

Research Paper

مقاله پژوهشی

Determining the Drinking Per Capita in Order to Implement the Project of Separating Drinking and Sanitary Water (Case study: Bajestan Urban Watershed)

تعیین میزان سرانه شرب در راستای اجرای پروژه جداسازی آب شرب و بهداشتی (مطالعه موردی: حوزه شهری بجنستان)

Fatemeh Mohammadzadeh¹, Mohammad Reza Ekhtesasi^{2*}, Seyed Zeynalabedin Hosseini³, Abdoalrasoul Negaresh⁴ and Mohammad Allaei⁵

فاطمه محمدزاده^۱، محمدرضا اختصاصی^{۲*}، سید زین‌العابدین حسینی^۳، عبدالرسول نگارش^۴ و محمد علی^۵

1- Ph.D. Candidate in Watershed Management Science, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران.

2- Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران.

3- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران.

4- Ph.D. Candidate in Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

۴- دانشجوی دکتری عمران آب، دانشگاه آزاد تهران جنوب، تهران، ایران.

5- Managing Director and Head of the Board of the Khorasan Razavi Water Company, Mashhad, Iran.

۵- کارشناس ارشد علوم زمین، مدیرعامل شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران.

*Corresponding Author, Email: mr_ekhtesasi@yazd.ac.ir

*نویسنده مسئول، ایمیل: mr_ekhtesasi@yazd.ac.ir

Received: 12/01/2022

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲

Revised: 25/03/2022

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۳/۲۵

Accepted: 13/05/2022

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۳

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Providing good quality drinking water is one of the most important concerns of today's societies. Using a proper system for the fair distribution of potable water is very necessary and evidently the type of the system will lead to different amounts of water use per capita. Today, the dispute over good quality water resources in arid regions has escalated, Governments are forced to use separate drinking and sanitation water systems. Understanding the consumption of people in the form of per capita is a prerequisite for the proper design of drinking water distribution networks, the data of which are collected and analyzed in different ways. Quality of groundwater resources in Bajestan region, has led to the plan of separate drinking and sanitation water, with the establishment of government water collection stations since 2014. The purpose of this article is to estimate the per capita drinking consumption by query method by considering 378 samples and random sampling at certain distances from each station. The amount of per capita obtained is estimated at about 3 liters, but its amount has a different distribution in different city districts ranging from 2.5 to 4.5 liters. The highest amount is obtained for the new districts with villa texture and the lowest for the zones with more apartments. The results of the survey of the plan and the problems and consequences of its implementation showed that about 69.03% of people are using the water of these stations for drinking and tea, which is the criterion for determining per capita; The biggest problems of withdrawal stations are the numerous breakdowns of the stations and difficulty harvesting them, which requires the revision of some network operations.

تأمین آب شرب باکیفیت از مهم‌ترین دغدغه‌های جوامع امروزی محسوب می‌شود. استفاده از سیستم مناسب در توزیع عادلانه آب با به‌کارگیری استانداردهای لازم، بسیار ضروری است و طبیعتاً نوع سیستم به‌کار گرفته‌شده، منجر به مقادیر متفاوت سرانه خواهد شد. امروزه نزاع بر سر منابع آب باکیفیت در مناطق خشک افزایش یافته است و دولت‌ها را مجبور به استفاده از سیستم‌های جداگانه‌ی آب شرب و بهداشتی نموده است. لزوم درک میزان مصرف اشخاص در قالب سرانه، لازمه طراحی صحیح شبکه‌های توزیع آب شرب است که به طرق مختلف جمع‌آوری و تحلیل می‌شود. محدودیت کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه بجنستان، منجر به اجرای طرح جداسازی آب شرب و بهداشتی، با ایجاد ایستگاه‌های برداشت دولتی آب از سال ۱۳۹۳ شده است. این مقاله، باهدف برآورد مصرف سرانه شرب به روش پرسشگری انجام‌گرفته که با درنظر گرفتن ۳۷۸ نمونه و نمونه‌گیری تصادفی در فواصل معین از هر جایگاه، محاسبه‌شده است. مقدار سرانه به‌دست‌آمده در حدود ۳ لیتر برآورد شده، اما مقدار آن در بافت‌های مختلف دارای پراکنش متفاوت بوده و در فاصله ۲/۵-۴/۵ لیتر است که بیشترین مقدار آن در بافت ویلایی جدید و کمترین حد آن در بافت آپارتمانی است. هم‌چنین نتایج حاصل از نظرسنجی این طرح و نیز مشکلات و پیامدهای اجرای آن نشان داد که در حدود ۶۹/۰۳ درصد از مردم، از آب این جایگاه‌ها برای مصرف آشامیدن و چای استفاده می‌کنند که به‌عنوان ملاک تعیین سرانه است. بیشترین مشکلات جایگاه‌های برداشت نیز خرابی‌های متعدد جایگاه‌ها و دشواری برداشت از آن‌ها است که لزوم تجدیدنظر در برخی ساختارهای شبکه را می‌طلبد.

Keywords: Drinking water, Per capita, Separation project, Questionnaire.

کلمات کلیدی: آب آشامیدنی، سرانه، طرح جداسازی، پرسشگری.

توزیع دوگانه آب با رویکرد استفاده از پساب‌ها نیز در کالیفرنیا، نگراس، نوادا و سایر مناطق ایالات متحده به‌منظور بهینه‌سازی مصرف آب بازیافت شده، به‌وجود آمده است (National Research Council, 2007). این سیستم در کالیفرنیا تا سال ۲۰۲۵، ۱۶ درصد آب تصفیه‌شده و مطابق با استانداردهای بهداشت آب آشامیدنی را ایجاد خواهد کرد. استفاده از منابع آبی جایگزین همانند پساب‌ها و استحصال آب باران، نیز می‌تواند ضمانت ماندگاری آب آشامیدنی باشد.

در برخی دیگر از شهرها مانند مادرید یا هنگ‌کنگ که با تنش آبی روبه‌رو هستند، پیاده‌سازی سیستم دوگانه در کاهش مصرف آب بسیار مؤثر واقع شده است (Tang, 2000). در بسیاری از شهرهای ساحلی جهان از شبکه توزیع دوگانه با فرآیند شیرین‌سازی آب شور دریا در دو شبکه مجزا توزیع، برای آشامیدن و غیر آشامیدن، استفاده می‌شوند (Kotwicki and Al-Otaibi, 2011). مقدار مصرف آب شرب در مقایسه با سایر مصارف خانگی آب، از نوسانات و تغییرات کمتری برخوردار است و میزان آن در تمام ایام سال تقریباً ثابت است (گزارش فنی اقتصادی طرح جداسازی آب شرب از بهداشتی شهر بجستان، ۱۳۹۵). مصرف سرانه آب به عوامل زیادی بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: عادات و فرهنگ مردم، وضعیت اقتصادی و سطح زندگی، میزان صنعتی بودن، امکانات مراکز عمومی، شرایط آب و هوایی، نحوه آبرسانی (وجود شبکه و نوع آن)، وجود یا عدم وجود کنتور، نحوه دفع فاضلاب، میزان کیفیت منابع آب قابل‌دسترس، قیمت آب، فشار هیدرولیکی (بهره‌برداری) در شبکه توزیع و غیره (Munia et al., 2016). هم‌چنین از دیگر عوامل مؤثر در تغییر میزان سرانه شرب، آب و هوا است. آب‌وهوای گرم یا مرطوب باعث بالا رفتن میزان عرق کردن انسان می‌شود و نیاز به دریافت مایعات را بالا می‌برد. هم‌چنین سکونت در ارتفاع بالای ۲۵۰۰ متر از سطح دریا ممکن است باعث افزایش ادرار و تنفس سریع‌تر شود و در نتیجه آب بیشتری از بدن از دست خواهد رفت. از دیگر سو، با توجه به نیاز بیولوژیک بدن، مقدار آب موردنیاز، متفاوت خواهد بود و به سن، سطح فعالیت و محیط بستگی دارد. شرایط بارداری و شیردهی نیز میزان نیاز به آب را افزایش می‌دهد. زنان باردار باید ۲/۳ لیتر و زنان شیرده ۳/۱ لیتر در روز مایعات بنوشند. انجام ورزش یا هر فعالیت جسمی دیگری که باعث تعرق انسان شود، نیاز به نوشیدن آب اضافی برای جبران از دست رفتن مایعات را از بدن ایجاد می‌کند. وجود برخی بیماری‌ها مانند نارسایی قلب و برخی از انواع

