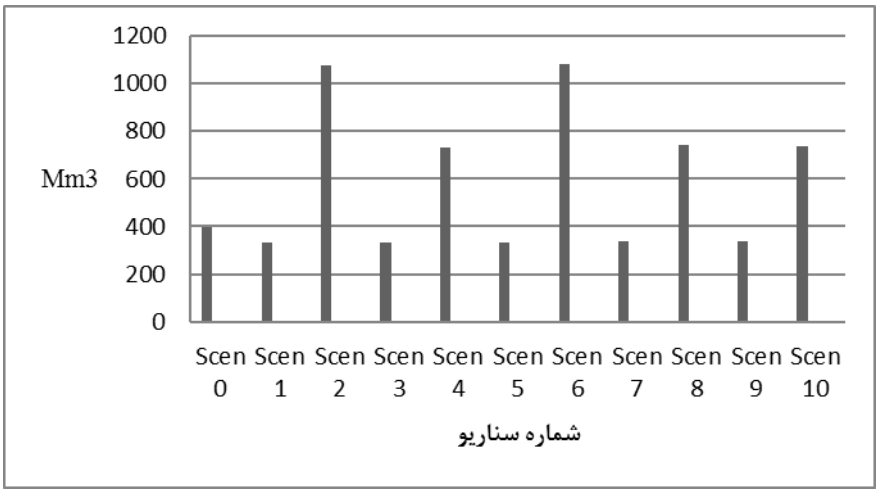
بخش‌نامه مذکور، اضافه گردید تا تقریباً تمام حالات پوشش داده شود. لذا یازده سناریو شامل یک سناریوی پایه(ادامهٔ وضع موجود) به همراه ده سناریوی دیگر در نظر گرفته شد. این سناریوها، بر اساس افزایش یا ثبوت سطح زیرکشت، افزایش یا ثبوت کارخانجات، مورد مصرف آب بازچرخانی (در کشاورزی و یا صنعت)، و همچنین اولویت برنامه‌ریزی مدل WEAP در ترتیب تخصیص (مصرف در شرب یا صنعت یا کشاورزی) تنظیم گردیده و سعی شده است تا نزدیک‌ترین شرایط به حالت‌های واقعی باشد. در تمام یازده سناریو، جمعیت طبق نرخ رشد منطقه، افزایش می‌یابد. سناریوی پایه، بدون افزایشِ سطح زیر کشت یا تعداد صنایع، فقط افزایش آب بین حوضه‌ای گلاب را تا ۲۰ Mm3/year را دارا است. در سایر ده سناریوی دیگر، از آب انتقال بین‌حوضه‌ای استفاده نشده است؛ ولی تا افق ۱۴۲۰، آب بازچرخانی و آب نمک‌زدایی، به تدریج افزایش می‌یابد. محل مصرف آب نمک‌زدایی در تمام سناریوها، شرب است ولی محل مصرف آب بازچرخانی در صنعت و کشاورزی می‌باشد، زیرا به دلایل فرهنگی، امکان استفادهٔ آن برای شرب وجود ندارد. این ۱۱ سناریو، تقریباً تمام حالات منطقی ممکن را پوشش می‌دهد(جدول۶).

جدول(۶): خلاصهٔ یازده سناریوی تحقیق

سناریو	افزایش‌سطح کشاورزی	افزایش‌میزان صنایع	محل مصرف آب بازچرخانی	ترتیب اولویت تامین نیازها
پایه	ثابت	ثابت	—	شرب=صنعت=کشاورزی
یک	ثابت	ثابت	در کشاورزی و صنعت به‌طورمساوی	شرب=صنعت=کشاورزی
دو	✓	ثابت	کشاورزی	۱.شرب ۲.صنعت ۳.کشاورزی
سه	ثابت	✓	صنعت	۱.شرب ۲.صنعت ۳.کشاورزی
چهار	✓	✓	کشاورزی(٪۳۰)-صنعت(٪۷۰)	۱.شرب ۲.صنعت ۳.کشاورزی
پنج	ثابت	ثابت	در کشاورزی و صنعت به‌طورمساوی	۱.شرب ۲.کشاورزی ۳.صنعت
شش	✓	ثابت	کشاورزی	شرب=صنعت=کشاورزی
هفت	ثابت	افزایش	صنعت	شرب=صنعت=کشاورزی
هشت	✓	✓	کشاورزی(٪۳۰)-صنعت(٪۷۰)	شرب=صنعت=کشاورزی
نه	ثابت	✓	صنعت	۱.کشاورزی ۲.شرب ۳.صنعت
ده	✓	✓	کشاورزی(٪۳۰)-صنعت(٪۷۰)	۱.شرب ۲.کشاورزی ۳.صنعت

