بررسی تأمین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف شهر از طریق استحصال آب باران؛ مطالعه موردی شهر بناب

فرشید تاران[۱]، قربان مهتابی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۴

چکیده

جمع‌آوری آب باران می‌تواند کمک زیادی به تأمین بخشی از نیازهای آبی مناطق خشک مانند ایران کند. در این تحقیق، پتانسیل شهر بناب برای استفاده از سیستم‌های استحصال آب باران بررسی شد. بدین منظور مساحت بخش‌های مختلف شهر تعیین و با استفاده از میانگین ۱۳ ساله (۹۱-۱۳۷۹) بارندگی در ماه‌های مختلف، حجم روانابی که می‌تواند در این ماه‌ها در سطوح مختلف شهر ایجاد گردد، محاسبه شد. نتایج نشان دادند که در صورت جمع‌آوری رواناب کل سطوح شهر در هر ماه، ٪۱۰۰ نیاز آبی مراکز عمومی، تجاری و صنعتی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت تأمین می‌شود. همچنین مقداری از رواناب در این دو ماه قابل ذخیره است که می‌توان از آن برای جبران کمبود ماه‌های خرداد تا مهر استفاده نمود. در حدود ٪۱۰۰ نیاز آبی ماه‌های آبان تا اسفند از طریق رواناب جمع‌آوری شده در همین ماه‌ها قابل تأمین است. با جمع‌آوری رواناب از سطوح حیاط و پشت بام‌های مناطق مسکونی در ماه‌های فروردین تا اسفند، درصدی از نیاز آبی بخش خانگی قابل تأمین است. ماه‌های مرداد و آبان نسبت به ماه‌های دیگر به ترتیب کمترین (٪۰/۵۹) و بیشترین (٪۴۳/۲۵) مقدار این نیاز را می‌توانند تأمین کنند. در صورت تأمین نیاز آبی هر ماه از طریق بارندگی مربوط به همان ماه در کل سطوح شهر، ٪۱۰۰ نیاز آبی فضای سبز شهر در تمام ماه‌ها به جز تیر و مرداد تأمین می‌شود. با استفاده از بارندگی ماه‌های فروردین تا خرداد علاوه بر تأمین کل نیاز فضای سبز این ماه‌ها، می‌توان کمبود ماه‌های تیر و مرداد را نیز به‌طور کامل تأمین نمود.

کلمات کلیدی: استحصال آب باران، بارندگی، بناب، رواناب.

[۱] دانشجوی دکترای مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران_ زنجان، میدان استقلال، خیابان طباطبایی. ۰۹۱۲۰۶۷۶۴۵۵، farshidtaran@yahoo.com

[۲] استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. ۰۹۱۴۳۲۲۶۱۱۷، ghmahtabi@gmail.com (مسئول مکاتبه)

مقدمه

امروزه با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و کمبود آب، تأمین آب در کشورهای در حال توسعه یک مسئله حیاتی است. بر اساس گزارش انجمن جهانی آب[1]، در پنجاه سال آینده به علت رشد ۴۰ تا ۵۰ درصدی جمعیت و گسترش صنایع و شهرها، تقاضا برای آب افزایش خواهد یافت (Mahmoud et al., 2014) و برای کشورهای دچار کمبود آب، این تقاضا شدیدتر خواهد بود (Qadir et al., 2007). بنابراین، به ویژه در مناطق خشک مانند ایران باید ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، مدیریت مناسب منابع آب نیز انجام گیرد. حتی کشورهایی که در آن‌ها بین میزان تقاضای آب و دسترسی به آب تعادل خوبی وجود دارد، به دنبال گزینه‌هایی برای بهبود راندمان کاربرد آب هستند. از نظر کمیت، علاوه بر بهبود راندمان کاربرد آب، گزینه مدیریتی دیگر، یافتن منابع جایگزین است. استحصال آب باران[2] یکی از بهترین منابع جایگزین آب است، زیرا آب باران به‌راحتی قابل جمع‌آوری بوده و بدون اصلاحات خاصی برای اهداف غیرشرب قابل استفاده است (Silva et al., 2015).

