Journal of Water & Wastewater Science & Engineering (jwwse)
Vol. 3, No. 4., PP. 49-64, Winter 2019
DOI: 10.22112/jwwse.2019.148851.1110

نشریه علمی- ترویجی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال سوم، شماره ۴، صفحات ۴۹-۶۴، زمستان ۱۳۹۷

Water Resources Management and Sewage Recycling, Solutions for Domestic Water Supply in Arid Areas, Case Study: Mashhad City

Ali Heidari
PhD, Iran Water and Power Resources Company (IWPC)
*Corresponding author, Email: heidari@engineer.com

Received: 17/09/2018
Revised: 27/01/2019
Accepted: 28/01/2019

Abstract

As a result of the climate change and water abstraction in neighbouring countries, domestic water supply to boarder line cities has faced serious challenges due to reduction in available water. Mashhad city is one of the most strategic cities of Iran that would face with water scarcity challenge. Though the Oman Sea water desalinization and transfer to Mashhad is being studied at the moment, this paper defines water demand and conventional and non-conventional regional water supplies and shows that the available regional water resources can meet domestic demand. Despite the low volume of water supply in some individual projects; local water management is superior to sea water transfer scenario in terms of economic and environmental aspects. Agricultural water consumption management based on groundwater entitlement and sewage water recycling are more suitable scenarios for domestic water supply. There are two alternatives for recycling sewage water including: 1) substituting agricultural water with sewage in adjacent aquifers and convey clean water for domestic use and 2) secondary treatment of effluent and injecting it into domestic aquifer. Future domestic demand of Mashhad city is 1.5 times of existing demand and regional water supply schemes not only can meet the demand but also provide 122 MCM excess water (31% of demand) as confidence limit.

Keywords: Aquifer recharge, Domestic water supply, Mashhad, Sewage recycling.

مدیریت منابع آب و بازچرخانی پساب، راهکار تامین آب شرب مناطق خشک: مطالعه موردی شهر مشهد

علی حیدری*
دکتری مدیریت منابع آب، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران
* نویسنده مسئول، ایمیل: heidari@engineer.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۶
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۱۱/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸

چکیده

کاهش منابع آب به‌دلیل تغییرات اقلیمی و کاهش آب‌های مرزی ورودی به کشور و ساخت و سازهای کشورهای همسایه، هم‌زمان با افزایش جمعیت در حوضه های خشک و نیمه خشک، تامین آب شرب شهرهای مرزی کشور را با چالش جدی مواجه نموده است. شهر مشهد یکی از شهرهای استراتژیک کشور است که با این چالش روبرو است. علی‌رغم مطرح بودن انتقال آب از دریای عمان، در این مقاله، ضمن تعیین نیاز آبی شرب و منابع متعارف و غیر متعارف موجود در منطقه، کفایت میزان منابع آب محلی برای مصارف شرب شهر مشهد تبیین شده است. در این راستا هرچند طرح‌های مهار و انتقال آب‌های سطحی منطقه دارای حجم آب کم و هزینه‌های بالایی هستند ولی در مقایسه با گزینه انتقال آب از دریا، از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی از ارجحت ملموسی برخودارند. کاهش مصارف کشاورزی از آب زیرزمینی تا سقف آب قابل برنامه‌ریزی، بازچرخانی پساب فاضلاب شهر مشهد به‌عنوان راه‌کار تکمیلی تامین آب شرب مطرح هستند. برای بازچرخانی پساب، دو راه‌کار جابجایی با مصارف کشاورزی آبخوان‌های غرب مشهد و یا تصفیه تکمیلی و تزریق آن به آبخوان شرب مطرح است که هر دو راه‌کار، پتانسیل مناسبی برای تولید آب شرب دارند. نیاز آبی شرب مشهد در افق ۱۴۲۰ به میزان ۱/۵ برابر نیاز فعلی خواهد بود که با درنظر گرفتن منابع آب محلی و بازچرخانی پساب، نه تنها دارای کمبود نخواهد بود بلکه ۱۲۲ م.م.م در سال معادل ۳۰٪ نیاز آبی شرب آب مازاد نیز در جهت حاشیه اطمینان وجود خواهد داشت.

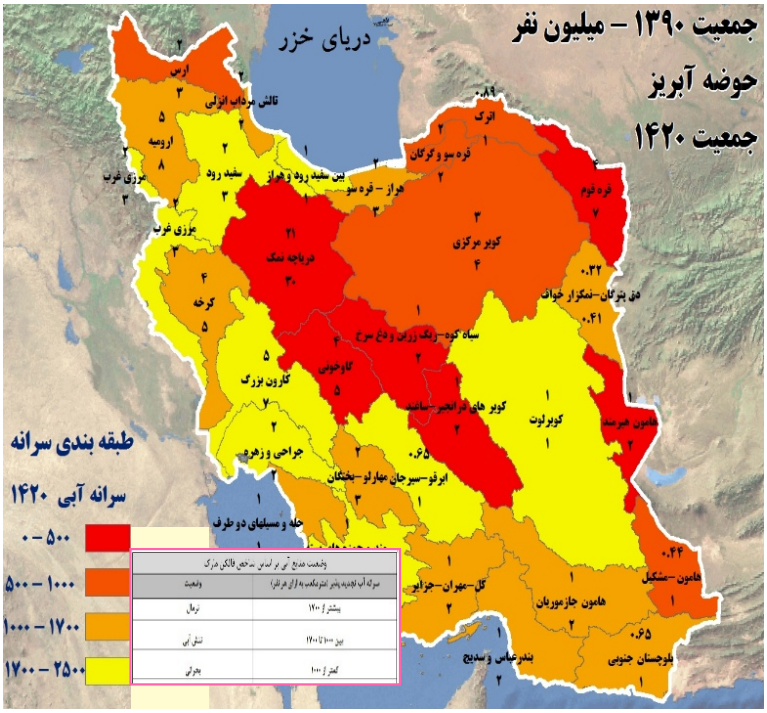
کلمات کلیدی: تامین آب شرب، بازچرخانی فاضلاب، تغذیه آبخوان، مشهد.

۱- مقدمه

محدودیت منابع آب تجدیدپذیر و افزایش جمعیت باعث کاهش سرانه آب تجدیدپذیر شده و تامین آب شرب نقاط جمعیتی را از منابع آب متعارف با هزینه‌های کلان مواجه نموده است. یکی از منابع آب در دسترس در محدوده شهرها، فاضلاب شهری است که از لحاظ کمی از اطمینان‌پذیری مناسبی برخوردار است. لذا تصفیه و بازچرخانی فاضلاب به‌عنوان یکی از منابع آب غیرمتعارف و مطمئن (از نظر کمی) می‌تواند در کنار منابع آب متعارف محلی برای تولید آب شرب به‌کار گرفته شود. در این رابطه حتی در کشورهای با سرانه آب تجدیدپذیر بالا، تصفیه فاضلاب و بازچرخانی آن برای مصارف مختلف به‌عنوان راه‌کار پایدار و در راستای مدیریت مصرف استفاده می‌شود. تصفیه فاضلاب علاوه‌بر جلوگیری از تخلیه آب آلوده به محیط‌زیست، سبب حذف یا کاهش استفاده از کودهای کشاورزی از طریق بازیافت مواد مغذی فاضلاب می‌شود. هم‌چنین هزینه‌های سرمایه‌گزاری اولیه طرح‌های آبرسانی با بازچرخانی پساب کاهش می‌یابد. استفاده مجدد از پساب دارای منافع و ریسک‌های اقتصادی، اجتماعی، سلامتی و زیست‌محیطی است. آلودگی و انتشار بیماری ناشی از استفاده غیرایمن پساب می‌تواند به ریسک‌های اقتصادی، اجتماعی و سلامتی منجر شود. این روش پاسخی به نیازهای درحال رشد و تطبیق با شرایط تغییر اقلیم در دنیا است. تغییر اقلیم و کمبود آب در مناطق خشک دو عامل اصلی برای استفاده از پساب است. نتایج مدل‌های تغییر اقلیم حاکی از کاهش ۱۰ تا ۲۵٪ منابع آب قابل برنامه‌ریزی کشورهای اروپایی است. کشورهای آلمان، اتریش و کره جنوبی و ولز در رتبه‌های بالای بازچرخانی پساب هستند به‌طوری که این کشورها ۵۲ تا ۵۶ درصد فاضلاب شهری را بازچرخانی می‌کنند. استفاده مجدد از پساب در برخی کشورهای اروپایی و مدیترانه به‌عنوان یکی از مولفه‌های موثر در مدیریت بلندمدت منابع آب تبدیل شده است (MWWRWG, 2007). دهه اخیر شاهد رشد با سرعت پایین ولی مقبولیت بیشتر استفاده مجدد از پساب در اروپا بوده است به‌طوری‌که در حال حاضر ۲۰۰ پروژه استفاده مجدد از پساب شهری در این قاره فعال هستند. پروژه AQUAREC در خصوص مفهوم یکپارچه استفاده مجدد از پساب در قالب برنامه ۵ ساله در اروپا و استرلیا انجام شده است (Wintgens et al., 2006). این پروژه یک روش مبتنی بر مدل‌سازی را برای ارزیابی کمی پتانسیل استفاده مجدد از پساب با استفاده از جریان خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب که می‌تواند در سطح یک کشور، منطقه و یا حوضه آبریز کاربرد داشته باشد را توسعه داده است. متدولوژی کار براساس معادله بیلان با تعیین مقادیر حجمی جریان پساب در مکان و زمان خاص در منحنی عرضه و تقاضای پساب بوده است.