نتایج مدل WEAP متعدد است، که برای رعایت اختصار، در اینجا مقدار *کمبودآب*[1] برای هریک از سناریوهای فوق، به صورت شکل ۴ آورده می‌شود.

[1] . Unmet Demand



شکل(۴): مقایسهٔ کمبود آب در سناریوها در یک نگاه- ۱۴۲۰-میلیون مترمکعب

با نگاهی اجمالی به شکل۴، مشخص می‌شود که سناریوی پایه(انتقال بین‌حوضه‌ای)، با $۴۰۰Mm^3$ کمبود، سناریوی مناسبی نیست. پنج سناریوی۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ نسبت به سایر سناریوها از کمبود آب کمتری برخوردارند. امّا با توجه به اینکه ارزش آبی فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شرب یکسان نیست، صرفاً کمبود آب یک سناریو، نمی‌تواند ملاک قضاوت منطقی باشد و لازم است کمبود در نوع مصرف(شرب، صنعت و کشاورزی)، به تفکیک مشخص شده باشد. شاخصه‌هایی که بر اساس آنها در این تحقیق تصمیم‌گیری خواهد شد عبارتند از کمبود شرب، کمبود صنعت، و کمبود کشاورزی. مقصود تصمیم‌گیر آن است که این شاخصه‌های کمبود را کاهش دهد. از آنجا که سناریوها (یا گزینه‌ها) مشخص و شمارا هستند، لذا مدل تصمیم‌سازی‌چندشاخصه(MADM) انتخاب گردید که به کمک نرم افزار DEFINITE مورد بررسی واقع شد.

ج) تصمیم‌یاری

طبق جدول ۷، درنرم‌افزار DEFINITE ابتدا، مساله به صورت مجموعهٔ «شاخصه»ها[1]، و«گزینه»ها (یا سناریوها)[2] تعریف گردید.

جدول(۷): سناریوها و شاخصه‌ها در افق۱۴۲۰ در DEFINIT-میلیون مترمکعب

سناریوها	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
شاخصه‌ها											
کمبودشرب	۳۳/۷	۳۷/۸	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۴	۸/۴	۲۲/۸	۲۲/۸	۲۱/۸	۱۴/۹	۰/۱۴
کمبودصنعت	۹/۴	۰/۰	۲/۶۱	۰/۰	۵/۹۲	۱۳/۳	۱۴	۸/۴	۳۱/۹	۰/۰	۲۶
کمبودکشاورزی	۳۱۱	۲۹۶	۲۹۵	۳۳۳	۷۲۷	۳۱۲	۱۰۴۷	۳۰۸	۶۸۷	۳۷۲	۷۱۰

[1] . Attributes or Criteria
[2] . Alternatives or Scenarios

پس از ورود گزینه‌ها و شاخصه‌های حاصل از مدل تخصیص، به نرم‌افزارDEFINITE، هر سه شاخصه، بین عدد صفر تا یک، استاندارد می‌شوند تا با یکدیگر همخوان و قابل مقایسه باشند. سپس شاخصه‌ها وزن‌دهی شدند. ساختن مسائل چند-شاخصه تحت عدم قطعیت با این شیوهٔ وزن‌دهی، دارای مزیتِ سادگی و شفافیت برای کاربر است. ترکیب وزن‌دهی به شاخصه‌ها را می‌توان برای تمام حالات ممکن به طورجداگانه نوشت. امّا با توجه به این واقعیت که تأمین شرب از ارجحیت حیاتی برخودار است، لذا در این تحقیق، به کمبود در شرب، وزن بالاتری داده شد. چهار ترکیب مختلف پیشنهادی برای وزن‌دهی (MCA1 تا MCA4) در جدول ۸ آورده شده است.