استحصال آب باران روشی مناسب برای افزایش میزان آب قابل دسترس است که ضمن کاهش اثرات نامطلوب خشکی، منجر به استفاده بهینه از رواناب ناشی از بارندگی برای مصارف مختلف خواهد شد. لذا تلاش‌های زیادی برای توسعه آن به عنوان راه حل مقابله با خشکسالی انجام می‌گیرد. از آن‌جا که بارندگی کم و بیش در همه جا اتفاق می‌افتد، قبل از تبدیل شدن به رواناب و آلوده شدن در مسیر خود، می‌تواند با روش‌های استحصال آب، جمع‌آوری شده و در بخش‌های مختلف زراعی و تأمین آب شرب و غیرشرب مورد استفاده قرار گیرد (چکشی و طباطبایی یزدی، ۱۳۹۱). در مناطق شهری، بیشتر آب مورد استفاده در ساختمان‌ها را می‌توان توسط آب باران تأمین نمود. این آب، منبعی طبیعی است که به‌راحتی قابل جمع‌آوری و مصرف در بخش‌های مختلفی مانند خانگی، تجاری و صنعتی است، به‌ویژه در جاهایی که آب آشامیدنی مورد نیاز نیست. به هر حال استفاده از آب باران به‌عنوان یک منبع، بستگی به الگوی بارش منطقه‌ای و سطوح قابل دسترس برای جمع‌آوری مؤثر آب باران دارد (Lawson et al., 2009). ایده جمع‌آوری آب باران از سطوح باران‌گیر شهری برای مصارف شرب، غیرشرب و آبیاری، دولت‌ها را در حل بحران تأمین آب یاری می‌کند. از آن‌جا که سطح وسیعی از مساحت شهرها را پشت بام ساختمان‌های مسکونی تشکیل می‌دهد، حجم آب استحصالی از سطح پشت بام ساختمان‌های مسکونی، قابل توجه بوده و می‌تواند بخشی از نیازهای غیرشرب ساکنان مانند سرویس‌های بهداشتی و آبیاری باغچه را تأمین کند. به‌طورکلی، یکی از روش‌هایی که به‌صورت مستقیم باعث کاهش فشار بر منابع آب می‌شود، جمع‌آوری آب باران است.

مفهوم کلی استحصال آب باران، جمع‌آوری و ذخیره آب باران برای استفاده از آن است. این عمل در قدیم در شهرها برای تأمین آب شرب و آبیاری انجام می‌شد و هنوز هم در برخی شهرها و روستاهای سراسر جهان به‌کار می‌رود. اخیراً این فن‌آوری به عنوان روشی جهت مدیریت و حفاظت آب مورد توجه قرار گرفته است (Mahmoud et al., 2014). سادگی نصب و هزینه‌های نگهداری کم موجب استفاده از آن در اقلیم‌های خشک شده است (Sen et al., 2013). انسان‌ها از قدیم الایام برای ادامه حیات خود مجبور به توسعه روش‌های بومی جمع‌آوری آب باران شده‌اند (Mbilinyi et al., 2005). سوابق موجود در زمینه استحصال آب باران در دنیا نشان می‌دهد که این روش اولین بار ۴۵۰۰ سال قبل از میلاد به اجرا در آمده است (Akter and Ahmed, 2015).

تاکنون مطالعات زیادی در مورد سیستم‌های جمع‌آوری آب باران انجام گرفته است. Song et al. (2008) در مورد جمع‌آوری آب به عنوان یک گزینه پایدار برای تأمین آب کشور اندونزی به