آن‌چه در سال‌های اخیر نظر محققان را به‌خود جلب کرده است نیاز به حفاظت از منابع آب آشامیدنی در کشورهای واقع در مناطق خشک و در حال توسعه است و باید آسیب‌های احتمالی آن‌را در بخش انتقال و توزیع بررسی کنند و در مورد تأمین آب شرب و بهداشتی و واحدهای صنعتی، اگر تغییر نگرشی صورت نگیرد، به‌شدت منابع و تأسیسات آبی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. لزوم اجرای برخی طرح‌های آبی مطابق با شرایط اقتصادی، اجتماعی و اقلیمی منطقه غیرقابل‌انکار است که به مطالعه و بررسی هرچه دقیق‌تر نیاز دارند. تأمین آب آشامیدنی سالم و کافی برای بقا، حائز اهمیت اساسی است. آلوده و ناکافی بودن آب، اولین و اصلی‌ترین دلیل شیوع بیماری در بین افراد اجتماع است (Crocker and Bartram, 2014). حل مشکل آب شرب با توجه به پتانسیل‌های آب هر منطقه و حاکمیت شرایط خشک‌سالی، لزوم بررسی و ایجاد برخی طرح‌ها را به‌منظور صیانت و تأمین آب شرب برای انسان‌ها را ضروری ساخته است (Rasoulkhani et al., 2019). برخی از این طرح‌ها به‌دلایل متفاوت بسته به شرایط جغرافیایی و بحرانی در تأمین منابع سالم شرب، ایجاد شده است. از آن‌جا که آب با کیفیت فقط برای نوشیدن و آشپزی است، مصارفی همانند حمام و شستشو، نیاز به کیفیتی به‌مراتب کمتر از آب آشامیدنی دارد و از سوی دیگر نیز مقدار و نحوه مصرف آب آشامیدنی می‌تواند با استفاده از شبکه‌های توزیع دوگانه آب به‌طور بالقوه کاهش یابد.

برخی کشورها با ایجاد شبکه‌های توزیع دوگانه، مانند کویت که از دو شبکه موازی آب شور و شیرین استفاده می‌کنند، مقدار مصرف آب شیرین را با توجه به میزان تقاضا، کنترل و پیش‌بینی می‌کنند که این امر سبب صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب آشامیدنی می‌شود. با افزایش جمعیت جهان، ارتقا سطح زندگی و رو به کاهش گذاردن منابع آب شیرین، شبکه‌های دوگانه به‌عنوان گزینه ترجیحی مدیریت منابع آب در آینده، در حال بررسی است که از نظر اقتصادی و تکنولوژیکی کاملاً منطقی است. کویت کشوری با منابع آب محدود است و هیچ‌گونه منبع آب سطحی ندارد. این در حالی است که منابع آب زیرزمینی آن نیز شور هستند (Al-Ruwaihi and Almedejz, 2007)؛ بنابراین منبع اصلی تأمین آب آن‌ها از آب دریا است که با نمک‌زدایی و تصفیه تأمین می‌شود. کماکان افزایش سرانه مصرف آب روزانه، پایداری این سیستم‌ها را با مشکل روبه‌رو کرده است و ممکن است بر اقتصاد و محیط‌زیست این کشورها تأثیر بگذارد. کاربرد سیستم‌های

خراسان رضوی، ۱۳۹۵). به طور کلی دو لیتر در روز به عنوان میزان پیش فرض مصرف آب آشامیدنی در نظر گرفته می شود، اگرچه شواهد نشان می دهد که این مقدار کافی نیست (Edition, 2015). این مقدار با در نظر گرفتن مصرف سایر نوشیدنی ها در کشور ژاپن، ۱/۲۸ و میانگین ۱/۶۵ لیتر در روز برآورد شده است که با مقدار دو لیتر در روز مطابقت دارد. مقدار آب بر اساس نیاز هر فرد به شکل جدول زیر است (گروه مهندسی آبرام، ۱۳۹۰).

جدول ۱- میزان نیاز آبی بر اساس نیاز فرد

ملاحظات	میزان (لیتر در روز)	نوع نیاز
براساس آب و هوا و فیزیولوژی افراد	۲/۳-۵	نیازهای حیاتی از طریق آب و مواد غذایی
براساس هنجارهای فرهنگی و اجتماعی	۶-۲	مصارف بهداشتی
براساس نوع غذا، هنجارهای اجتماعی و فرهنگی	۶-۳	طبخ غذا
۷/۱۵-۵		کل

بزرگسال) ۱/۴۹ لیتر در روز برآورد شده است. از دهه های گذشته تاکنون، کیفیت آب آشامیدنی، مقررات سخت گیرانه تری یافته است؛ با کاهش منابع آب زیرزمینی و کاهش ظرفیت آبدهی چاه ها اعم از شرب و غیرشرب، مشکل تأمین آب را دوچندان خواهد کرد (Hayes and Skubala, 2009). با در نظر گرفتن این موارد، برای رسیدن به شرایط پایداری، جداسازی سیستم آب شرب از بهداشتی، به صرفه جویی در مصرف آب کمک خواهد نمود. با توجه به حاکمیت شرایط خشک و نیمه خشک در کشور ایران نیز این گونه روش جداسازی، طراحی شده و هنوز نیز مورد استفاده است. شهرهایی هم چون کاشان، قم، بجنستان، ساوه، بهرمان، طبرس و حسن آباد که عمده دلیل اجرای این پروژه ها، کمبود منابع آب شیرین و افزایش شوری منابع آب زیرزمینی در حال برداشت است (امامی و شاکری، ۱۳۹۴).