جدول۸. ماتریس ترکیب وزن‌ها برای شاخصه‌های کمبود در شرب، صنعت، کشاورزی

ترکیب	MCA1	MCA2	MCA3	MCA4
اولویتها				
اول	کمبود در شرب	کمبود در شرب- صنعت	کمبود در شرب-کشاورزی	کمبود در شرب
دوم	کمبود در صنعت	کمبود در کشاورزی	کمبود در صنعت	کمبود در کشاورزی
سوم	کمبود در کشاورزی	-	-	کمبود در صنعت

سپس، طبقه‌بندی یا رتبه‌دهی سناریوها(گزینه‌ها)ی موجود بر مبنای ارزش‌های کلی انجام شد؛ یعنی سناریو(گزینه‌ای) که دارای رتبهٔ بالاتری است، سناریوی مناسب‌تری می‌باشد. در اینجا سناریویی دارای رتبهٔ بالاتری است که *کمبودآب* کمتری داشته باشد. رتبه‌دهی بر حسب امتیاز بدست آمده، بین صفر تا ۱ می‌باشد و سناریویی که امتیازش به یک نزدیک‌تر باشد، مطلوب‌تر است(جدول۹).

جدول(۹): نتایج خروجی رتبه دهی سناریوها- بازهٔ صفر تا یک

سناریو	اولویت	خروجی DEFINITE	سناریو	اولویت	خروجی DEFINITE	سناریو	اولویت	خروجی DEFINITE
	MCA1	۰/۷۷		MCA1	۰/۸۹		MCA1	۰/۵۷
پایه	MCA2	۰/۷۶	چهار	MCA2	۰/۸۶	هشت	MCA2	۰/۴۳
	MCA3	۰/۸۵		MCA3	۰/۷۳		MCA3	۰/۶
	MCA4	۰/۸۱		MCA4	۰/۸۳		MCA4	۰/۶۵
	MCA1	۰/۸۳		MCA1	۰/۸۵		MCA1	۰/۹۲
یک	MCA2	۰/۸۸	پنج	MCA2	۰/۷۹	نه	MCA2	۰/۹۴
	MCA3	۰/۸۸		MCA3	۰/۹۲		MCA3	۰/۹۳
	MCA4	۰/۸۳		MCA4	۰/۹۱		MCA4	۰/۹۲
	MCA1	۰/۸۷		MCA1	۰/۶۷		MCA1	۰/۷۱
دو	MCA2	۰/۸۵	شش	MCA2	۰/۶۲	ده	MCA2	۰/۵۸
	MCA4	۰/۵۵		MCA3	۰/۴۵		MCA3	۰/۶۷
	MCA5	۰/۷۱		MCA4	۰/۵۸		MCA4	۰/۷۶
	MCA1	۰/۳۸		MCA1	۰/۸۳			
سه	MCA2	۰/۵۵	هفت	MCA2	۰/۸۱			
	MCA3	۰/۵۳		MCA3	۰/۸۹			
	MCA4	۰/۳۸		MCA4	۰/۸۷			

از محاسبات و تصمیم‌سازی‌های فوق چنین برمی‌آید که در اکثر موارد، سناریوی ۹ بهترین گزینه برای انتخاب است، زیرا در تمام موارد دارای امتیاز بالاتر از ۰/۹ می‌باشد و در حالات MCA1، MCA2، MCA3 و MCA4 یعنی در همهٔ مواردِ ماتریس امتیازدهی، اولین سناریویِ خوبِ محاسبه شده، می‌باشد. بنابراین، نتیجهٔ حاصل از *جعبه‌ابزار* توسعه‌یافته، متشکّل از ابزارهای تخصیص منابع، تصمیم‌سازی و ... نشان می‌دهد که در صورت استفاده از آبهای غیرمتعارف صنعت می‌تواند تا سه برابر توسعه یابد، ولی کشاورزی نباید توسعه پیدا کند. در این سناریو، مصرف آب غیرمتعارفِ بازچرخانی برای «صنعت» استفاده می‌شود و به این ترتیب کمک غیرمستقیمی به تعادل آب شرب و کشاورزی هم خواهد شد. بدیهی است که یکی از علّت‌های موفقیت این سناریو در مقابل سناریوی پایه، به کارگیری آب‌های غیرمتعارف، به جای انتقال آب بین‌حوضه‌ای، بوده است.