[1]- World Water Council
[2]- Rainwater harvesting

مطالعه پرداختند. Abdulla and Al-Shareef (2009) پتانسیل ذخیره آب باران را برای مصرف شرب در مناطق مسکونی ۱۲ استان کشور اردن مورد ارزیابی قرار دادند. Jones and Hunt (2009) برای مطالعه عملکرد سیستم جمع‌آوری آب باران از سطح پشت بام‌ها در جنوب ایالات متحده یک مدل کامپیوتری ارائه دادند. Eroksuz and Rahman (2010) مطالعه‌ای در مورد جمع‌آوری آب باران و پتانسیل ذخیره آن در مخازن در ساختمان‌های چند واحدی در استرالیا انجام دادند. Imteaz et al. (2011) برای طراحی مخازن آب باران در شهر ملبورن استرالیا و تحلیل عملکرد آن‌ها تحقیقاتی انجام دادند و به مدلی جامع در این مورد دست یافتند. Palla et al. (2011) برای مطالعه عملکرد بهینه سیستم جمع‌آوری آب باران و ارزیابی جریان ورودی و خروجی و تغییرات حجم ذخیره در سیستم، مدلی مناسب توسعه دادند. Mahmoud et al. (2014) به مطالعه پتانسیل استحصال آب باران در شهر خارطوم سودان و استفاده از آن به عنوان ابزاری جهت مدیریت رواناب شهری پرداختند و نتیجه گرفتند که استحصال آب باران می‌تواند به عنوان یک منبع جایگزین آب برای مقابله با پدیده خشکسالی مطرح باشد. Akter and Ahmed (2015) به ارزیابی امکان‌پذیری استفاده از سیستم‌های استحصال آب باران در شهر چیتاگنگ بنگلادش با متوسط بارش سالانه ۳۰۰۰ میلی‌متر پرداختند. این شهر در یک سال مشخص، هم با کمبود آب و هم با سیلاب مواجه می‌شود. آنها نتیجه گرفتند که استفاده از سیستم‌های استحصال آب باران می‌تواند سیلاب را تا ۲۶ درصد کاهش دهد و سالانه تا ۲۰ لیتر در روز برای هر نفر به تأمین آب شهری کمک کند. Silva et al. (2015) به بررسی روش‌های مناسب در طراحی سیستم‌های جمع‌آوری آب باران در مقیاس خانگی برای دو ناحیه با الگوهای متفاوت بارندگی در کشور پرتقال پرداختند و نتیجه گرفتند که علی‌رغم تفاوت در متوسط بارندگی سالانه، برای یک مخزن بهینه جمع‌آوری آب باران، پتانسیل ذخیره آب دو ناحیه، مشابه یکدیگر است.

در ایران نیز خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی به تعیین مکان‌های مناسب جمع‌آوری آب باران در دشت بیرجند پرداختند و نتیجه گرفتند که از غرب دشت به سمت شرق آن بر استعداد دشت در جمع‌آوری آب باران افزوده می‌شود. رشیدی مهرآبادی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی عملکرد سطوح آبگیر باران در مناطق مسکونی شهر قزوین برای تأمین نیازهای آبی غیرشرب روزانه پرداختند. آن‌ها با توجه به آمار بارندگی روزانه سال‌های ۱۳۳۸ تا ۱۳۸۶ نتیجه گرفتند که اگر حجم مخازن و نیاز غیرشرب روزانه ساکنان بر اساس شرایط فیزیکی ساختمان و شرایط هیدرولوژیکی محاسبه شوند، ذخیره‌سازی آب باران در مخازن به حداکثر می‌رسد و برای پشت بام‌های کوچک و بزرگ به‌طور میانگین به ترتیب ۲۰ و ۲۷ درصد کل روزهای سال، نیازهای غیرشرب روزانه ساکنان تأمین می‌شود. اکبرپور و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از دو روش مختلف در قالب دو سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS) مبتنی بر GIS به بررسی مکان‌های مستعد جمع‌آوری آب باران در دشت بیرجند پرداخته و نتیجه گرفتند که از غرب به شرق بر استعداد دشت در جمع‌آوری آب باران افزوده می‌شود.

کشور ایران در منطقه‌ای واقع است که متوسط بارندگی سالیانه آن کمتر از یک سوم بارندگی سالیانه جهان است (کردوانی، ۱۳۷۹)، یعنی جزو مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود که با مشکل کم‌آبی مواجه است. لذا در ایران استحصال آب باران می‌تواند یکی از روش‌های تأمین آب باشد. هر چند مطالعات باارزشی در زمینه جمع‌آوری آب از سطوح مختلف در داخل کشور انجام شده است، اما هنوز ابعاد و زوایای مختلف این مبحث نیازمند تحقیقات گسترده تکمیلی و مکان محور است تا بتواند زمینه‌ساز ارائه راهکارهای اجرایی گردد. این مطالعه با هدف بررسی پتانسیل شهر بناب (واقع در شمال غربی ایران) برای احداث و اجرای سیستم‌های استحصال آب باران جهت مصارف خانگی، فضاهای سبز، مصارف عمومی و

تجاری و صنعتی انجام شده است. بدین منظور ابتدا مساحت قسمت‌های مختلف این شهر محاسبه شد و سپس مقدار روانابی که در ماه‌های مختلف می‌تواند در اثر بارندگی در سطوح این قسمت‌ها ایجاد شود، برآورد گردید. با مقایسه مقدار رواناب ایجاد شده و مصارف بخش‌های مختلف مشخص شد که در صورت جمع‌آوری آب باران، این مقدار آب تا چه میزان می‌تواند آب مورد نیاز این بخش‌ها را تأمین کند. به‌طور کلی اهداف این تحقیق عبارتند از: ۱- تعیین سهم آب جمع‌آوری شده از بارندگی در شهر بناب در تأمین نیازهای آبی مصارف مختلف شهری، ۲- مطرح نمودن موضوع جمع‌آوری آب باران در پشت بام‌ها و سطوح آزاد شهر به عنوان یک استراتژی پایدار و مؤثر برای ذخیره آب و راهکاری جهت حل بخشی از مشکلات کمبود آب در شهر، و ۳- افزایش آگاهی عمومی در مورد روش‌های مدیریت آب و استفاده بهینه از آب به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زندگی.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