سرانه مصرف آب در شرایط اضطراری بسته به نوع آب و هوا، وضعیت کلی جامعه و مسائل فرهنگی-اجتماعی آن ها تغییر می کند. سیستم های توزیع دوگانه با اهداف متفاوت اجرا می شوند؛ برای مثال در برخی کشورها هدف از به کارگیری این سیستم ها به منظور استفاده مجدد آب در پروژه های آبی، است (United Nations Environment Programme, 2007). در منطقه ثامن مشهد، به صورت الگو، مطالعات جداسازی آب شرب از بهداشتی انجام گرفت اما به مرحله اجرا نرسید (شرکت آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۴). استفاده از سیستم های دوگانه آب شرب و بهداشتی در کشورمان به منظور صرفه جویی در مصرف انرژی و

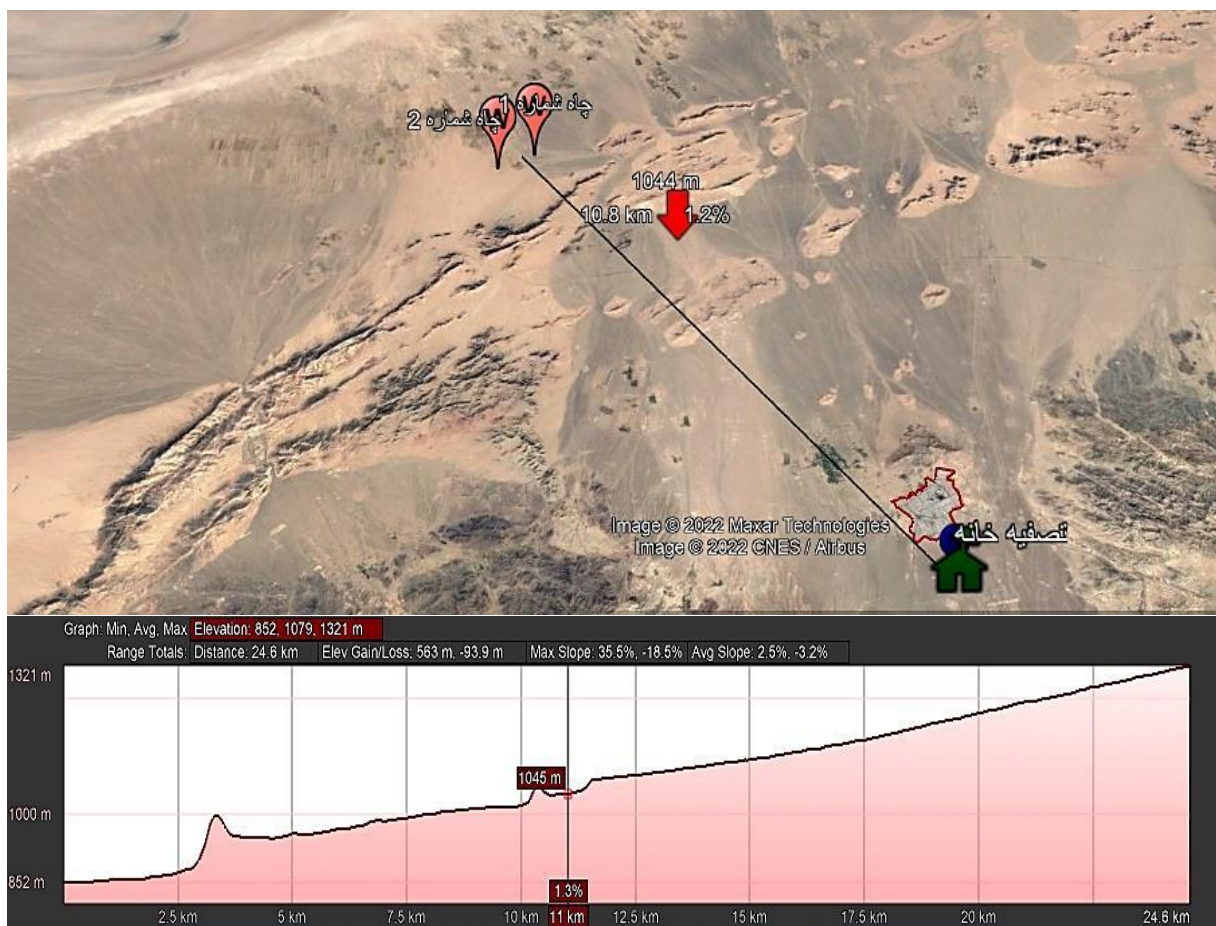
اختلالات کلیوی، کبدی و غده فوق کلیوی که دفع آب را از بدن مختل می کنند، ممکن است مصرف مایعات را محدود کند (مهندسی مشاور تمدن کاریزی، ۱۳۹۵). مصارف مختلف آب شرب از ساعات اولیه روز شروع و تقریباً تا نیمه شب ادامه می یابد. میزان آب شرب مصرفی در تمام ایام سال تقریباً ثابت است و شبکه توزیع آب شرب تحت تأثیر نوسانات روزانه قرار نمی گیرد و تنها مصارف لحظه ای به صورت برداشت های هم زمان بر شبکه توزیع تأثیر می گذارند (معاونت امور آب و آبفای

در مواردی که تنوع سرانه مصرف آب افزایش می یابد، معمولاً میزان آب لازم برای هر مصرف کاهش می یابد. اگر زمان صرف شده برای تهیه آب بیش از ۳۰ دقیقه باشد، میزان آب مصرفی مردم کاهش می یابد. براساس حداقل استانداردهای جهانی پیشنهاد شده، حداکثر فاصله هر خانواده تا محل تأمین آب باید ۵۰۰ متر و حداکثر زمان انتظار برای دریافت آب ۱۵ دقیقه باشد. متوسط آب برای آشامیدن، پخت و پز و بهداشت فردی در هر خانوار حداقل ۱۵ لیتر به ازای هر نفر در روز است. افزایش این زمان به بیش از ۳۰ دقیقه منجر به کاهش مصرف آب به ازای هر نفر می شود. ظرفیت ظروف نگهداری آب نیز بستگی به تعداد افراد هر خانوار و ثبات دسترسی به منبع آب دارد. مثلاً به طور تقریبی ۴ لیتر به ازای هر فرد برای شرایطی که آبرسانی به طور روزانه و ثابت است، مناسب است (مرکز رشد فناوری واحدهای دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۷).

Falkenmark (1986) استدلال می کند که حداقل سرانه مورد نیاز برای یک جامعه مدرن که در شرایط نیمه خشک زندگی می کند در حدود ۵۰۰، آبیاری ۴۰۰ و نیازهای خانگی و صنعتی ۲۷۴ مترمکعب در سال است. مقادیر آب شرب مصرفی در کشورهای مختلف متفاوت است برای مثال، متوسط آب شرب مصرفی برای بزرگسالان ۱/۶ (زنان) و ۱/۷ (مردان) در اسپانیا است (Munia et al., 2016). در ۴ استان ژاپن از بین ۲۴۲ بزرگسال، ۲/۲۳ لیتر برای هر بزرگسال در روز (Guswa et al., 2014)، در استرالیا از بین ۶۲۳۲ بزرگسال، ۲/۳ لیتر برای زنان و ۲/۴ لیتر برای مردان و میانگین مصرف آب در ۴ شهر چین (۷۴۷

است که در حدفاصل پلایا و کوهستان واقع شده است و با کمبود منابع آبی باکیفیت روبه‌روست. از سال ۱۳۸۴ منبع اصلی تأمین آب بهداشتی از محدوده‌ی پلایا با اختلاف ارتفاع ۴۰۰ متری و برخلاف شیب هیدرولیکی به سطح دشت صورت می‌گیرد (شکل ۱). به دلیل کیفیت پایین آب انتقالی و بالا بودن میزان EC (۳۰۰۰-۸۰۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر)، عمده ساختارهای انتقال آب به دشت پس از گذشت مدت‌زمان کوتاهی، دچار استهلاک می‌شوند.