در ایران استفاده مجدد از پساب بحثی نو بوده و تجربه عملی معدودی برای استفاده ایمن از پساب وجود دارد. برای سال‌های متمادی فاضلاب سطحی شهرهای بزرگ بدون تصفیه در پایاب آن‌ها برای کشاورزی استفاده می شده‌اند. با درنظر گرفتن وضعیت منابع آب کشور، بازچرخانی آب به‌عنوان راه‌کاری مناسب برای تامین نیازهای رو به رشد آب و کاهش تلفات و تبخیر می‌تواند تلقی شود. ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک با بارش متوسط ۱۵ سال اخیر کمتر از ۲۲۰ میلی متر در سال قرار گرفته است. به‌دلیل پدیده افزایش دما و کاهش بارش، متوسط منابع آب تجدیدپذیر کشور در ۱۵ سال اخیر حدود ۳۰٪ نسبت به متوسط درازمدت دوره قبل از آن کاهش یافته است. علاوه‌بر کاهش منابع آب تجدیدپذیر، توزیع مکانی و زمانی بارش نیز طوری است که در بسیاری از مناطق کشور و یا در فصول خشک سال، منابع آب کافی منطبق بر نیاز آبی وجود ندارد. از سوی دیگر مصرف غیربهینه آب در بخش‌های مختلف مصرف باعث افزایش نیاز آبی هم‌زمان با افزایش جمعیت شده است. این موضوع باعث شده است طرح‌های ذخیره سازی و سامانه آبرسانی با توجه به توزیع و پراکندگی جمعیت اجتناب ناپذیر باشد. براساس پیش‌بینی های صورت گرفته، نرخ رشد جمعیت در ایران حداقل تا دو دهه آتی افزایشی بوده و پس از رسیدن به جمعیت اشباع، کاهشی خواهد شد. با افزیش جمعیت، سرانه منابع آب تجدیدپذیر در برخی از حوضه‌های آبریز درجه ۲ به کمتر از ۵۰۰ هزار مترمکعب در سال در هر نفر مطابق شکل ۱ خواهد رسید.

طبق طبقه‌بندی فالکن مارک (Falkenmark, 1989)، سرانه ۱۷۰۰ مترمکعب در سال مرز تنش آبی و کمتر از ۱۰۰۰ وضعیت بحرانی محسوب می‌شود که بسیاری از حوضه‌های آبریز مرکز و شرقی کشور در این وضعیت قرار می‌گیرند. فالکن مارک شاخص دیگری تحت عنوان شاخص جمعیت آبی (WCI) برحسب تعداد جمعیت ساکن در هر میلیون مترمکعب منابع آب تجدیدپذیر ارائه نموده است (Falkenmark, 1989



شکل ۱- مقادیر جمعیت در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۲۰ و سرانه تجدیدپذیر سال ۱۴۲۰ به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه ۲

(Pallett et al., 1997;). چنان‌چه این شاخص بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ باشد تنش آبی، بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ کمبود مطلق آب و بالاتر از ۲۰۰۰ آب به‌عنوان مانع رشد و توسعه محسوب می‌شود. با توجه به متوسط منابع آب تجدیدپذیر کشور در ۱۵ سال اخیر معادل ۸۹ میلیارد متر مکعب در سال و جمعیت سرشماری سال ۱۳۹۵ معادل ۸۰ میلیون نفر، شاخص WCI حدود ۹۰۰ برای سال ۱۳۹۵ حاصل می‌شود که در مرز تنش آبی است. با درنظر گرفتن پیش‌بینی جمعیت کشور در سال ۱۴۲۰ معادل ۱۰۸ میلیون نفر (وزارت نیرو، ۱۳۹۴) و فرض عدم کاهش منابع آب تجدیدپذیر در آینده به‌رغم وجود اثرات منفی تغییر اقلیم بر منابع آب، این شاخص به ۱۲۰۰ می‌رسد که در محدوده کمبود مطلق آب است. البته این شاخص برای مناطق خشک کشور عدد بالاتری نسبت به متوسط کشور است. به‌عنوان مثال برای حوضه آبریز قره قوم در شمال شرق کشور این شاخص به ۲۰۰۰ برای سال ۱۴۲۰ می‌رسد که در آن آب به‌عنوان مانع رشد و توسعه تلقی می‌شود.

یکی از دغدغه‌های مهم کشور در مناطق خشک، تامین آب شرب نقاط جمعیتی در آینده است. منابع آب در دسترس برای تامین نیازهای آبی شامل منابع آب تجدیدپذیر و منابع آب غیرمتعارف شامل پساب، آب‌های لب شور و آب دریا هستند. منابع آب تجدیدپذیر در حوضه‌های آبریز واقع در این مناطق محدود بوده و انتقال آب از حوضه‌های آبریز مجاور با منابع آب بیشتر نیز دارای چالش‌های اجتماعی گستردهای است. منابع پساب عمدتاً ناشی از فاضلاب خانگی، پساب‌های صنعتی و آب برگشتی کشاورزی است که در بیلان منابع آب سطحی و زیرمینی جزو مولفه ورودی بوده و در محاسبات مربوط به منابع آب تجدیدپذیر کشور لحاظ می‌شود. منابع آب لب شور آب‌های واقع در نمک‌زارها و آبخوان‌های شور است که به‌دلیل شوری بالا مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. منابع آب دریا به‌دلیل هزینه‌های بالای نمک‌زدایی و انتقال به نقاط جمعیتی که عمدتا از دریا فاصله قابل‌توجهی دارند و همچنین اطمینان‌پذیری پایین ناشی از وقوع پدیده‌های زیست‌محیطی نظیر کشند قرمز از مقبولیت کمتر برای مصارف بخصوص شرب برخوردارند.

مدیریت مصرف و صرفه‌جویی آب به‌عنوان یکی دیگر از راه‌کارهای تامین آب شرب مطرح بوده و هست که به‌دلیل تعرفه‌های پایین قیمت آب در بخش‌های مختلف مصرف، عملا سیاست‌های تشویقی و ترغیبی موجود برای کاهش مصرف، کارآیی لازم را نداشته و هم‌چنان شاخص‌های مصرف آب در کشور از استانداردهای جهانی بالاتر است. البته الگوی مصرف آب در مناطق خشک کشور، به مقادیر بهینه نزدیکتر است ولی

از لحاظ وابستگی معشیت مردم به کشاورزی و قانون حقابه‌ها عملا تخصیص آب کشاورزی به شرب را با مشکل مواجه نموده است.

در این مقاله چالش‌ها و راه‌کارهای تامین آب شرب شهر مشهد به‌عنوان یکی از شهرهای استراتژیک واقع در حوضه آبریز سرخس ارائه شده است. شهرهای با ویژگی‌های منابع آبی مشابه شهر مشهد در نقاط مختلف کشور وجود دارند که راه‌کارهای پیشنهادی در این مقاله می‌تواند برای آن‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۲- بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب

هرچند پساب (فاضلاب تصفیه شده) به‌عنوان منبع جدید آب محسوب نمی‌شود ولی نزدیکی آن به نقاط جمعیتی و اطمینانپذیری بالای آن به لحاظ کمی، می‌تواند به‌عنوان پتانسیل تولید آب شرب از طریق تصفیه‌های ثانویه و جایگزینی با مصارف غیر شرب باشد. امروز با استحصال منابع آب سالم در نزدیکی شهرها و محدودیت این منابع، تامین آب بهداشتی از منابع آب سالم نیاز به هزینه‌های هنگفت تصفیه و انتقال آب دارد. در برخی از نقاط کشور نیز منابع جدید آب سالم وجود نداشته و با لحاظ تنش های اجتماعی عملاً برای افزایش ظرفیت تامین آب شرب باید به منابع آب دریا متکی بود. پساب معمولا به منابع آب طبیعی تخلیه شده و برای استفاده مجدد در نقطه دیگری که از لحاظ مکانی و زمانی متفاوت از نقطه خروجی تصفیه‌خانه است برداشت می‌شود. در این‌حالت، پساب با سایر منابع آب قبل از استفاده مجدد مخلوط شده و تقلیل کیفیت می‌یابد. این‌روش به‌عنوان روش غیرمستقیم استفاده مجدد از پساب تلقی می‌شود. در حالتی که پساب بدون تقلیل کیفیت (بدون اختلاط با رواناب سطحی یا آب زیرزمینی) مستقیما مورد استفاده قرار گیرد، استفاده مجدد مستقیم نامیده می‌شود.

روش مستقیم استفاده مجدد پساب برای موارد زیر کاربرد دارد:

- آبیاری کشاورزی، فضای سبز، مصارف ورزشی و تفریحی؛
- آب مورد نیاز فرآیندهای تولید و خنک کننده‌های صنایع؛
- سیستم آبرسانی دوگانه شهری برای مصارف غیرشرب (فلاش تانک‌ها و آبیاری باغچه)؛
- آتش‌نشانی، شستشوی خیابان، غبارروبی و ساخت برف؛
- آب مورد نیاز برای احیا و بازسازی اکوسیستم آبی؛
- تزریق به آبخوان از طریق چاه‌های تزریق برای کنترل هجوم آب شور؛
- استخرهای ماهی.

روش غیرمستقیم می‌تواند برای موارد زیر مورد استفاده قرار گیرد:

- افزایش آب قابل برنامه برای تولید آب شرب؛
- افزایش آب قابل برنامه‌ریزی صنعت؛
- تزریق به آبخوان و برداشت آب با تاخیر برای افزایش کمیت و کیفیت منابع آب.

در برخی شهرهای اروپا با جمعیت بالا نظیر لندن، برلین و بارسلون، استفاده از روش غیرمستقیم برای مصارف شرب از طریق تزریق در آبخوان و یا ترکیب با منابع آب سطحی صورت می‌گیرد. ریسک‌ها و منافع استفاده مجدد پساب شامل اقتصادی، اجتماعی، سلامتی و محیطی زیستی هستند که به نوع کاربرد استفاده مجدد از پساب، کیفیت پساب، ریسک سلامتی و میزان تماس با پساب، جغرافیا، اقتصاد منطقه، یارانه و سایر عوامل بستگی دارند. ریسک‌های سلامتی و اجتماعی مربوط به تهدید سلامت عمومی به‌خصوص در موارد استفاده غیرقانونی و غیر ایمن به‌دلیل کمبود منابع آب و یا عدم وجود دستورالعمل تصفیه مناسب فاضلاب و کم بودن تجربه تصفیه است. درخصوص ریسک‌های محیط‌زیستی هم می‌توان به پساب فاضلاب‌های سمی و خطرناک حاصل از فعالیت‌های صنعتی و نمک آب‌های شور برگشتی کشاورزی اشاره نمود که می‌تواند به کاهش کیفیت منابع آب، به خطر افتادن سلامت عمومی و اثرات منفی بر محیط‌زیست منجر شود. اثرات و ریسک تجمع مواد زاید حاصل از تصفیه فاضلاب نظیر لجن باید به‌دقت مدیریت شود. همچنین آلودگی‌های ناشی از دارو و درمان ممکن است در سلامت انسان و اکوسیستم تاثیرگزار باشند. در مقابل ریسک‌های مذکور، منافع متعدد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌خصوص در مناطق کم آب برای استفاده مجدد از پساب وجود دارد. از جمله می‌توان به کاهش نیاز آبی شرب و بهداشت، کاهش و یا حذف مصرف کودهای شیمیایی و افزایش بهره‌وری کشاورزی، کاهش نیاز به ساخت تاسیسات آبرسانی، کمک به تحقق اهداف توسعه هزاره (MDG) از طریق افزایش آب قابل برنامه‌ریزی، امنیت غذایی و پایدار کشاورزی

از طریق بازچرخانی مواد مغذی، کاهش فقر و افزایش کیفیت زندگی، کمک به حفاظت منابع پاک آب، کمک به کاهش اثرات تغییر اقلیم از طریق کاهش انرژی پمپاژ آب از آب زیرزمینی و آب شیرین‌کن‌ها، کاهش نیاز آبی صنعت به آب پاک، کاهش نیاز به کودهای شیمیایی، کمک به احیای تالاب‌ها و بدنه‌های آبی، احیای آبخوان‌ها و ... اشاره نمود.