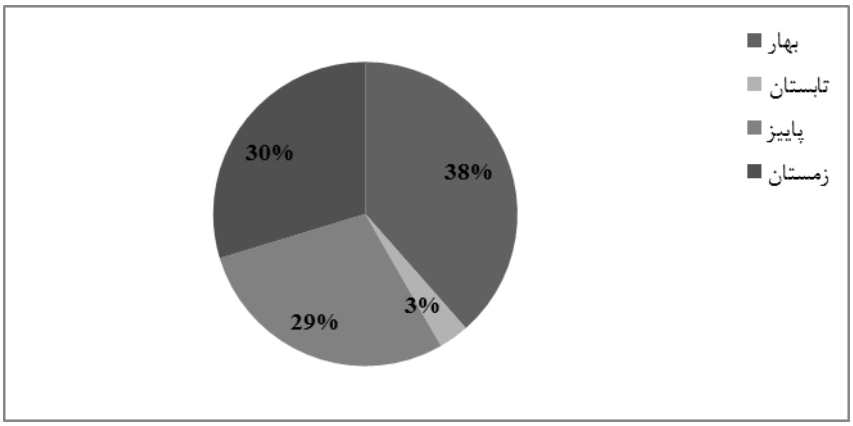
شهر بناب در جنوب غربی استان آذربایجان شرقی قرار گرفته و با مرکز استان، شهر تبریز، ۱۱۴ کیلومتر فاصله دارد. این شهر در مسیر شاهراه ارتباطی شهرهای تبریز-میاندوآب و اورمیه و استان‌های غربی و جنوبی کشور واقع شده است. شهر بناب مرکز شهرستان بناب بوده و در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه با ارتفاع ۱۲۹۰ متر از سطح دریاهای آزاد قرار گرفته است. مساحت محدوده شهری بناب بالغ بر ۱۴۵۸۵۳۸۹/۲۷۰۴ متر مربع است و طبق آخرین نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۰ جمعیت این شهر ۷۹۸۹۴ نفر است. شکل ۱ موقعیت شهرستان بناب را در استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد.

شکل (۱): موقعیت شهرستان بناب در استان آذربایجان شرقی

در این مطالعه، با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک بناب، میانگین ۱۳ ساله (سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۱) مجموع بارندگی برای تمام ماه‌ها و فصول سال به‌دست آمد که مقادیر آنها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین درصد بارندگی مربوط به هر فصل در سال، در نمودار دایره‌ای شکل ۲ مشاهده می‌گردد.

جدول (۱): میانگین ۱۳ ساله (۹۱-۱۳۷۹) مجموع بارندگی ماه‌های مختلف (میلی‌متر)

ماه	بارندگی	فصل	بارندگی	ماه	بارندگی	فصل	بارندگی
فروردین	۴۹/۶			مهر	۶/۸		
اردیبهشت	۴۶/۲	بهار	۱۰۳/۲	آبان	۴۹/۴	پاییز	۷۶/۶
خرداد	۷/۴			آذر	۱۹/۸		
تیر	۲/۸			دی	۲۲/۵		
مرداد	۰/۷	تابستان	۸/۶	بهمن	۲۸/۳	زمستان	۷۹/۶
شهریور	۵/۱			اسفند	۲۸/۸		



شکل (۲): درصد میانگین ۱۳ ساله (۹۱-۱۳۷۹) مجموع بارندگی برای فصول مختلف در سال

مساحت اراضی با کاربری‌های مختلف

در این مطالعه ابتدا نقشه محدوده داخلی شهر بناب با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD 2016 به بخش‌های مختلف تقسیم و سپس مساحت هر بخش محاسبه شد. مساحت‌های بخش‌های مختلف و درصد مساحت از کل محدوده شهری در جدول ۲ ارائه شده است. مناطق مسکونی با ۲۶/۱۶۳۱ درصد مساحت کل محدوده، بیشترین مساحت شهر بناب را تشکیل می‌دهد.