کاهش هزینه‌های تصفیه آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است (فتوحی و همکاران، ۱۳۹۶). در سال‌های کنونی روش‌های مختلف توزیع آب شیرین در مناطق باکیفیت پایین منابع آبی در دستور کار وزارت نیرو قرار گرفته است؛ این روش‌ها شامل استفاده از آب‌شیرین‌کن‌ها، آب‌معدنی، جایگاه‌های برداشت آب و شبکه دوگانه بوده است، اما تنها در معدود شهرهایی به‌صورت پایلوت اجرا شده است (مجله خبری اقتصاد، ۱۳۹۳). حوزه آبخیز دشت بجستان در جنوب استان خراسان رضوی واقع شده است. محدوده مطالعاتی موردنظر، بخش شهری بجستان



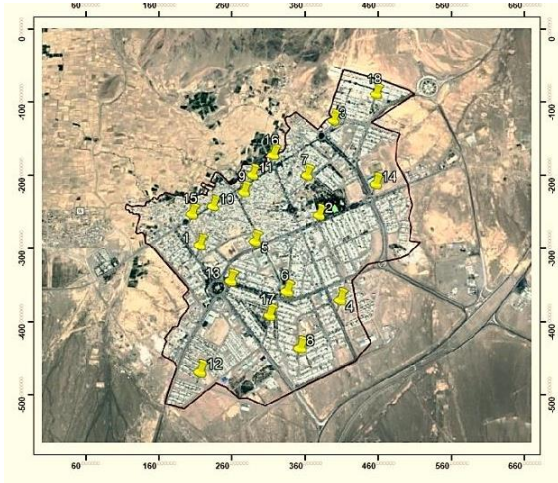
شکل ۱- موقعیت تصفیه‌خانه و چاه‌های تأمین آب شرب و بهداشتی بجستان

را به اجرای سیستم دوگانه آب شرب، به‌منظور تأمین آب شرب باکیفیت، واداشته است.

در طراحی سامانه‌های آب شهری و روستایی، حجم آب موردنیاز جمعیت به‌صورت روزانه (سرانه) تعیین می‌شود و مقدار آن از زمان شروع تا انتهای دوره طرح (عمر مفید پروژه) محاسبه می‌شود. تخمین میزان سرانه آب شرب شهروندان به‌منظور طراحی و برنامه‌ریزی یک سیستم بزرگ توزیع آب و مسائل مربوط به آن بسیار مهم و ضروری است (معاون نظارت و راهبری ریاست

در حدود ۴۰ مترمکعب آب به‌صورت روزانه شیرین‌سازی می‌شود که ۲۷ مترمکعب خروجی آن است؛ ۱۰-۱۳ مترمکعب آن به شبکه آب شرب وارد می‌شود و مابقی به شبکه آب بهداشتی تزریق می‌شود که در اثر اختلاط با آب شور بی‌کیفیت، مقدار EC آب بهداشتی را کاهش می‌دهد. لازم‌به‌ذکر است که منابع آب باکیفیت از جمله قنوات، با مجموع دبی بیش از ۴۰ لیتر بر ثانیه در دشت وجود دارد که در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. کاهش شدید کیفیت منابع آب و نیز نزاع بر سر منابع آبی، دولت

مبتنی بر استفاده از شبکه توزیع جداگانه با کمک جایگاه‌های برداشت دولتی آب شرب با کارت هوشمند در سطح شهر است. تعداد جایگاه‌های برداشت ۱۸ ایستگاه است (شکل ۲).



شکل ۲- پراکنش جایگاه‌ها در سطح شهر

اساس برداشت از این جایگاه‌ها بر مبنای کارت قابل شارژ است (شکل ۳) که شهروندان باید در ازای تهیه هر حجم موردنیاز و مبلغ ۱۰۰ ریال به ازای هر لیتر، به جایگاه‌ها مراجعه و با گالن اقدام به برداشت آب نمایند.



شکل ۳- جایگاه‌های برداشت آب شرب شهر بجنستان

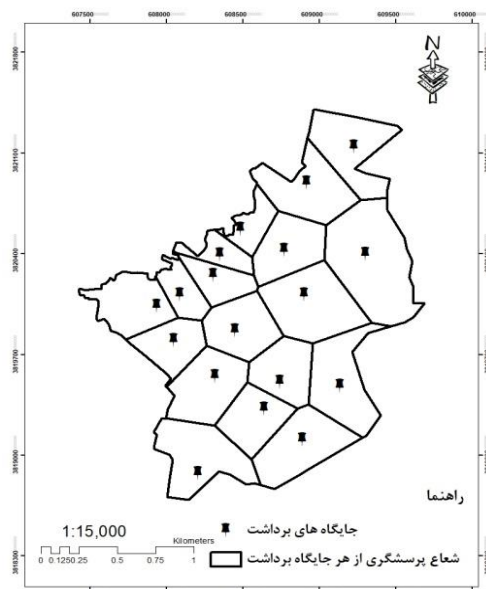
کیفیت آب، تسهیل در برداشت و حمل آب، امکان شارژ کارت، شرایط جسمی شخص برداشت کننده آب و همچنین سن آن‌ها در تعیین تعداد دفعات و مقدار برداشت آب مؤثر است. مقدار مصرف آب شرب از این جایگاه‌ها به عوامل مختلفی از جمله نوع مصرف بستگی داشته و می‌تواند دربرگیرنده مصارف

جمهوری، ۱۳۹۲). از پارامتر سرانه در طراحی شبکه‌های توزیع آب، به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین قطر لوله، در بخش‌های مختلف شبکه توزیع استفاده می‌شود. بنابراین تعیین مقدار دقیق آن در کاهش هزینه‌ها و نیز طراحی شبکه بهینه، ضروری به‌نظر می‌رسد. از آن‌جا در شبکه‌های آب شرب، حجم آب ورودی به شبکه کمتر از شبکه‌های آب بهداشتی است، حجم کمتری از سرانه برای جمعیت نیز قابل پیش‌بینی خواهد بود که البته این امر نیز به نوع روش توزیع نیز بستگی دارد. برای تعیین سرانه روش‌های مختلفی وجود دارد.

به‌طور کلی مصرف سرانه آب شرب به راه‌کار استفاده‌شده در روش توزیع آب شرب وابسته است و در بیشینه‌ترین حالت، مصرف آب شرب خانگی شامل پخت‌وپز و آشامیدن و ظرف‌شویی است. بررسی‌های انجام‌شده مربوط به سرانه‌ها در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که سرانه آب شرب از سه طریق بررسی‌نیاز، برآورد مصرف و وضع استاندارد تعیین شده است. در این تحقیق به‌منظور تعیین سرانه، از روش برآورد مصرف، با استفاده از پرسشگری و انتخاب نمونه‌ها به‌صورت تصادفی انجام شد. اما قبل از انتخاب نمونه، باید در ابتدا جامعه آماری را تعیین کرد، سپس اقدام به نمونه‌گیری نمود. طرح جداسازی آب شرب از غیر شرب در سال ۱۳۹۳ در شهر بجنستان و در سطح ۳۵۰ هکتاری شهری، اجرا شده است. این جداسازی

در این طرح که در آن بحث تأمین آب شرب به‌صورت جداگانه مطرح است، لازم است تا عوامل مؤثر در مصرف سرانه شرب نیز موردبررسی قرار گیرد، از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین سرانه مصرف شرب در طول سال در این تحقیق، می‌توان به موارد زیر اشاره داشت: فاصله تا جایگاه‌ها، قیمت آب،

با توجه به پراکنش جایگاه‌ها در سطح شهر و مساحت موجود، محدوده مطالعاتی به ۱۸ زون تقسیم‌بندی شد (شکل ۵) و سپس پرسشگری در هر یک از زون‌ها به صورت تصادفی انجام شد. هدف آن است که با طرح سؤالات مهندسی شده، درنهایت میزان سرانه آب شرب در شهر بجستان حاصل شود.