۳- مطالعه موردی

مطالعه موردی در این مقاله شهر مشهد واقع در حوضه آبریز کشف رود در شمال شرق کشور است. در حال حاضر سد دوستی واقع در مرز ترکمنستان در رودخانه هریرود، مهم‌ترین تامین کننده آب شرب مشهد است. این سد متاثر از برداشت‌های آب در حوضه آبریز بالادست است که بیش از ۹۰٪ آن در کشور افغانستان قرار دارد. با ساخت سد سلما در افغانستان و وقوع خشکسالی‌های دهه اخیر، آورد ورودی به سد به‌تدریج در حال کاهش است. هم‌چنین سدهای دیگری نیز در بالادست سد سلما در حال ساخت هستند که بهره‌برداری آن‌ها تاثیر مستقیمی بر منابع آب سد دوستی خواهد داشت.

۳-۱- پیش بینی جمعیت

جمعیت آتی شهر مشهد متاثر از جمعیت ساکن و جمعیت متغیر (زائرین) است. برای پیش‌بینی جمعیت از نتایج مطالعات طرح جامع آب کشور استفاده شده است که در آن روش توصیفی – تحلیلی وضعیت کنونی جمعیت برای پیش‌بینی به‌کار رفته است. مبانی اطلاعاتی این روش داده‌های سرشماری عمومی نفوس و مسکن مرکز آمار ایران، داده‌های ثبتی وقایع حیاتی سازمان ثبت احوال کشور و در مورد مهاجرت‌های

جدول ۱- پیش‌بینی جمعیت شهر مقدس مشهد در افق‌های آتی- برحسب نفر (وزارت نیرو، ۱۳۸۹)

شرح	۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۴۰۰	۱۴۰۵	۱۴۱۰	۱۴۱۵	۱۴۲۰
جمعیت ساکن شهر مشهد	۲،۷۶۶،۲۵۸	۳،۱۳۶،۰۰۰	۳،۵۰۶،۸۰۰	۳،۸۶۸،۰۰۰	۴،۲۲۶،۸۰۰	۴،۵۸۰،۴۰۰	۴،۹۳۹،۳۰۰
جمعیت زائر (نفرشب اقامت)	۲۶۶،۸۵۵	۳۱۲،۶۸۰	۳۷۳،۱۶۳	۴۴۵،۳۴۶	۵۳۱،۴۹۲	۶۳۴،۳۰۰	۷۷۰،۰۰۰
جمع	۳،۰۳۳،۱۱۳	۳،۴۴۸،۶۸۰	۳،۸۷۹،۹۶۳	۴،۳۱۳،۳۴۶	۴،۷۵۸،۲۹۲	۵،۲۱۴،۷۰۰	۵،۷۰۹،۳۰۰

جدول ۲- طبقه‌بندی سرانه خانگی شهری مطابق جمعیت – برحسب مترمکعب در روز (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۴)

طبقه بندی سطوح جمعیتی	محدوده مصرف سرانه آب خانگی	حداقل مصرف سرانه کل	متوسط مصرف سرانه کل	حداکثر مصرف سرانه کل
روستاها	۷۵ تا ۹۰	۹۵	۱۱۷	۱۳۰
شهرهای کمتر از ۲۰ هزار نفر	۷۵ تا ۱۱۰	۹۵	۱۳۳	۱۷۱
شهرهای بین ۲۰ تا ۱۰۰ هزار نفر	۱۰۰ تا ۱۳۰	۱۲۷	۱۶۴	۲۰۲
شهرهای بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ هزار نفر	۱۲۰ تا ۱۴۰	۱۵۲	۱۸۵	۲۱۷
شهرهای بیش از ۵۰۰ هزار نفر	۱۳۰ تا ۱۵۰	۱۶۵	۱۹۹	۲۳۳

جدول ۳- نیاز آبی شرب شهر مشهد در افقهای آتی

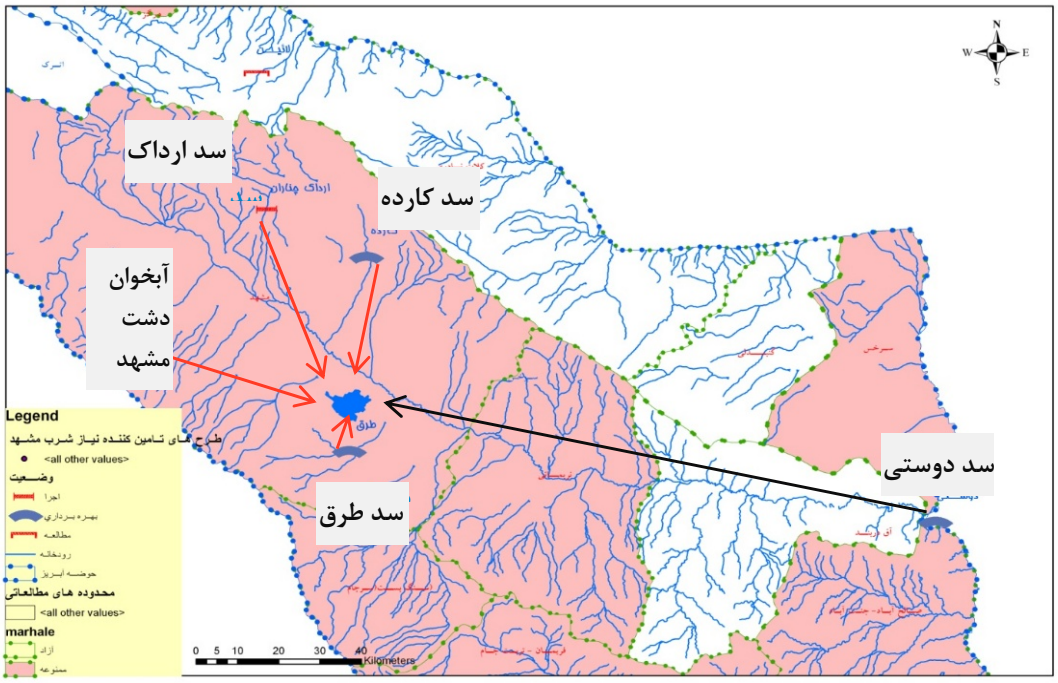
افق	۱۳۹۵	۱۴۰۰	۱۴۰۵	۱۴۱۰	۱۴۱۵	۱۴۲۰
سرانه مصرف آب جمعیت ساکن (لیتردرروز)	۲۱۸	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۴	۲۱۲	۲۰۸
سرانه زائر (لیتردرروز)	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
متوسط کل نیازآبی (میلیون مترمکعب در سال)	۲۵۸/۱	۲۸۶/۷	۳۱۷/۱	۳۴۴/۷	۳۷۱/۸	۳۹۶

خارجی آمارهای اتباع بیگانه وزارت کشور بوده است (وزارت نیرو، ۱۳۸۹). بر این اساس پیش‌بینی جمعیت ساکن شهر مشهد براساس سرشمارهای سال ۱۳۹۰ و قبل از آن به شرح جدول ۱ است. با توجه به ویژگی‌های زائرپذیری شهر مشهد و براساس آمار مسافرت‌های زائرین، برآورد متوسط جمعیت زائر نیز برحسب نفر در شبانه‌روز در طول سال صورت گرفته است (شرکت آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۴).

۳-۲- نیاز آب شرب شهر مشهد

نیاز آبی شرب بر اساس جمعیت آتی و سرانه مصرف تعیین می‌شود. سرانه مصرف آب خانگی با درنظر گرفتن الگوی کاهش مصرف آب شهری مطابق ابلاغیه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور براساس دسته‌بندی جمعیت مطابق جدول ۲ برای سه سناریوی حداقل، متوسط و حداکثر بوده است (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۴). برای محاسبه نیاز آبی شرب، لازم است پس از برآورد جمعیت ساکن و متغیر (زائرین) در افق‌های مختلف، میزان مصرف خانگی به‌همراه سایر مصرف شهری محاسبه شود. پس از تعیین سرانه خانگی مطابق دسته‌بندی جمعیت جدول ۲، سرانه مصرف عمومی و تجاری به ترتیب معادل ۱۰٪ و ۱۲/۵٪ مصرف خانگی و آب به‌حساب نیامده (تلفات واقعی و آب بدون درآمد) معادل ۱۵٪ کل مصرف برای سناریوی متوسط منظور شده است (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۴). بر این اساس حداقل مصرف سرانه جمعیت ساکن ۲۰۸ لیتر در شبانه‌روز در سال افق ۱۴۲۰ حاصل شده است. سرانه مصرف زائرین نیز ۷۵ لیتر در شبانه‌روز درنظر گرفته شده است (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۴) که بر این اساس کل نیاز شرب شهر مشهد در سال‌های آتی مطابق جدول ۳ برآورد شده است.