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بررسی میزان تاثیرگذاری منابع آب غیرمتعارف در مدیریت یکپارچهٔ نواحی خشک انجام گرفت. برای این منظور، جعبه‌ابزاری تولید شد که شامل دیدگاه IWR*M* ، مدل شبیه‌ساز و پیش‌بینی‌کننده، سناریوهای مختلف وتصمیم‌ساز چندمعیاره بود. جعبه‌ابزار پیشنهادی با قابلیت در نظر گرفتن آب نمک‌زدایی شده و آب بازچرخانی در حوضهٔ خشک کاشان ارزیابی شد. شاید در بررسی اولیه بتوان گفت که ثبات و یا تقلیل در سهم آب کشاورزی و استفاده از منابع آب غیرمتعارف در اکثر موارد راهکار مناسبی است ولیکن تعیین حدود اثربخشی و امکان ایجاد تغییرات در منابع و مصارف و در نهایت تبیین مدل پویای تخصیص با رویکرد IWRM از نتایج ملموس توسعه جعبه ابزار می‌باشد. نتایج حاصله از جعبه ابزار در این مورد نشان داد که از میان سناریوهای محتمل، وضعیتی بهترین است که در

آن از آب نمک‌زدایی شده برای شرب و از آب بازچرخانی برای صنعت استفاده شود؛ کشاورزی ثابت بماند ولی میزان صنایع، اجازهٔ افزایش تا سه برابر را داشته باشد(سناریوی نه). این شیوهٔ تصمیم‌سازی، ثابت نمود که انتخاب آب بازچرخانی برای کشاورزی(سناریوهای ۲و ۶)، و یا عدم افزایش صنعت(سناریوهای ۱،۲،۵،۶)، راه کارهای مناسبی نیستند؛ به دلیل نزدیکی وضعیت سناریوها به یکدیگر، بدون به کارگیری متدولوژی *جعبه ابزار* مذکور، امکان تشخیص از بین این راه‌حل‌ها وجود نداشت.

به این ترتیب می‌توان گفت که راه‌حل سناریوی نه، نسبتاً بهتر از سایر گزینه‌هاست. اگرچه این سناریو هنوز کمبود آبی را معادل ۳۳۰ میلیون مترمکعب در بخش کشاورزی نشان می‌دهد، ولی در مجموع، وضعیت بهتری نسبت به سایر سناریوها دارد. این میزان کمبود، با در نظر گرفتن منابع غیرمتعارفِ بالفعل بدست آمده است. لذا با توجه به پتانسیل منابع غیرمتعارفِ حوضه، توصیه می‌شود که منابع آب غیرمتعارف از طریق ساخت کارخانجات نمک‌زدایی و بازچرخانی توسعه داده شوند.

از طرف دیگر، نشان داده شد که کمبود آب را نمی‌توان صرفاً با انتقال از جای دیگر، به محل مورد نیاز مدیریت کرد زیرا گزینهٔ انتقال آب بین‌حوضه‌ای از طریق تونل گلاب با ۴۰۰ میلیون مترمکعب کمبود، نمرهٔ مناسبی نگرفت. لذا انتقال آب، از یک حوضه به حوضهٔ دیگر را گزینه‌ای نامطلوب محسوب می‌شود.

به کار بردن *جعبه‌ابزار* پیشنهادی این نوید را می‌دهد که تصمیم‌گیریِ علمی بر پایهٔ سناریوهای محتمل، قابل دسترسی است.

منابع

اصغرپور، م. ج. ۱۳۹۴. تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، انتشارات دانشگاه تهران.