شکل ۵- محدوده‌ی پرسشگری به شعاع مشخص از هر جایگاه

نتایج این آمارگیری می‌تواند برای سایر نقاط کشور که از شرایط آب و هوایی و نیز جمعیتی مشابه برخوردار هستند، تعمیم داده شود. پس از انتخاب نمونه‌ها و توزیع پرسشنامه‌ها، اقدام به جمع‌آوری اطلاعات نموده و درنهایت یافته‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین جامعه، نمونه آماری و اندازه نمونه

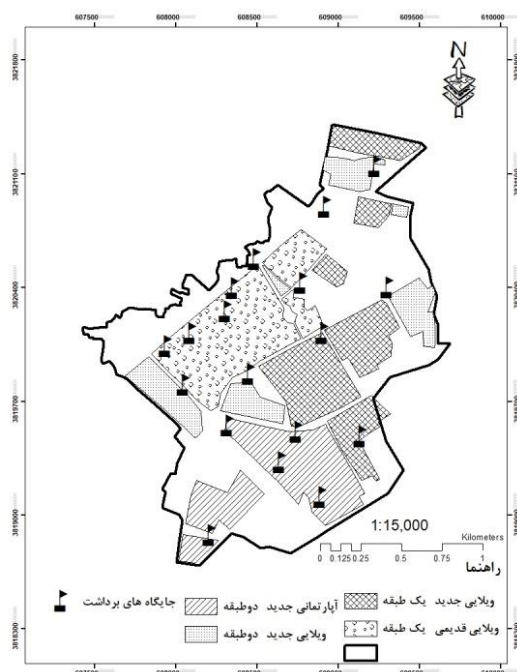
در این پژوهش جامعه آماری مورد بررسی کلیه مشترکین شرکت آب و فاضلاب شهر بجستان هستند که برای بررسی تعیین میزان سرانه شرب مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به منظور دستیابی به نمونه‌های آماری مناسب از جامعه آماری در این طرح از روش نمونه‌گیری تصادفی استفاده می‌شود. در این پژوهش جامعه آماری، مشترکین شرکت آب و فاضلاب شهر بجستان با اندازه ۶۰۰۰ است، بنابراین تعداد نمونه‌ها به صورت معادله (۱) تعیین می‌شود (حیدریان و رحیمی، ۱۳۹۶):

$$n = \frac{\frac{Z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{Z^2 pq}{d^2} - 1 \right)} \quad (1)$$

آشامیدن، پخت‌وپز، شستشوی سبزیجات و میوه‌ها و یا شستشوی ظروف و یا ترکیبی از آن‌ها باشد. در این تحقیق علاوه بر تعیین سرانه شرب به ارزیابی روش کنونی نیز انجام می‌شود تا علاوه بر تعیین مقدار دقیق سرانه در طراحی‌های بعدی شبکه شرب، امکان اصلاح روش کنونی و یا پیشنهادات در اجرای روش‌های جدید توزیع نیز بررسی شود.

۲- مواد و روش‌ها

برآورد و انتخاب صحیح میزان مصرف سرانه آب، با توجه به تأثیر مستقیم آن بر ظرفیت تأسیسات شبکه و در نهایت هزینه‌های اجرای طرح‌های آبی، بسیار مهم است (سمساری‌دی و همکاران، ۱۳۹۵). بدین منظور ابتدا جامعه آماری و نمونه‌ی آماری تعیین شد. برنامه جمع‌آوری آمار و اطلاعات در مورد مصارف خانگی، اقدامات لازم با توجه به موارد زیر انجام می‌شود: الف) تقسیم‌بندی شهر به مناطق مختلف با توجه به بافت شهری و صنعتی از قبیل تراکم، سطح زندگی؛ ب) انتخاب درصد مناسبی از مشترکین در هر منطقه است (معاون نظارت و راهبری ریاست جمهوری، ۱۳۹۲). شهر بجستان دارای ۴ بافت متفاوت شامل ویلایی جدید دوطبقه، ویلایی یک طبقه و آپارتمانی دوطبقه در بافت جدید و نیز ویلایی یک طبقه در بافت قدیم است. قبل از شروع به نمونه‌گیری، لازم است پراکنش جایگاه‌ها در بافت‌های مختلف را بررسی کرد (شکل ۴).



شکل ۴- پراکنش جایگاه‌های برداشت آب شرب در بافت‌های مختلف

نیز شامل سوالاتی در خصوص شبکه شرب دوگانه تا منزل و پیشنهادات پرسش‌شوندگان برای بهبود وضعیت شبکه توزیع آب شرب است.

۳-۳- جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها

با توجه به این‌که جایگاه‌ها، دارای پراکنش مناسب در سطح شهر بودند، تعداد افراد مراجعه‌کننده به جایگاه‌ها بسیار کم بود. بنابراین پس از تعیین هر یک از زون‌ها با شعاع ۳ کیلومتری از هر جایگاه از منازل مسکونی و واحدهای تجاری، پرسشگری صورت گرفت. پس از پرسشگری در مناطق اطراف دو جایگاه، تجدیدنظر در سؤالات صورت گرفت و برخی سؤالات اصلاح شدند و روند ادامه یافت. سپس یافته‌های حاصل تحلیل و بررسی شد.

۳-۴- آزمون مقایسه میانگین چند جامعه (One-way ANOVA)

در اولین گام تحلیل، مشخصات عمومی پاسخ‌دهندگان با آزمون واریانس یک‌طرفه ANOVA تحلیل شد. این آزمون برای مقایسه میانگین یک یا چند صفت کمی در بیش از دو گروه استفاده می‌شود. پس از پی بردن به سطح معناداری میانگین‌ها، باید مقایسه‌های دیگری در بین گروه‌ها، نواحی و یا شاخص‌های بین گروه‌های متغیر وابسته انجام داد که نتایج آن در جدول ۲ بیان شده است.