علاوه بر نیاز شرب شهر مقدس مشهد، شرب شهرهای طرقبه، شاندیز، گلبهار، چناران، رضویه، ملک آباد و روستاهای دشت مشهد مشابه روش به‌کار رفته برای مشهد، معادل ۱۰۰ میلیون متر مکعب (م.م.م) در سال ۱۴۲۰ برآورد می‌شود. براساس نتایج آماربرداری سراسری (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲) نیاز صنعت محدوده مطالعاتی مشهد در شرایط موجود (بدون توسعه) معادل ۵۰ م.م.م در سال است که با احتساب آن، مجموع شرب و صنعت مورد نیاز افق ۱۴۲۰ معادل ۵۵۰ م.م.م برای محدوده مطالعاتی مشهد خواهد بود. همچنین نیاز آبی فضای سبز ۴۰ م.م.م است که مستقیما از آبخوان برداشت



شکل ۲- طرح‌های دردست بهره‌برداری و اجرا در محدوده مشهد

می‌شود.

۳-۳- منابع آب سطحی تامین کننده آب شرب مشهد

تامین آب شرب از منابع آب سطحی و زیرزمینی صورت می‌گیرد که در شکل ۲ طرح‌های دردست بهره‌برداری و اجرا نشان داده شده است.

سدهای دوستی، طرق و کارده در دست بهره‌برداری و طرح ارداک در شرف بهره‌برداری هستند که به‌همراه منابع آب زیرزمینی غرب شهر مشهد کل نیاز آبی شرب را تامین می‌کنند. نیاز آبی شرب شهر در شرایط موجود ۲۶۰ م.م.م در سال است که در افق ۱۴۲۰ به ۳۹۶ (بیش از ۵/۱ برابر) خواهد رسید. میزان مجوز تخصیص آب طرح‌های مذکور، میزان آب تحویلی آن‌ها در سال آبی ۹۴-۹۵ و میزان تامین آب براساس داده‌های به‌هنگام منابع آب برای مصارف شرب شهر مشهد در جدول ۴ نشان داده شده است.

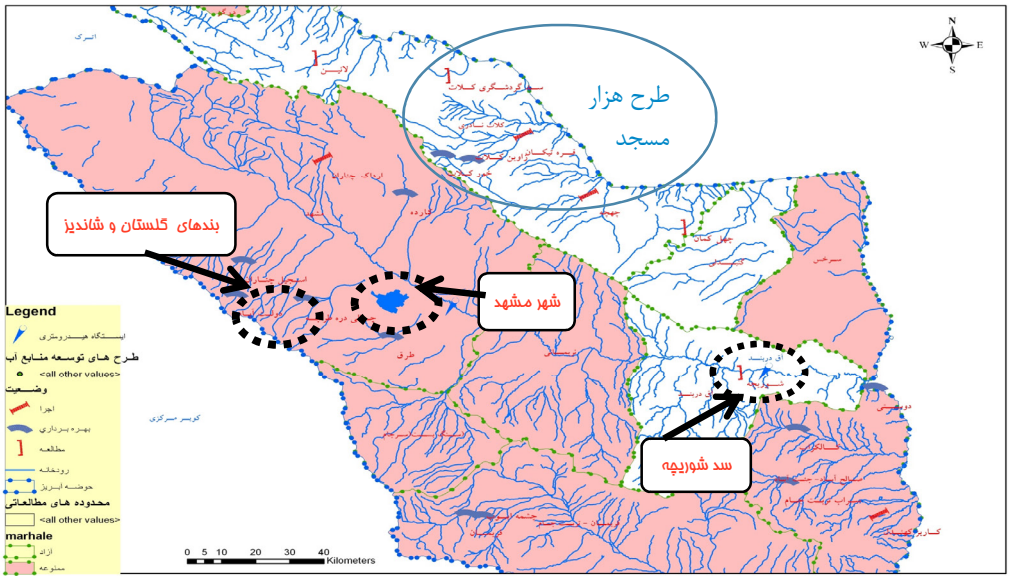
آب قابل برنامه‌ریزی سد دوستی با توجه به ویژگی‌های آن، براساس برآورد تقریبی آورد حوضه ناشی از حوضه میانی پایین‌دست سد سلما در کشور افغانستان و حوضه آبریز سد واقع در ایران تعیین شده است. به‌رغم مجوز تخصیص آب ۱۲۶ م.م.م در سال، میزان آب قابل تامین از سد دوستی معادل ۳۰ م.م.م در سال در سال‌های آتی تخمین زده شده است. میزان حجم آب قابل انتقال از سد ارداک تا ۱۴۰۰ به‌میزان ۶ میلیون مترمکعب و از سال ۱۴۰۵ تا ۱۴۲۰ به‌میزان ۱۰ میلیون مترمکعب با اخذ موافقت کشاورزان منطقه برای جابه‌جایی حقابه کشاورزی این سد با پساب فاضلاب شهری مشهد منظور شده است. هم‌چنین طرح‌های در دست مطالعه برای انتقال آب به مشهد در شکل ۳ نشان داده شده است (شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۹۳).

طرح مطالعاتی هزار مسجد که در یال شمالی حوضه آبریز سرخس واقع است، طرح پیچیده و پرهزینه‌ای است که تنها قادر به انتقال آب غیرمطمئن ۳۶ م.م.م در سال است. این طرح متشکل از سدهای کوتاه شامل بندهای ابیور، لایین، ایده لیک و کلات و ۲ سد مخزنی در دست بهره‌برداری قره تیکان و چه چهه است. با توجه به توسعه باغات در پایین‌دست سدهای مخزنی قره تیکان و چه چهه، حجم آب انتقالی از این طرح‌ها ۵ م.م.م در سال بوده و دارای هزینه‌های بالای اتصال به سامانه اصلی انتقال است. سامانه انتقال آب طرح هزار مسجد علاوه‌بر عبور از زیرحوضه‌های متعدد حوضه سرخس از مرز کوهستانی حوضه آبریز کشف‌رود و یال شمالی سرخس می‌گذرد تا به شهر مشهد واقع در بخش میانی حوضه کشفرود برسد.

علاوه‌بر طرح هزار مسجد، سد شوریچه با حجم کل مخزن ۲۰۰ م.م.م در منتهی‌الیه حوضه آبریز کشف رود و بندهای گلستان و شاندیز در غرب شهر مشهد نیز برای انتقال آب مطرح هستند. حوضه آبریز سد شوریچه در واقع زهکش پساب‌های شهری، روستایی، صنعتی و کشاورزی حوضه کشف‌رود بوده و از لحاظ شاخص‌های بیولوژیکی کیفیت آب و شوری از وضعیت مناسبی برخوردار نیست. علاوه‌بر کیفیت پایین، در پایاب این سد اراضی حقابه بر دشت سرخس قرار دارد که جزو بهره برداران قدیمی رودخانه کشف‌رود و هریرود به‌شمار می‌روند. خط انتقال آب از سد دوستی به مشهد از مناطق پایاب سد شوریچه عبور می‌کند که در آن اراضی کشاورزی متعلق به آستان قدس از سامانه انتقال آب دوستی دارای اشتراک هستند. لذا با ساخت سد شوریچه و تهاتر آب اراضی کشاورزی آستان قدس با این سد، امکان انتقال آب سهم آب این اراضی از سد دوستی و آب مازاد خروجی حوضه کشف‌رود برای شرب

جدول ۴- حجم آب انتقالی شرب مشهد از طرحهای منابع آب سطحی در دست بهره برداری و اجرا (م.م.م در سال)

منبع	مجوز تخصیص آب	حجم آب تحویلی در سال ۹۵-۹۴	حجم آب قابل برنامه‌ریزی برای آینده
سد دوستی	۱۲۶/۲	۸۵	۵۰ برای سال ۱۳۹۷ ۳۰ برای سال‌های ۱۴۰۰ به بعد
سد کارده	۸/۷	۳	۹
سد طرق	۶/۸	۵/۴	
ارداک	۱۴	عدم بهره برداری سامانه انتقال آب	۱۰
جمع منابع سطحی موجود	۱۵۵/۷	۹۳/۴	۴۹



شکل ۳- موقعیت طرح‌های مطالعاتی تامین آب شرب شهر مشهد از منابع آب سطحی

مشهد فراهم می‌شود. هم‌چنین با احداث تصفیه‌خانه می‌توان خط انتقال آب دوستی را از سد شوریچه تامین آب نمود. حجم قابل انتقال آب برای مشهد از سد شوریچه با درنظر گرفتن ظرفیت انتقال آب معادل متوسط ۱۰/۵ م.م.م در سال خواهد بود. آب انتقالی از این سد با توجه به توزیع زمانی آبدهی عمدتاً در سه ماه فروردین، اردیبهشت و خرداد متمرکز است.

تامین آب شرب مشهد از رودخانه‌های گلستان و سرآسیاب شاندیز واقع در غرب و شمال غرب مشهد به تصفیه‌خانه آب و برق دیگر طرح مطالعاتی تامین آب شرب مشهد است. براساس متوسط آبدهی این رودخانه‌ها در ۱۵سال اخیر، حجم آب قابل انتقال برای شرب مشهد برای گزینه‌های مختلف به‌شرح جدول ۵ است. حجم آب انتقالی از بندها عمدتا بر فصول تر سال تمرکز بوده و دارای اطمینان‌پذیری سالانه کمتری است، به‌طوری‌که در برخی سال‌های خشک امکان انتقال آب کلاً وجود ندارد.