جدول (۲): مساحت بخش‌های مختلف شهر بناب

سطوح یا مناطق	مساحت (متر مربع)	درصد مساحت	سطوح یا مناطق	مساحت (متر مربع)	درصد مساحت
مسکونی	۳۸۱۵۹۹۲/۰۴۷۷	۲۶/۱۶۳۱	جهانگردی و پذیرایی	۴۱۷۱/۳۸۸۴	۰/۰۲۸۶
تجاری	۲۱۷۰۹۹/۶۲۷۶	۱/۴۸۸۵	حمل و نقل و انبارداری	۱۵۱۷۹۷/۵۱۱۴	۱/۰۴۰۸
اداری	۱۳۶۳۶۱/۷۰۰۰	۰/۹۳۴۹	پارکینگ	۱۶۷۷۶/۴۸۷۷	۰/۱۱۵۰
نظامی و انتظامی	۱۱۴۴۱۱/۸۳۷۱	۰/۷۸۴۴	تأسیسات و تجهیزات شهری	۳۲۰۲۸/۷۷۰۴	۰/۲۱۹۶
مذهبی	۳۰۷۹۰/۶۰۱۹	۰/۲۱۱۱	تعمیرگاه و صنایع کارگاهی	۱۷۹۱۳۳/۹۷۹۰	۱/۲۲۸۲
فرهنگی	۱۱۲۸۰/۱۹۲۶	۰/۰۷۷۳	صنایع	۳۰۳۲۰/۲۸۹۹	۰/۲۰۷۹
تاریخی	۲۸۴/۷۱۵۶	۰/۰۰۲۰	دامداری	۲۹۲۶۹/۳۳۹۱	۰/۲۰۰۷
کودکستان و مهدها	۲۰۰۲/۷۰۷۳	۰/۰۱۳۷	پارک و فضای سبز	۱۶۰۰۵۵/۵۵۳۸	۱/۰۹۷۴
دبستان	۴۲۰۷۸/۱۴۶۲	۰/۲۸۸۵	باغ و باغداری	۲۰۵۴۱۹۹/۹۱۶۴	۱۴/۰۸۴۰
راهنمایی	۴۹۹۰۰/۸۰۷۱	۰/۳۴۲۱	زراعی	۱۸۸۶۱۶۷/۳۶۶۶	۱۲/۹۳۱۹
دبیرستان	۳۸۴۳۴/۴۳۴۳	۰/۲۶۳۵	سایرکارهای کشاورزی	۹۱۵۵۶/۰۸۵۱	۰/۶۲۷۷
هنرستان	۱۲۶۲۰/۳۱۴۵	۰/۰۸۶۵	مخروبه	۱۸۹۱۰/۱۳۸۰	۰/۱۲۹۷
آموزش عالی	۷۶۰۶۴/۲۵۱۰	۰/۵۲۱۵	بایر	۲۲۸۵۶۰۴/۶۲۵۱	۱۵/۶۷۰۵
سایر مراکز آموزشی	۴۶۰۷/۷۳۶۱	۰/۰۳۱۶	گورستان	۲۳۵۳۵/۶۵۹۳	۰/۱۶۱۴
درمانی	۷۲۲۹۸/۷۲۶۰	۰/۴۹۵۷	معابر اصلی	۴۲۵۳۷۹/۴۳۲۶	۲/۹۱۶۵
بهداشتی	۱۰۰۴۸/۶۰۶۲	۰/۰۶۸۹	معابر شریانی درجه ۲	۹۸۸۵۲۷/۵۵۱۸	۶/۷۷۷۵
ورزشی	۲۹۵۹۱۹/۶۴۳۶	۲/۰۲۸۹	کوچه‌ها	۱۲۷۷۷۵۹/۰۸۱۰	۸/۷۶۰۵

حجم استحصال آب باران

بر اساس رابطه (۱)، دبی رواناب (یا همان حجم استحصال آب باران) از هر سطح مورد نظر محاسبه شد:

$$V=CIA \qquad (۱)$$

که در آن V مقدار رواناب یا حجم استحصال آب باران بر حسب لیتر، I مقدار بارندگی بر حسب میلی‌متر و A سطح استحصال آب باران بر حسب متر مربع است. C ضریب رواناب (بخشی از باران که می‌تواند به رواناب تبدیل شود) سطح مورد نظر است (بدون واحد) و مقدار آن برای هر بخش با استفاده از جداول موجود در منابع (Chow et al., 1988، Chin, 2000 و علیزاده، ۱۳۹۳) برآورد شد (جدول ۳). در این جدول با توجه به مقدار ضریب رواناب، بخش‌های مختلف شهر به ۱۰ دسته تقسیم شده‌اند.