که n : حجم نمونه آماری، N : حجم جامعه آماری، d : اشتباه مجاز و معمولاً را برابر 0.05 و z : مقدار متغیر نرمال با سطح اطمینان $1-\alpha$ است. در آزمون دو دامنه مقدار z برای سطح اطمینان 95% درصد برابر 1.96 و برای سطح اطمینان 99% درصد برابر 2.58 است. P : نسبت برخورداری از صفت موردنظر و $q = (1-p)$: نسبت عدم برخورداری از صفت موردنظر است؛ اما معمولاً p و q را 0.5 و مقدار خطا نیز 5% درصد در نظر گرفته می‌شود. اندازه نمونه آماری در شهر بجستان با استفاده از فرمول کوکران با خطای کمتر 0.05 و ضریب اطمینان 0.95 ، برابر با 373 است. نهایتاً تعداد 378 پرسشنامه (تعداد 21 پرسشنامه در هر زون) تکمیل و مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳-۲- تدوین پرسشنامه

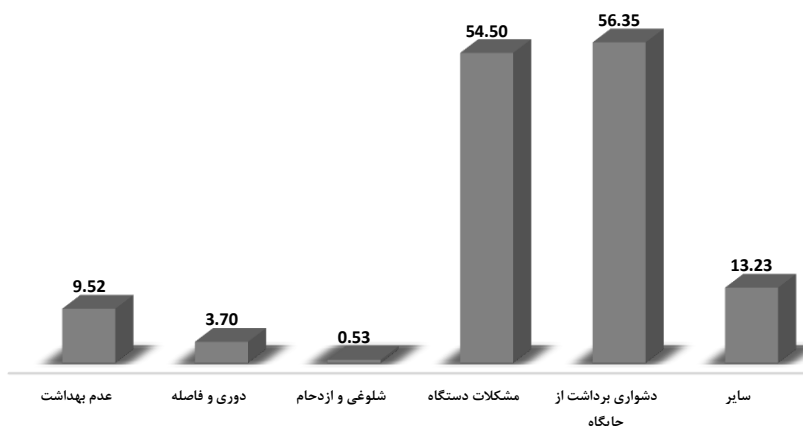
گام بعدی برای اجرایی کردن پروژه، تهیه پرسشنامه‌ای است که توانایی تعیین میزان سرانه شرب مشترکین شرکت آب و فاضلاب در شهر بجستان را داشته باشد. پرسشنامه شامل سه بخش است؛ بخش اول شامل مشخصات نویسندگان از جمله جنسیت، سن، تعداد افراد خانوار، شغل و میزان تحصیلات است. بخش دوم در ارتباط با وضعیت برداشت از جایگاه‌های برداشت کنونی شرب است. سوالاتی در ارتباط با تعداد برداشت‌ها در هفته، نوع ظروف مورد استفاده، نوع مصرف و مشکلات برداشت آب از جایگاه‌ها است. بخش انتهایی پرسشنامه

جدول ۲- نتایج حاصل از تحلیل، مشخصات عمومی پاسخ‌دهندگان با آزمون ANOVA

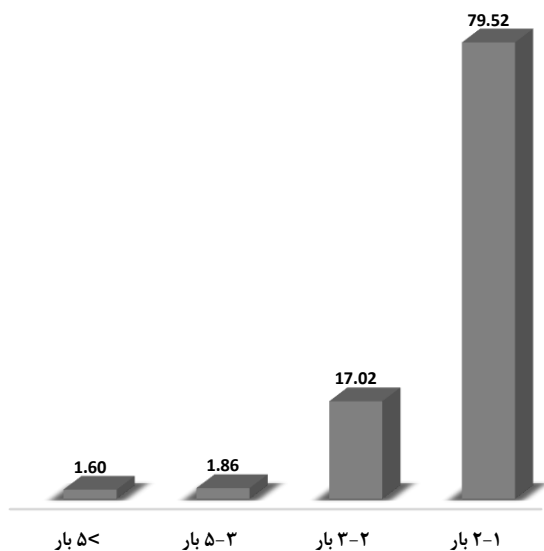
مد	سطح معنی‌داری (sig)	آمار آزمون F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	نوع متغیر	
مرد	0.000	13	4	1	4	بین گروه‌ها	جنسیت
			0.000	376	129	درون گروه‌ها	
				377	134	مجموع	
سال ۴۰-۵۹	0.000	298	31	3	94	بین گروه‌ها	سن
			0.000	374	39	درون گروه‌ها	
				377	134	مجموع	
دیپلم و فوق‌دیپلم	0.000	136	23	3	70	بین گروه‌ها	تحصیلات
			0.000	374	63	درون گروه‌ها	
				377	134	مجموع	
آزاد	0.000	136	23	3	30	بین گروه‌ها	شغل
			0.000	374	103	درون گروه‌ها	
				377	134	مجموع	
۲-۵ نفر	0.000	179	32	2	65	بین گروه‌ها	تعداد افراد خانوار
			0.000	375	68	درون گروه‌ها	
				377	134	مجموع	

از جایگاه‌ها، شلوغی و ازدحام، مشکلات دستگاه و مشکلات برداشت از دستگاه بود (شکل ۶). اما شهروندان شکایت‌های دیگری از جایگاه‌ها داشتند؛ از جمله هدررفت آب، گل آلودگی آب، تغییرات کیفی دوره‌ای، مشکلات کار با دستگاه برای افراد بی‌سواد و وجود برخی حیوانات مانند سگ‌ها در اطراف جایگاه‌های برداشت بود.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همه موارد مقدار P از ۰/۰۵ کوچک‌تر است و فرض برابری میانگین‌ها با مشخصات فردی متفاوت پاسخگویان رد می‌شود. یعنی میزان سرانه مصرف آب شرب تحت‌تأثیر مشخصات فردی پاسخگویان مانند جنسیت، سن، میزان تحصیلات، شغل و تعداد افراد خانوار قرار دارد. در قسمت پایانی پرسشنامه، مشکلات در برداشت آب از جایگاه‌ها مطرح شد که شامل عدم رعایت بهداشت، دوری و فاصله



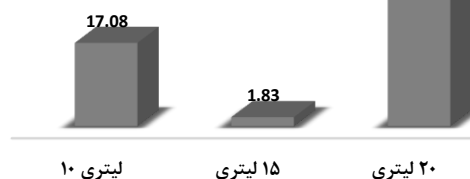
شکل ۶- نمودار درصد امتیازدهی به هریک از مشکلات برداشت از جایگاه‌ها



شکل ۸- نمودار درصد فراوانی برداشت‌ها در هفته

با توجه به این‌که در حدود ۶۹/۰۵ درصد از افراد برداشت‌کننده از جایگاه‌ها، آب تصفیه‌شده را در مصارف چای و آشامیدن مصرف می‌کنند، بنابراین باید مصرف سرانه را در روش جداسازی آب شرب و بهداشتی، به این بخش (آشامیدن و چای) بست داد (شکل ۹).

برای تعیین میزان سرانه باید تعداد برداشت‌ها در هفته و نیز فراوانی نوع گالن‌های مورد استفاده (احجام ظروف مورد استفاده) با توجه به بعد هر خانوار تعیین شود. همان‌گونه که در نمودار مشخص است بیشترین فراوانی مربوط به گالن‌های ۲۰ لیتری (شکل ۷) و اکثر برداشت‌ها به تعداد ۱-۲ بار در هفته (شکل ۸) انجام می‌گیرد.

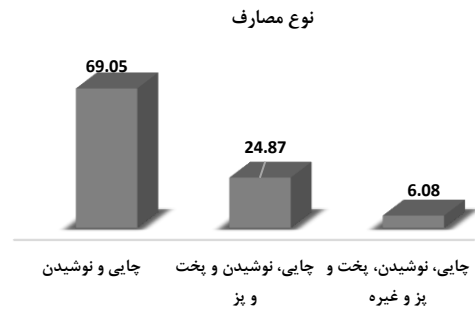


شکل ۷- نمودار درصد استفاده از ظروف با حجم متفاوت

تعیین میزان سرانه شرب در راستای اجرای پروژه جداسازی آب شرب و بهداشتی ...