جدول ۵ - حجم آب قابل انتقال برای شرب مشهد از طرح‌های سطحی مطالعاتی

طرح	گزینه	ظرفیت انتقال / تصفیه‌خانه آب (لیتر بر ثانیه)	متوسط حجم آب قابل انتقال برای شرب (MCM/y)
هزار مسجد	بدون سدهای مخزنی قره تیکان و چه چهه	-	۳۶
	با سدهای قره تیکان و چه چهه		۴۱
سد شوریجه	تهاتر حقابه‌های آستان قدس	-	۱۰/۵
بندهای گلستان و سرآسیاب شاندیز	بدون لحاظ حقابه آستان قدس	با ظرفیت موجود تصفیه - ۱۱۰۰	۷/۵
		توسعه ظرفیت تصفیه - ۱۵۰۰	۱۲/۱
	با لحاظ حقابه آستان قدس	با ظرفیت موجود تصفیه - ۱۱۰۰	۷/۳
		توسعه ظرفیت تصفیه - ۱۵۰۰	۱۱/۶
جمع	بدبینانه	-	۵۳/۸
	خوشبینانه		۶۳/۶

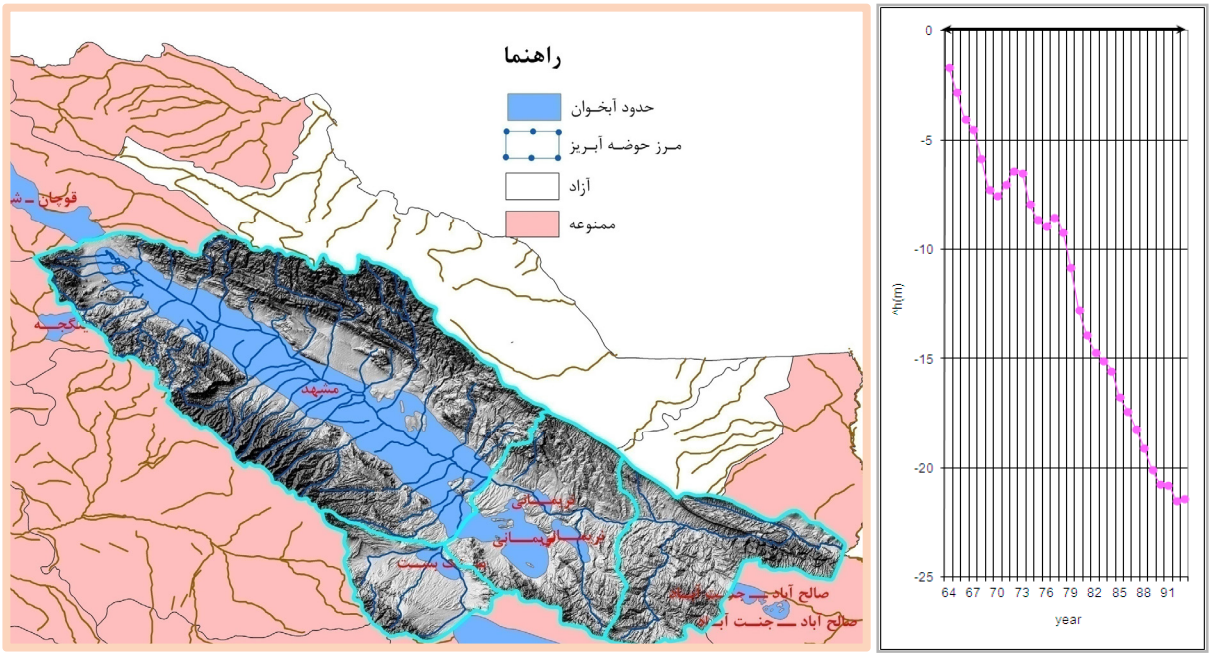
علاوه‌بر این آستان قدس برای مصارف کشاورزی از این دو رودخانه دارای حقابه است. لذا بدون تعامل با حقابه‌بران پایین دست به‌ویژه آستان قدس رضوی، انتقال آب این رودخانه‌ها با تنش‌های اجتماعی همراه خواهد بود. آلودگی رواناب به فاضلاب انسانی و کشاورزی به‌علت عدم فرصت خودپالائی رودخانه‌ها تا محل برداشت از دیگر مشکلات این طرح است و تصفیه‌خانه موجود غرب مشهد و طرح توسعه آن امکان تصفیه بیولوژیکی آلودگی‌ها را ندارند. هم‌چنین این رودخانه‌ها تغذیه کننده آبخوان مشهد هستند که درصورت انتقال آب احتمال کاهش آبدهی یا خشک شدن چاه‌های دردست بهره‌برداری در پایین‌دست رودخانه‌ها وجود دارد.

با درنظر گرفتن طرح‌های موجود، اجرایی و مطالعاتی، مجموع حجم قابل‌تامین شرب از منابع آب سطحی در دو گزینه بدبینانه و خوشبینانه به‌ترتیب معادل ۱۰۲/۸ و ۱۱۲/۶ م.م.م خواهد بود که به‌ترتیب معادل ۲۶٪ و ۲۹٪ نیاز آبی شرب شهر مشهد در افق ۱۴۲۰ است.

۳-۴- منابع آب زیرزمینی

حوضه آبریز کشف‌رود دارای ۴ محدوده مطالعاتی است که بزرگترین آن به‌لحاظ وسعت و حجم آبخوان، محدوده مطالعاتی ممنوعه مشهد مطابق شکل ۴ است. کاهش تراز آب زیرزمینی در آبخوان مشهد حدود ۲۲ متر طی ۳۰ سال اخیر بوده و کسری مخزن آن ۱۰۵ م.م.م در سال طبق بیلان آب زیرزمینی منتهی به سال ۱۳۹۰ است. میزان برداشت از آبخوان مشهد ۹۷۵ م.م.م در سال است که درصد مصارف کشاورزی، فضای سبز، شرب و صنعت به ترتیب ۶۵۳ (۶۷٪)، ۱۳ (۱/۳٪)، ۲۷۰ (۲۷/۷٪) و ۳۹ (۴٪) م.م.م درسال است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۵).

از آنجا که حجم منابع آب تجدیدپذیر (آب قابل برنامه‌ریزی) آبخوان متاثر از آب برگشتی مصارف شرب است و با تکمیل اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری، بیلان آبخوان تغییر خواهد نمود، لذا با درنظر گرفتن مولفه‌های آب پاک بیلان منتهی به سال آبی ۹۰-۸۹ و دو گزینه ۱) تعادل‌بخشی آبخوان (جبران کسری مخزن تجمعی طی ۲۰ سال آتی از زمان شروع طرح تعادل‌بخشی در سال ۱۳۹۳) و ۲) محدودیت کاهش



شکل ۴ – محدوده‌های مطالعاتی حوضه کشف‌رود و تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان مشهد

جدول ۶ - حجم آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی دشت مشهد پس از اجرای کامل شبکه جمع‌آوری فاضلاب در حالات مختلف تعادل‌بخشی آبخوان (میلیون مترمکعب در سال)

با جبران کسری مخزن سالانه و تجمعی در ۲۰ سال آتی		با اعمال محدودیت حداکثر تعدیل ۵۰٪ برای مصارف کشاورزی			
آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی	درصد تعدیل مصارف کشاورزی	شرب *	کشاورزی	صنعت و فضای سبز	جمع
۴۷۸	٪۷۶	۲۷۰	۳۲۶/۵	۵۲	۶۴۸/۵

* در آب قابل برنامه‌ریزی زیرمینی که توسط وزارت نیرو ابلاغ شده است مصارف شرب به میزان ۲۰٪ نسبت به وضع موجود اضافه شده است. به‌دلیل وضعیت بحرانی دشت مشهد این افزایش درنظر گرفته نشده است تا آب شرب آتی از سایر منابع تامین شود.
* از ۲۷۰ م.م.م آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی شرب دشت مشهد، ۲۴۳ م.م.م مربوط به شهر مشهد است.

مصارف کشاورزی به‌دلیل موانع اجتماعی، آب قابل برنامه‌ریزی آبخوان مشهد مطابق جدول ۶ محاسبه شده است. حداکثر ضریب تعدیل مصارف کشاورزی به‌دلیل موانع اجتماعی موجود نظیر وابستگی معیشت به کشاورزی و سایر موانع، ۵۰٪ منظور شده است. این محدودیت در ابلاغیه آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی وزارت نیرو نیز منظور شده است. محدودیت ضریب تعدیل به‌معنی افزایش دوره زمانی تعادل بخشی به بیش از ۲۰ سال است.

در حال حاضر برداشت آب شرب شهر مشهد از طریق ۱۸۴ حلقه چاه داخل شهر و ۱۵۶ حلقه چاه در آبخوان‌های غرب شهر مشهد صورت می‌گیرد که متوسط برداشت آب آن در ۵ سال اخیر با احتساب چشمه و قنات ۱۱۷ م.م.م بوده است (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۵). با پیشرفت طرح تعادل‌بخشی آبخوان شامل بستن چاه‌های غیرمجاز، تعدیل پروانه بهره‌برداری و نصب کنتور هوشمند و رسیدن به کاهش ۵۰٪ در مصارف کشاورزی، میزان آبدهی چاه‌های موجود شرب نیز افزایش خواهد یافت.

با توجه به انتقال آب سد دوستی به شهر مشهد در دهه‌های اخیر و عدم وجود شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی، عمق سطح آب زیرزمینی در محدوده حرم در تراز ۱۷-۱۸ متر قرار گرفته و بسیاری از پایه‌های مربوط به زیرگذر آن تا بیش از ۳۰ متر در داخل آب زیرزمینی قرار گرفته است. بالاآمدگی بیشتر آب در هسته مرکزی، سبب عدم امکان حفاری چاه‌های دستی دفع فاضلاب خانگی و نیز تأثیر مستقیم فاضلاب بر کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. هرچند انتظار می‌رود با بهره‌برداری از شبکه جمع‌آوری فاضلاب، روند بالاآمدگی تراز آب متوقف یا سیر نزولی بگیرد ولی به‌منظور تسریع در کاهش تراز و جبران کمبود آب شرب، برداشت ۳۰ میلیون مترمکعب در سال از منابع آب زیرزمینی بی‌کیفیت از طریق ایجاد فرآیند تصفیه و یا جابجایی با مصارف کشاورزی در دستور کار قرار دارد. حداکثر برداشت آب از آب‌های زیرزمینی برای شرب مشهد در افق آتی، ۲۴۳ م.م.م در سال با تکمیل بهره‌برداری از شبکه جمع‌آوری فاضلاب خواهد بود.

۳-۵- پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

تعداد هشت تصفیه‌خانه فاضلاب در طرح جمع‌آوری فاضلاب شهر مشهد مطابق مشخصات شکل ۵ پیش‌بینی شده است (شرکت آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۴). ظرفیت هریک از تصفیه‌خانه‌ها و حجم پساب تولیدی آن‌ها براساس اطلاعات جمعیت افق شهر و سرانه مصرف آب شرب در افق آتی و اعمال ضرایب مربوط به تولید فاضلاب و پساب مطابق فرضیات زیر بوده است:

- ۲۰٪ نیاز شرب به مصارفی می‌رسد که به فاضلاب تبدیل نمی‌شود؛
- ۱۵٪ فاضلاب تولیدی در شبکه جمع‌آوری و تصفیه‌خانه تلف می‌شود؛
- ۹۰٪ جمعیت با فرض استفاده از ابزارهای قانونی برای اتصال مشترکین، تحت پوشش شبکه جمع‌آوری قرار گیرد.