اقلام پایه(جمعیت، انشعابات، ظرفیت تامین آب و ...) کاشان تا پایان اسفند، ۱۳۹۳. شرکت آب و فاضلاب کاشان، دفتر آمار و فناوری اطلاعات.

بهشتی‌راد، م. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات مکانی خشکسالی با روش‌های زمین آماری و شاخص توزیع استاندارد در استان کرمان. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال پنجم، شماره بیستم، ص۱۱۸-۱۳۰.

شورای اسلامی شهر کاشان، مهرماه ۱۳۹۳. گزارش بررسی روند طرح انتقال آب زاینده‌رود به شهرهای کاشان و آران و بیدگل.

کریمی، ا.، ز. فتحی‌تیلکو، چ. عبدی. ۱۳۹۴. بررسی توزیع نیترات در خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه‌شده شهری تحت کشت گیاهان ذرت و گوجه‌فرنگی. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال ششم، شماره پیاپی بیست‌ودوم، ص۲۵-۳۶.

مبانی و ضوابط طراحی شبکه های جمع‌آوری آبهای سطحی و فاضلاب شهری، نشریه ۱۱۸-۳، ۱۳۷۱. سازمان برنامـه و بودجه، وزارت نیرو.

موحدیان‌عطار،ف.، ح. صمدی‌بروجنی. ۱۳۹۲. ارزیابی عملکرد شبکه‌های سد زاینده‌رود در دروه خشکسالی با استفاده از مدلWEAP . فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره چهاردهم، ص۱۸- ۲۸.

Cardwell, H.E., Cole, R.A., Cartwright, L.A. and Martin, L.A., 2006. Integrated water resources management: definitions and conceptual musings. Journal of contemporary water research & education, 135(1), pp.8-18.

El-Dessouky, H.T. and Ettouney, H.M., 2002. Fundamentals of salt water desalination. Elsevier.

Greco, S., Figueira, J. and Ehrgott, M., 2005. Multiple criteria decision analysis. Springer's International series.

Jaber, J.O. and Mohsen, M.S., 2001. Evaluation of non-conventional water resources supply in Jordan. Desalination, 136(1), pp.83-92.

Janssen, R., Goosen, H., Verhoeven, M.L., Verhoeven, J.T., Omtzigt, A.Q.A. and Maltby, E., 2005. Decision support for integrated wetland management. Environmental Modelling & Software, 20(2), pp.215-229.

Miller, G.W., 2006. Integrated concepts in water reuse: managing global water needs. Desalination, 187(1-3), pp.65-75.

Sieber, J. and Purkey, D., 2015. Water Program Water Evaluation And Planning System USER GUIDE. Stockholm Environment Institute(SEI), U.S. Center Somerville, MA 02144 USA, SEI-US.

Tsiourtis, N.X., 2001. Desalination and the Environment. Desalination, 141(3), pp.223-236.

Role of Non-Conventional Waters in Arid Regions from an Integrated Water Resources Management Perspective

Farhad Yazdandoost[1], Mohammad Masud Noruzi[2]

Abstract

To assess the role of non-conventional water in arid regions, an Operational toolbox was designed comprising an integrated allocation model and a decision support module. The Water Evaluation And Planning System (WEAP) was used to define and calibrate the existing conditions. Possible scenarios for water supply (including conventional and non-conventional water) and consumptions (including drinking, agriculture and industry) where examined under current and potential future scenarios. A multiple attribute decision-making tool was utilised to rank various scenarios. The toolbox was used in an arid catchment of Iran, where indiscriminate use of conventional water resources, has posed a dominating water shortage.The results of the various scenarios showed that there is no scope to increase in agriculture allocation while the industrial allocation may be increased provided the non-conventional water is utilised to a certain extent. The results obtained from the toolbox has indicated that water transfer from other catchments is not an attractive option compared to the use of non-conventional water The results imply the effective role of recycling for the industrial water allocation, and desalination for the drinking water supply management.

Keywords: Unconventional water, recycling, lip water, toolbox, decision making, multiple entries, integrated resource management, DEFINITE software.

[1] Associate Professor, Department of Civil Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran; yazdandoost@kntu.ac.ir

[2] Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran; mnoruzi@mail.kntu.ac.ir