پرسشنامه برای تعیین سرانه مصرف (تعداد دو پرسشنامه مردود شد)، مورد بررسی قرار گرفتند. سپس مقدار سرانه برای هر نفر برحسب لیتر در روز^۱ (PCD) با توجه به معادله (۲) محاسبه و نتایج به صورت جدول ۳ جمع بندی شد. مقدار سرانه براساس تعداد برداشتها در هفته^۲ (NP)، حجم آب برداشتی در هر بار برداشت^۳ (VWW) و تعداد افراد خانوار^۴ (NF) و روزهای هفته به دست آمد.

$$PCD\left(\frac{Lit}{day}\right) = \frac{NP \times VWW}{NF \times 7(days)} \quad (2)$$



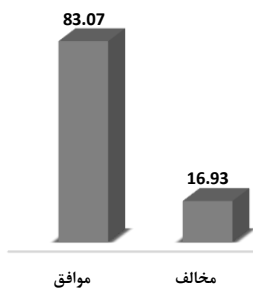
شکل ۹- نمودار درصد نوع مصارف مشترکین

به این ترتیب از تعداد ۳۷۸ پرسشنامه تکمیل شده، ۳۷۶

جدول ۳- محاسبه مقدار سرانه برحسب لیتر در روز در شعاع هر جایگاه برداشت

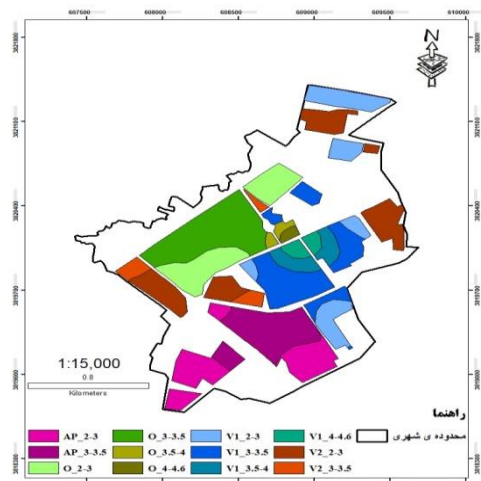
شماره ایستگاه	نام ایستگاه برداشت	مقدار سرانه (لیتر در روز)	شماره ایستگاه	نام ایستگاه برداشت	مقدار سرانه (لیتر در روز)
۱	بانک کشاورزی	۲/۴۹	۱۰	میدان آزادی	۳/۳۴
۲	شهرک شریعتی	۳/۱۰	۱۱	بلوار پاسداران	۲/۹۴
۳	حوزه علمیه	۳/۲۷	۱۲	بیمارستان	۲/۸۸
۴	سید اسماعیل	۳/۵۴	۱۳	شهرک فرهنگیان	۳/۰۴
۵	مسجد ساپا	۲/۹۳	۱۴	سه شنبه بازار	۳/۳۷
۶	دبیرستان غفورزاده	۲/۷۹	۱۵	میدان گل‌ها	۲/۵۴
۷	اداره آب	۲/۴۳	۱۶	آب‌انبار	۳/۳۲
۸	مسکن مهر	۲/۷۸	۱۷	میدان صاحب‌الزمانی	۳/۱۷
۹	میدان شهدا	۳/۰۱	۱۸	اداره دارائی	۳/۰۷
میانگین			۳/۰۳ لیتر		

نتایج حاصل از شکل ۱۰ نشان می‌دهد که پراکنش سرانه در بافت‌های مختلف متفاوت است و بیشترین مصرف سرانه در بافت قدیم به مقدار ۴-۴/۶ لیتر (O_4-4.6) و کمترین آن در بافت آپارتمانی با سرانه ۲-۳ لیتر (AP_2-3) است. در انتهای پرسشنامه نیز نظرات شهروندان در ارتباط با استفاده از شبکه دوگانه آب شرب به صورت خط جداگانه شرب و بهداشتی تا منزل، به صورت سؤالی مطرح شد که پاسخ به آن دارای اهمیت است. برای پاسخ به این سؤال از آزمون دوجمله‌ای استفاده می‌شود (زمانی و جاملی، ۱۳۹۴) (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- نتایج نظرسنجی شهروندان در ارتباط با شبکه دوگانه

نتایج این بخش نشان داد که سرانه مصرف آب شرب در شهر بجنستان در فراوانی سرانه ۳ لیتر از سایر احجام بالاتر است. بافت‌های مختلف شامل ویلایی یک طبقه (V1)، ویلایی دوطبقه (V2)، آپارتمانی (AP) و قدیمی (O) است. سپس پراکنش مقدار سرانه در ۴ بافت مختلف به صورت نقشه شکل ۱۰ تهیه شد، مقدار سرانه بین ۲-۴/۶ لیتر به دست آمد.



شکل ۱۰- پراکنش سرانه شرب در بافت‌های مختلف

مناسب ارزیابی می‌کنند.

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \theta_1=0.83; \\ H_1: \theta_1 \neq 0.83; \end{array} \right.$$

این آزمون زمانی به کار می‌رود که نسبت خاصی در جامعه بررسی می‌شود. فرض‌های آماری صفر (H_0) و خلاف (H_1) به صورت زیر در نظر گرفته می‌شوند، به طوری که θ_1 نسبت افرادی است که کیفیت آب این جایگاه را از نظر بهداشتی

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون دو جمله‌ای شبکه دوگانه آب شرب و بهداشتی

شرح	پاسخ‌ها	تعداد	نسبت مشاهدات	نسبت	مقدار P
گروه اول	بله	۳۱۲	۸۳/۰۷	۰/۸۳	۵۸۳/۰
گروه دوم	خیر	۶۴	۱۶/۹۳		
مجموع		۳۷۶	۱۰۰		

با توجه به این که مقدار P در این آزمون بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است، فرض صفر رد نمی‌شود. بنابراین نسبت افرادی که با این روش موافق‌اند، برابر ۰/۸۳ است.

۵- پیشنهادات

به طور کلی روش موجود دارای مشکلات عدیده‌ای است که باید نسبت به رفع آن اقدام نمود. روش‌های متفاوتی به منظور جایگزینی با روش کنونی وجود دارد. نتایج حاصل از این تحقیق نیز نشان می‌دهد، بررسی بعد اجتماعی به عنوان یکی از مهم‌ترین ابعاد این پروژه، باید در سه مرحله قبل، حین و بعد از اجرا مورد ارزیابی قرار گیرد تا سبب افزایش میزان رضایتمندی و موفقیت پروژه شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Per Capita Day (PCD)
- 2- Number of Picking up (NP)
- 3- Volume of Water Withdrawn (VWW)
- 4- Number of Family (NF)