فرضیات فوق براساس نتایج پایش‌های میدانی برای برخی شهرها نظیر شهر تهران تعیین شده است.

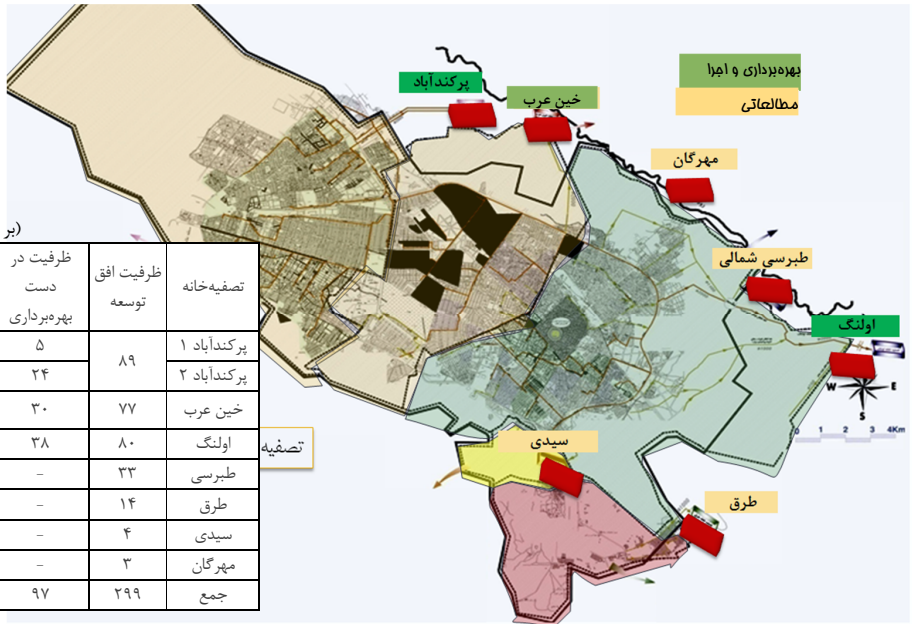
پساب اصولاً منابع جدید آب نبوده و مولفه‌ای از تغذیه منابع آب زیرزمینی بوده است که پس از تحقق طرح‌های

جمع‌آوری فاضلاب به مولفه آب سطحی تبدیل می‌شود. بنابراین برای برنامه‌ریزی استفاده از آن باید توجه شود که منابع آب زیرزمینی و پساب به اشتباه چند بار در محاسبات به‌کار گرفته نشود. برای بخشی از پساب تولید فعلی، قرارداد جایگزینی پساب با منابع آب سدهای طرق و کارده به میزان ۲۵ م.م.م در سال با کشاورزان منطقه بسته شده است. این درحالی است که حجم قابل انتقال آب از این سدها برای شرب مشهد تنها ۹ م.م.م در سال است. طرح جایگزینی نیز به‌دلیل برداشت پساب در طول مسیر رودخانه توسط سایر کشاورزان منطقه، مورد شکایت کشاورزان طرق و کارده است که درحال حاضر دارای پرونده حقوقی هستند. حجم آب قابل انتقال آب از سدهای طرق و کارده با بروزرسانی منابع آب این سدها به‌میزان تعهد ایجاد شده برای تامین آب از پساب نیست. طرح جابجایی پساب با حقآبه‌های کشاورزی در سد ارداک نیز به‌میزان ۴ م.م.م صورت گرفته و منابع آب پاک آن‌ها برای انتقال به شهر مشهد در طرح‌های آب سطحی منظور شده است. در افق توسعه کامل شبکه جمع‌آوری، پساب باقیمانده پس از کسر تعهدات موجود و با احتساب ۲۰٪ تلفات معادل ۱۶۳ م.م.م در سال خواهد بود که با توجه به ممنوعه بودن دشت مشهد و کمبود آب شرب، برنامه‌ریزی مصرف پساب برای تبدیل به آب شرب با استفاده از دو گزینه زیر باید صورت گیرد:

۱) انتقال پساب خروجی تصفیه‌خانه‌ها به غرب شهر مشهد و جایگزینی آن با مصارف موجود کشاورزی و انتقال آب پاک به شهر مشهد؛

۲) انجام تصفیه ثانویه پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در حدی که قابل شرب باشد و تزریق آن به آبخوان شرب مشهد.

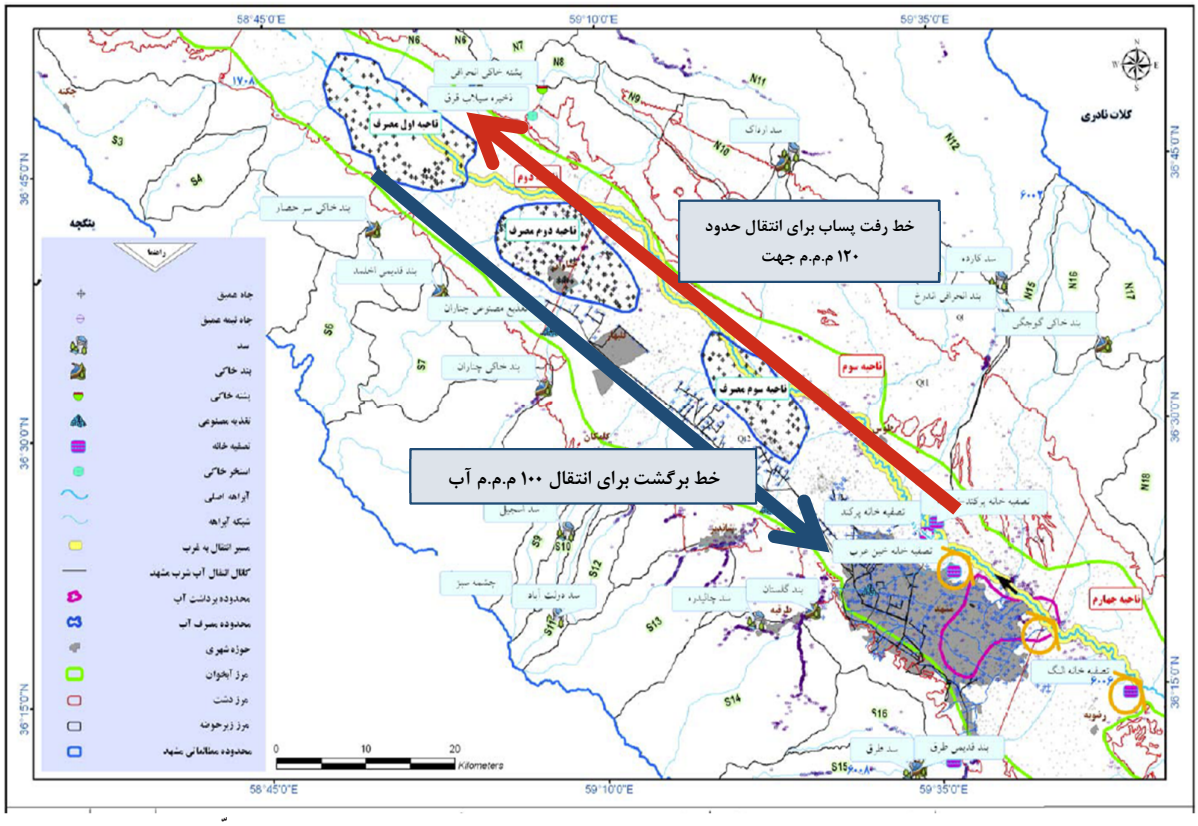
در شرایط فعلی دبی خروجی تصفیه‌خانه‌های موجود به رودخانه تخلیه می‌شود که برخی از تصفیه‌خانه‌ها از نوع برکه تثبیت بوده و دارای کیفیت مناسبی نیست. ارتقای این تصفیه‌خانه‌ها به‌روش لجن فعال در حال انجام است که درصورت تحقق، کیفیت پساب خروجی بهبود خواهد یافت. برای گزینه جابجایی تخصیص آب چاه‌های کشاورزی واقع در آبخوان غرب مشهد با پساب، احداث سامانه انتقال با حجم پساب ۱۲۰ م.م.م. در سال به سه ناحیه در فواصل ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلومتری از محل تصفیه‌خانه پرکندآباد مطابق شکل ۶ برنامه‌ریزی شده است. با توجه به تلفات خط، حجم برگشت آب پاک برای مصارف شرب ۱۰۰ م.م.م. در سال خواهد بود. تعداد چاه‌های فعال کشاورزی با دبی بالا برای جابجایی با پساب در سه ناحیه مذکور به‌ترتیب ۹۵، ۱۴۰ و ۷۴ است که تخلیه سالانه آن‌ها به‌ترتیب ۵۰/۵، ۶۰ و ۳۴ میلیون مترمکعب است (شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۹۵). در این راه‌کار پساب می‌تواند به‌صورت مستقیم



(بر حسب MCM در سال)

تصفیه‌خانه	ظرفیت افق توسعه	ظرفیت در دست بهره‌برداری	پتانسیل آتی تولید پساب در خروجی تصفیه‌خانه
پرکندآباد ۱	۸۹	۵	۷۱
پرکندآباد ۲		۲۴	
خین عرب	۷۷	۳۰	۶۱/۵
اولنگ	۸۰	۳۸	۶۴
طبرسی	۳۳	-	۲۶
طرق	۱۴	-	۱۱/۲
سیدی	۴	-	۳/۱
مهرگان	۳	-	۲/۲
جمع	۲۹۹	۹۷	۲۳۹

شکل ۵ – تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و ناحیه‌بندی شهر مشهد (شرکت آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۴)



شکل ۶- طرح جابه‌جایی مصارف آب کشاورزی چاه‌های غرب مشهد با پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و انتقال آّب آن‌ها برای شرب مشهد (KRWA, 2016)

به سیستم‌های آبیاری کشاورزان منتقل شود و یا این‌که پس از تغذیه مصنوعی آبخوان (درصورت عدم آلوده نمودن آبخوان شرب) از منابع آب زیرزمینی مجدد برداشت شود.

راه‌کار دوم ایجاد تصفیه ثانویه و حذف نیترات و سایر فلزات سنگین مضر از خروجی تصفیه‌خانه‌های موجود و تزریق آن به آبخوان شرب مشهد است. این روش از لحاظ تکنولوژیکی و دقت عمل در دوران بهره‌برداری از حساسیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طوری‌که هرگونه خطا در عملکرد تصفیه‌خانه می‌تواند تبعات سنگینی به‌همراه داشته باشد. بنابراین مدیریت ریسک و ایجاد تمهیدات پیشگیرانه در این روش بسیار حائز اهمیت است. علاوه‌بر مسائل دوران بهره‌برداری، در مرحله طراحی نیز باید استانداردهای کیفیت آب برای تغذیه مصنوعی با پساب (سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۸۹) با توجه به کاربری مصارف رعایت شود. پس از تصفیه تکمیلی و ایجاد اطمینان از تمهیدات مدیریت ریسک، تغذیه پساب به آبخوان باید با یکی از روش‌های تغذیه مصنوعی آبخوان به‌شرح زیر صورت پذیرد:

۱- تزریق سطحی از طریق حوضچه‌های تغذیه (SSB) و یا سایر تاسیسات ذخیره آب. این روش ساده‌ترین، قدیمی‌ترین، معمول‌ترین و مهم‌ترین روش تغذیه مصنوعی است.

۲- چاه‌های تزریق در ناحیه غیراشباع (VIW) . این روش از تکنولوژی‌های جدید برخوردار بوده و در نواحی شهری با قیمت بالای زمین و برای آبخوان آزاد کاربرد دارد.

۳- چاه‌های تزریق مستقیم در ناحیه اشباع (DIW). این روش از تکنولوژی‌های جدید برخوردار بوده و در نواحی شهری با قیمت بالای زمین، برای آبخوان آزاد و محبوس کاربرد دارد.

حوضچه‌های تغذیه دارای حجم تبخیر بالاتری بوده و محدودیت اشغال زمین نسبت به دو روش دیگر دارند. چاه‌های تزریق در ناحیه غیر اشباع از هزینه سرمایه‌گزاری اولیه بالایی برخوردارند و دارای ظرفیت محدود برای تغذیه هستند. همچنین در این روش تأثیرات تغذیه به‌سبب هیدرولیک جریان از زون غیراشباع به‌سمت زون اشباع کم و زمان‌بر است. چاه‌های تزریق مستقیم در ناحیه اشباع هزینه سرمایه‌گزاری اولیه بالایی

داشته و نیاز به تصفیه پیشرفته‌تری به‌دلیل حذف نقش آبخوان در جذب آلاینده‌ها دارند. ظرفیت تغذیه در این روش نیز نسبت به حوضچه‌های تغذیه پایین است. در بسیاری از موارد تغذیه مصنوعی آبخوان با استفاده از روش‌های ۲ و ۳ در کشورهای مختلف، هدف جلوگیری از پیشروی آب شور دریا نظیر کشور تونس (Gaaloul and Eslamian, 2014)، ذخیره‌سازی آب نمک‌زادیی شده در آبخوان نظیر کشور عربستان (Missimer et al., 2012) و ذخیره‌سازی بارش‌های نابهنگام در آبخوان نظیر کشور هلند (Woltheka et al., 2013) بوده است. تفاوت مورد مشهد تنها در الزامات تصفیه آب قبل از تزریق به آبخوان است که طرح تحقیقی و مطالعاتی آن با مشارکت کارشناسانی از کشور آلمان در دست انجام است.

۳-۶- برنامه‌ریزی تامین آب شرب مشهد

با احتساب طرح‌های تامین آب از منابع آب متعارف و تحقق راه‌کارهای استحصال آب شرب از پتانسیل پساب، میزان تامین آب شرب شهر مشهد مطابق جدول ۷ خواهد بود. منابع آب زیرزمینی قابل استحصال در حالت خوشبینانه با فرض تحقق هدف‌گذاری طرح احیا و تعادل‌بخشی آب زیرزمینی برای کاهش ۵۰٪ برداشت آب برای مصارف کشاورزی است. از آنجا که فرض فوق در گرو حل مشکلات معیشتی کشاورزان برای کاهش سطح اراضی کشاورزی و سرمایه‌گزاری برای کاهش تلفات آب کشاورزی که نیاز به مشارکت بخش دولتی و خصوصی دارد، است لذا هر میزان عدم موفقیت در تحقق اهداف طرح مذکور منجر به کاهش حجم آب قابل استحصال از منابع آب زیرزمینی و پساب برای شرب خواهد شد.

با در نظر گرفتن منابع آب موجود، تحقق طرح‌های تامین آب سطحی در حال اجرا و مطالعه و به‌کارگیری پتانسیل پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برای تامین آب شرب حتی در شرایط بدون اعمال اثرات طرح تعادل‌بخشی آب زیرزمینی، کمبودی در تامین آب شرب شهر مشهد وجود نخواهد داشت. این درحالی است که طرح تعادل‌بخشی آبخوان مشهد باید مطابق هدف‌گذاری آن پیش رود که درصورت تحقق حتی بخشی از آن، حجم تامین آب بیشتر از نیاز آب شرب خواهد شد. لازم‌به ذکر است درصورت عدم کاهش سرانه موجود مصرف آب در افق آتی، امکان تامین آب با راه‌کارهای مذکور برای نیاز آبی شرب ۴۱۴ م.م.م در سال مطابق جمعیت افق و سرانه موجود فراهم است. در گزینه خوشبینانه، حجم مازاد حدود ۱۲۲ م.م.م در سال برای ایجاد حاشیه اطمینان درصورت افزایش سرانه مصرف و یا تخصیص به شرب سایر نقاط جمعیتی فراهم خواهد بود. سایر راه‌کارها نظیر کاهش تلفات آب در مسیرهای انتقال آب و شبکه توزیع و مدیریت مصرف از طریق روش‌های ترغیبی و تشویقی برای کاهش سرانه مصرف خانگی یا تبدیل کولرهای آبی به گازی که به تنهایی می‌تواند منجر به صرفه‌جویی ۳۰ م.م.م در سال شود نیز می‌توانند به‌موازات طرح‌های تامین آب در جهت افزایش حاشیه اطمینان در دستور کار قرارگیرند. همچنین تامین آب توسعه صنعت منطقه باید از طریق خرید و تغییر کاربری چاه‌های کشاورزی و استفاده از ظرفیت پیش‌بینی شده در ماده ۲۷ و ۲۸ قانون توزیع عادلانه آب از محل آب قابل برنامه‌ریزی کشاورزی پس از کاهش ۵۰٪ مصارف باید صورت گیرد.

با درنظر گرفتن مدیریت منابع و مصارف مذکور، انتقال آب از دریای عمان که به‌عنوان یکی از راه‌کارهایی اصلی تامین آب شرب شهر مشهد مورد پیگیری برخی مسئولین است، منتفی می‌شود. طرح تامین آب از دریا که دارای طول ۱۶۰۰ کیلومتر و ارتفاع پمپاژ استاتیک ۱۰۰۰ متر است علاوه‌بر هزینه‌های بسیار بالای نمک‌زدایی و انتقال آب از اطمینان‌پذیری کمتری به‌لحاظ مباحث زیست‌محیطی دریا و پدافند غیرعامل نسبت به

جدول ۷- منابع آب تامین آب شرب شهر مشهد در افق ۱۴۲۰ (بر حسب MCM در سال)

نیاز آبی افق	منابع آب متعارف سطحی		منابع آب زیرزمینی		منابع آب جایگزینی از پساب*	کل منابع تامین آب	
	بدبینانه	خوشبینانه	بدبینانه (شرایط موجود و استحصال آب بالا آمده)	خوشبینانه (تحقق اهداف طرح تعادل‌بخشی)		بدبینانه	خوشبینانه
۳۹۶	۱۰۲/۸	۱۱۲/۶	۱۴۰	۲۴۳	۱۶۳	۴۰۵/۸	۵۱۸/۶

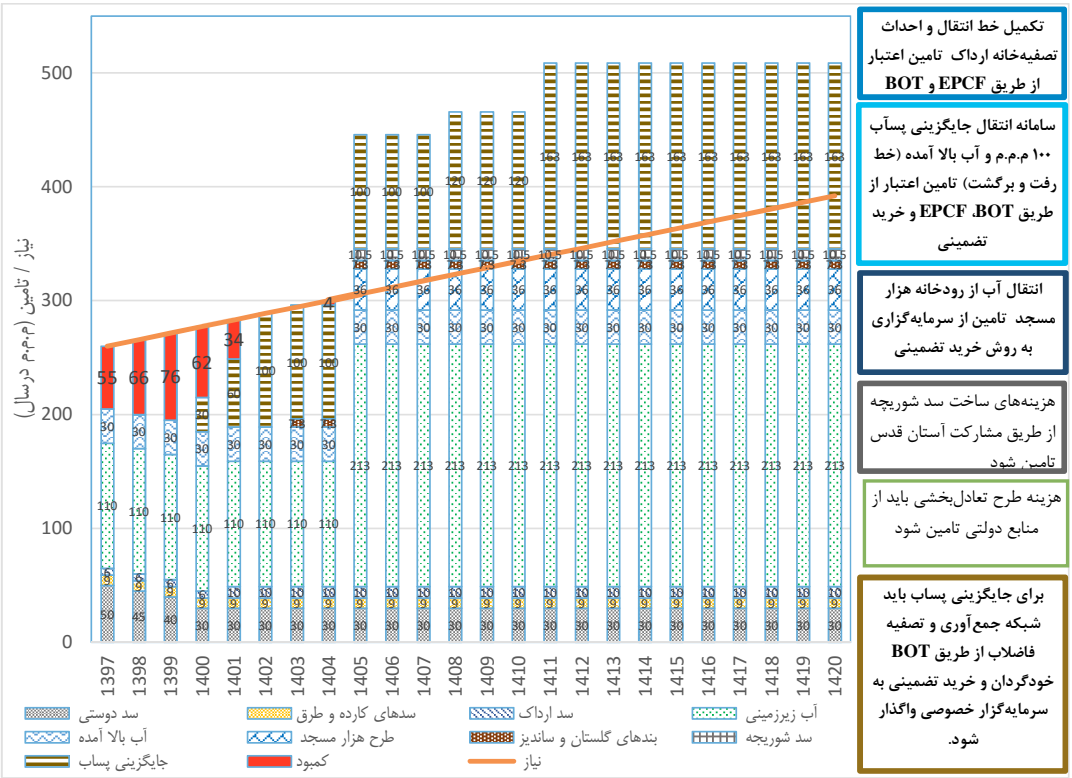
* با احتساب جابجایی پساب با حقابه‌های کشاورزی سدهای طرق، کارده و ارداک و اعمال ۲۰٪ راندمان تبدیل به آب شرب

سایر روش‌ها برخوردار است. لذا از لحاظ اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی (سه اصل توسعه پایدار) گزینه انتقال آب دریا قابل رقابت با گزینه‌های مدیریت منابع و مصارف داخل حوضه و بازچرخانی پساب نیست.