۷- مراجع

امامی، ا.، و شاکری، ا.، (۱۳۹۴)، "تأمین آب شرب به روش جداسازی از بهداشتی با رویکرد قراردادی مشارکتی"، ششمین کنفرانس آب، پساب و پسماند، تهران، ایران.
 حیدریان، ش.، و رحیمی، م.، (۱۳۹۶)، "تدوین و سنجش معیارهای مداخله یکپارچه در ساماندهی سکونتگاه‌های غیررسمی با رویکرد حکمروایی شهری (نمونه موردی: ناحیه نایس شهر سنندج)"، نشریه مطالعات برنامه‌ریزی سکونت‌گاه‌های روستایی، ۱۲(۴)، ۹۳۳-۹۱۵.
 زمانی، س.، و جاملی، غ.ر.، (۱۳۹۴)، "عوامل مؤثر بر الگوی مصرف آب و بهینه‌سازی آن در بخش خانگی مناطق روستایی

۴- بحث و نتیجه‌گیری

تعیین مصرف سرانه آب به عنوان اولین پارامتر مورد نیاز در طراحی سیستم‌های تصفیه و توزیع آب، مطرح است. برآورد و انتخاب صحیح میزان مصرف سرانه آب با توجه به تأثیر مستقیم آن بر ظرفیت تأسیسات و در نهایت هزینه‌های اجرای طرح بسیار مهم است. مطالعات انجام شده در سال ۱۳۷۱ و نیز سازمان بین‌المللی بهداشت جهانی سازمان (WHO) نشان می‌دهد که سرانه آب برای آشامیدن در کشور ایران را ۲ تا ۵ لیتر نفر در روز تعیین نموده‌اند (WHO, 2011).

مصرف سرانه خانگی آب شرب به راه کار استفاده شده در روش توزیع آب شرب وابسته است و در بیشینه‌ترین حالت، مصرف آب شرب خانگی شامل پخت‌وپز، آشامیدن و ظرف‌شویی است. در این تحقیق با توجه به شرایط منطقه بجزستان که برداشت و حمل آب با دشواری همراه است، بخش اصلی آن در آشامیدن مورد استفاده قرار می‌گیرد، سایر مصارف بسیار کاهش می‌یابد و تعیین سرانه براساس آن صورت می‌گیرد که به طور متوسط ۳ لیتر در روز برآورد شده است. هم‌چنین بیشترین حجم ظرف مورد استفاده، ظروف ۲۰ لیتری است و بیشترین تعداد دفعات مراجعه به جایگاه‌ها، ۱ تا ۲ بار در هفته است که نشان از مهم بودن بعد مسافتی جایگاه تا منزل در تعداد برداشت‌ها دارد. نتایج حاصل از سرانه نیز نشان می‌دهد که مقدار سرانه در بافت‌های مختلف متفاوت است و حداکثر میزان آن در بافت قدیم ویلایی و حداقل آن در بافت آپارتمانی جدید است.

- Edition, F. (2015). *Guidelines for drinking-water quality*, WHO chronicle, 38(4), 104-108.
- Falkenmark, M., (1986), *Fresh water- time for a modified approach*, Ambio, Royal Swedish Academy of Sciences, 192-200.
- Guswa, A.J., Brauman, K.A., Brown, C., Hamel, P., Keeler, B.L., and Sayre, S.S., (2014), "Ecosystem services: Challenges and opportunities for hydrologic modeling to support decision making", *Water Resources Research*, 50(5), 4535-4544.
- Kotwicki, V., and Al-Otaibi, M., (2011), "Drinking water saving potential of dual networks in Kuwait", *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 22(6), 743-756.
- Munia, H., Guillaume, J.H.A., Mirumachi, N., Porkka, M., Wada, Y., and Kumm, M., (2016), "Water stress in global transboundary river basins: Significance of upstream water use on downstream stress", *Environmental Research Letters*, 11(1), 014002.
- National Research Council, (2007), *Improving the nation's water security: Opportunities for research*, National Academies Press.
- Rasoulkhani, K., Mostafavi, A., Cole, J., and Sharvelle, S., (2019), "Resilience-based infrastructure planning and asset management: Study of dual and singular water distribution infrastructure performance using a simulation approach", *Sustainable Cities and Society*, 48(4), 101577, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101577>.
- Tang, S.L., (2000), "Dual water supply in Hong Kong", In: Pickford, J. (ed.), *Water, Sanitation and Hygiene - Challenges of the Millennium: Proceedings of the 26th WEDC International Conference*, Dhaka, Bangladesh, 364-366.
- International Resource Panel, United Nations Environment Programme (UNEP), Sustainable Consumption and Production Branch, (2011), *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth*, UNEP/Earthprint.
- WHO, (2011), *Guidelines for drinking-water quality*, 4th Edition, Geneva, Switzerland.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

- (مطالعه موردی: مناطق روستایی شهرستان بوشهر)، نشریه آب و توسعه پایدار، ۲(۱)، ۲۰۱.
- سمساریزدی، ع.ا.، بقایی پور، م.، و سمساریزدی، م.ص.، (۱۳۹۵)، "برآورد سرانه مصرف آب شرب: مطالعه موردی شهر اردکان"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۱(۱)، ۴-۱۰.
- شرکت آب و فاضلاب مشهد، (۱۳۹۴)، "طرح جداسازی آب شرب از بهداشتی در منطقه ثامن مشهد"، نشریه آب و توسعه پایدار، ۲(۱)، ۱۰۸.
- فتوحی فیروزآباد، ف.، اختصاصی، م.ر.، سفید، م.، مروتی شریفآبادی، ع.، (۱۳۹۷)، "پهنه‌بندی و مقایسه ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت چاه‌های آب آشامیدنی در محدوده شهر یزد با کاربرد زمین‌آمار"، نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۱(۱)، ۲۲۳-۲۴۰.
- گروه مهندسی آبرام، (۱۳۹۰)، "مطالعات بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب، آزمایشگاه خاک، سباب"، ۲-۱.
- مجله خبری اقتصاد، (۱۳۹۳)، *بیم سقوط اخبار ایران*، ۹۱.
- مرکز رشد فناوری واحدهای دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۹۰)، *مطالعات تعیین سرانه*، پردیس فنی مهندسی شهید عباسپور، تهران، ایران.
- معاونت امور آب و آبفای خراسان رضوی، (۱۳۹۵)، گزارش فنی اقتصادی طرح جداسازی آب شرب از بهداشتی شهر بجستان، گزارش: ۵۰۳۶-۴۱۰۶۶۳، ۳۲-۲، مشهد.
- مهندسیین مشاور تمدن کاریزی، (۱۳۹۵)، "طرح پژوهشی بررسی اجرای مناسب‌ترین روش تفکیک آب شرب از سایر مصارف در شهرهای منتخب استان یزد"، ۱-۲۳، یزد.
- معاون نظارت و راهبری ریاست جمهوری، (۱۳۹۲)، *ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی*، نشریه ۳-۱۱۷ (بازنگری اول)، دفتر مهندسی و معیارهای فنی وزارت نیرو.

- Al-Ruwaih, F.M., and Almedej, J., (2007), "The future sustainability of water supply in Kuwait", *Water International*, 32(4), 604-17.
- Crocker, J., and Bartram, J., (2014), "Comparison and cost analysis of drinking water quality monitoring requirements versus practice in seven developing countries", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(7), 7333-7346.
- Hayes, C.R., and Skubala, N.D., (2009), "Is there still a problem with lead in drinking water in the European Union?", *Journal of Water and Health*, 7(4), 569-580.
- National Research Council, (2007), *Improving the Nation's Water Security: Opportunities for Research*, National Academies Press, Washington, DC.