برنامه زمان‌بندی تامین نیازهای آبی، کمبود و مازاد آب در افق‌های مختلف و نحوه تامین منابع مالی و بودجه آن‌ها مطابق شکل ۷ است. به‌دلیل زمان‌بر بودن دوره ساخت برای تحقق بهره‌برداری از طرح‌های تامین آب، باید شروع عملیات اجرایی و تخصیص منابع مالی آن‌ها مطابق زمان‌بندی مذکور انجام شود. چالش مهم برای انطباق نیاز آبی شرب با منابع تامین آب شهر مشهد، تامین اعتبار مالی برای شروع عملیات اجرایی طرح‌ها قبل از افزایش نیاز است. برای تحقق امر مهم تامین آب شرب شهر مشهد، نیاز به سرمایه‌گزاری بخش خصوصی، مشارکت و همراهی آستان قدس به‌عنوان سرمایه‌گزار و مالک حقابه‌های کشاورزی و حمایت سازمان برنامه و بودجه کشور برای تخصیص اعتبارات دولتی است.

۴- خلاصه و جمع بندی

شهر مشهد به‌عنوان یکی از شهرهای استراتژیک و مرکز جذب توریست در منطقه‌ای خشک و فراخشک واقع شده است که تامین آب شرب آن حائز اهمیت است. در دهه اخیر با بهره‌برداری از خط انتقال آب سد دوستی بخش قابل‌توجهی از نیاز آبی شهر از آن تامین می‌شده است که حدود ۹۰٪ حوضه آبریز آن در کشور افغانستان واقع است. با مهار منابع آب سطحی حوضه آبریز هریرود در خاک افغانستان، آسیب‌پذیری تامین آب از این سد افزایش می‌یابد و ایجاد منابع جدید تامین آب به‌منظور پاسخگویی به نیاز شرب روبه‌رشد و هم‌چنین جایگزینی با سد دوستی در سال‌هایی که منابع آب کافی ندارد اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا به‌کارگیری پتانسیل منابع آب سطحی و زیرزمینی و بازچرخانی پساب و یا طرح نمک‌زدایی و انتقال آب از دریای عمان مورد بحث و اختلاف‌نظر تصمیم‌گیرندگان و کارشناسان بوده است. در این مقاله ضمن توصیف طرح‌های تامین آب اعم از مهار آب‌های سطحی



شکل ۷ – برنامه زمان‌بندی و تامین منابع مالی برای تامین آب شرب مشهد از طرح‌های مختلف

داخل حوضه کشفرود و یال شمالی حوضه سرخس، احیا و تعادل‌بخشی آب زیرزمینی و بازچرخانی پساب فاضلاب شهری مشهد و برنامه زمان‌بندی تحقق آن‌ها ارائه شد. طرح‌های معرفی شده در این مقاله، مجموعه‌ای از پیشنهادات مطرح در جلسات مدیریتی و کارشناسی در سطوح ملی و استانی هستند که مقادیر واقعی حجم قابل برنامه‌ریزی تعیین شده و مزایا و معایب آن‌ها تشریح شده است. درصورت تمرکز بر طرح‌های تامین آب از منطقه، ضمن پاسخگویی به نیازهای شرب در افق ۱۴۲۰، نیازی به انتقال آب از دریای عمان به مشهد نخواهد بود. از نظر شاخص‌های ارزیابی نظیر اقتصادی، زیست‌محیطی و پدافند غیرعامل طرح‌های مدیریت منابع آب و پساب منطقه از برتری محسوسی نسبت به طرح انتقال آب از دریا برخوردارند.

بررسی حجم قابل تامین شرب برای طرح‌های مختلف به‌صورت منفرد در این مقاله انجام شده است. هرچند حجم مخازن بزرگی نظیر مخزن سد دوستی برای مدیریت تامین آب شرب در زمان (عمدتا فصلی و ماهانه) وجود دارد و نگرانی از کاهش اطمینان‌پذیری زمانی تامین آب وجود ندارد، لیکن به‌منظور تدقیق اطمینان‌پذیری حجمی و زمانی تامین نیاز آبی شرب نیاز به مدل‌سازی تامین آب در یک سیستم یکپارچه است. هم‌چنین اثر طرح‌های منابع آب سطحی و بازچرخانی پساب در منابع آب زیرزمینی براساس روش بیلانی تعیین شده است که به‌منظور تدقیق آن می‌توان از مدل‌های آب زیرزمینی بهره گرفت.

نکات کلیدی تحقق برنامه‌ریزی ارائه شده در این مقاله را می‌توان به‌شرح زیر خلاصه نمود:

- تحقق اعتبار مالی از طریق تعریف طرح‌های واگذاری به سرمایه‌گزار خصوصی؛
- تامین اعتبارات مالی دولتی برای تکمیل مطالعات و شروع به‌موقع عملیات اجرایی طرح‌های مهار و انتقال آب؛
- همراهی و همکاری مردم و مسئولین برای تحقق اهداف طرح احیا و تعادل‌بخشی آب زیرزمینی؛
- همراهی آستان قدس در خصوص تهاتر حقابه‌ها به‌خصوص در طرح‌های سد شوریجه (حقابه سرخس) و بند گلستان؛
- طراحی، پیاده‌سازی و بهره‌برداری دقیق طرح‌های تصفیه‌خانه فاضلاب با به‌کارگیری نیروهای متخصص و دلسوز؛
- افزایش تدریجی تعرفه‌های آب شرب به‌طوری‌که پاسخگوی بازگشت سرمایه و خرید تضمینی طرح‌های BOT باشد؛
- ایجاد سامانه‌های دقیق نظارت و پایش کمی و کیفی تامین آب شرب؛
- ایجاد زیرساخت‌ها و تمهیدات لازم برای مدیریت ریسک.

۵- تشکر و قدردانی

از آقای مهندس ابراهیم‌نیا مدیرکل سابق دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا و خانم‌ها نیکفر و فیروزمنش کارشناسان گروه برنامه‌ریزی و تخصیص آب وزارت نیرو و کارشناسان و مدیران شرکت‌های آب منطقه‌ای خراسان رضوی، آب و فاضلاب شهری مشهد، شرکت مدیریت منابع آب ایران و کارشناسان شرکت طوس آب برای ارائه پیشنهادات طرح تامین آب شرب مشهد تشکر و قدردانی می‌شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

1- Water Crowding Index
2- Red tide
3- Millennium Development Goals
4- Surface Spreading Basin
5- Vadose Zone Injection Well
6- Direct Injection Well

۷- مراجع

سازمان برنامه و بودجه کشور، (۱۳۸۹)، *معیارهای زیست محیطی برای استفاده مجدد آب برگشتی و فاضلاب*، نشریه شماره ۵۳۵.

شرکت آب و فاضلاب شهر مشهد، (۱۳۹۴)، *تامین آب شرب شهر مشهد در سال ۱۳۹۴*.

شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، (۱۳۹۳)، *طرح‌های مطالعاتی تامین آب شرب شهر مشهد*، شرکت‌های مشاور پاژ آب تدبیر و سیمای آب خاوران.

شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، (۱۳۹۵)، *مطالعات انتقال آب زیرزمینی و فاضلاب به آبخوان‌های غرب مشهد جهت جای‌گزینی با حقابه‌های کشاورزی و تغذیه مصنوعی*، شرکت‌های مشاور پاژ آب تدبیر و سیمای آب خاوران.

شرکت مدیریت منابع آب، (۱۳۹۵)، *بیلان آب زیرزمینی منتهی به سال ۱۳۹۰*.

شرکت مدیریت منابع آب ایران، (۱۳۹۲)، *نتایج آماربرداری سراسری منابع آب*.

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، (۱۳۹۴)، *ابلاغیه مصرف سرانه شرب در طرح‌های آبرسانی*.
دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفای وزارت نیرو، (۱۳۸۹)، «پیش‌بینی جمعیت حوضه آبریز قره قوم»، طرح جامع آب کشور، شرکت مشاور طوس آب.
Falkenmark, M. (1989), "Vulnerability generated by water scarcity", *Ambio: A Journal of the Human Environme*nt, 18(6), 352-353.
Gaaloul, N., and Eslamian, S., (2014), "Artificial recharge experiences in semiarid areas", *Handbook of Engineering Hydrology Environmental Hydrology and Water Management*, Saeid Eslamian (ed.), Taylor and Francis Group.
Mediterranean Waste Water Reuse Working Group (MWWRWG), (2007), *Mediterranean wastewater reuse report*, (http://Ec.Europa.Eu/Environment/Water/Blueprint/Pdf/Med_Final_Report.Pdf).
Missimer, T.M., Sinha, A., and Ghaffour, N., (2012), "Strategic aquifer storage and recovery of desalinated water to achieve water security in the GCC/Mena region", *International Journal of Environment and Sustainability*, 1(3),87-99.
Pallett, J., Heyns, P., Falkenmark, M., Lundqvist, J., Seeley, M., Hydén, L., Bethune, S., Drangert, J., and Kemper, K. (1997), "Sharing water in Southern Africa", Windhoek, Namibia: Desert Research Foundation of Namibia (DRFN).
Wintgens, T., Bixio, D., Thoeye, C., Jeffrey, P., Hochstrat, R., and Melin T., (2006), "Reclamation and reuse of municipal wastewater in Europe – Current status and future perspectives", Analyzed by The Aquarec Research Project, http://Www.Iwrm-Net.Eu/Sites/Default/Files/Aquarec_Policy%20brief_Final_A4.Pdf.
Woltheka, N., Raatb, K., Ruijterc, J.A.D., Kempermand, A., and Oosterhofa, A. (2013), "Desalinization of brackish groundwater and concentrate disposal by deep well injection", *Journal of Desalination and Water Treatment*, 5(4-6), 1131-1136.