جدول (۳): مقادیر ضریب رواناب سطوح مختلف شهر

دسته	بخش‌های شهری	ضریب رواناب (C)
اول	پارک و فضای سبز	۰/۱
دوم	باغ و باغداری، زراعی، سایر کارهای کشاورزی	۰/۱۵
سوم	زمین‌های بایر	۰/۲
چهارم	گورستان	۰/۲۵
پنجم	مناطق مخروبه	۰/۳
ششم	مناطق مسکونی	۰/۵۵
هفتم	مراکز آموزش عالی و سایر مراکز آموزشی، مراکز درمانی، معابر اصلی	۰/۸
هشتم	مراکز نظامی و انتظامی، اداری، تاریخی، بهداشتی، ورزشی، جهانگردی و پذیرایی، صنایع، کوچه‌ها	۰/۸۵
نهم	مراکز تجاری، مذهبی، کودکستان و مهد کودک، دبستان،راهنمایی، دبیرستان، هنرستان، تأسیسات و تجهیزات شهری، دامداری، معابر شریانی درجه ۲	۰/۹
دهم	مراکز فرهنگی، حمل و نقل و انبارداری، پارکینگ، تعمیرگاه و صنایع کارگاهی	۰/۹۵

نیاز آبی بخش‌های مختلف

بر اساس آمار دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه و استاندارد مهندسی آب وزارت نیروی ایران (مبانی و ضوابط طراحی طرح‌های آبرسانی شهری، نشریه شماره ۱۱۷-۳، ۱۳۷۱) در خصوص مصرف آب کشور تا حدود سال ۱۳۹۵، در این مطالعه نیاز آبی بخش‌های مختلف به این صورت منظور شد:

۱- مصارف خانگی: با توجه به شرایط اجتماعی و آب و هوایی ایران حدود متوسط مصرف سرانه خانگی بدون احتساب آب مورد نیاز برای فضای سبز منازل (مانند آشامیدن، پخت و پز، حمام، لباسشویی، ظرف‌شویی، سرویس بهداشتی، شستشوی خانه، کولر و تهویه) حدود ۷۵ تا ۱۵۰ لیتر در روز برای هر نفر است.

۲- مصارف فضای سبز خانگی و عمومی: حدود مصرف روزانه فضای سبز داخل خانه‌ها و فضاهای سبز عمومی (پارک‌ها، فضاهای سبز خیابان‌ها و میادین) با توجه به اندازه‌گیری‌های محلی و کاربرد روابط تجربی برای مناطق آب و هوایی مختلف ایران برآورد شده است که شهر بناب با توجه به قرار گرفتن در منطقه آب و هوایی مدیترانه‌ای با باران‌های بهاره دارای مصرف ۴ تا ۱۰ لیتر در روز در متر مربع است.

۳- مصارف عمومی: شامل مصارف ادارات و مؤسسات عمومی، مراکز درمانی و آموزشی، اماکن مذهبی، حمام‌های عمومی، مراکز ورزشی و هنری و از این قبیل است. این مقدار برای ایران ۱۰ تا ۲۰ لیتر در روز برای هر نفر پیش‌بینی می‌شود.

۴- مصارف تجاری و صنعتی: شامل مصارف مراکز تجاری و صنعتی کوچک مانند مغازه‌ها و کارگاه‌های کوچک واقع در محدوده شهرها است. این مقدار برای ایران ۱۰ تا ۴۵ لیتر در روز برای هر نفر پیش‌بینی می‌گردد.

در این مطالعه، مقادیر متوسط نیاز بخش‌های مختلف در نظر گرفته شد. به‌عبارتی، نیاز بخش خانگی (غیر شرب)، فضای سبز، مصارف عمومی و مصارف تجاری و صنعتی به ترتیب برابر با ۱۱۵ لیتر در روز برای هر نفر، ۷ لیتر در روز در متر مربع، ۱۵ لیتر در روز برای هر نفر و ۳۰ لیتر در روز برای هر نفر منظور گردید.

نتایج و بحث

با توجه به رابطه ۱ و با در دست داشتن مقادیر بارندگی (جدول ۱)، مساحت بخش‌های مختلف (جدول ۲) و ضرایب رواناب (جدول ۳)، حجم آب قابل استحصال سالانه از دسته‌های مختلف شهری محاسبه شد که در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول (۴): حجم آب سالانه قابل استحصال از بخش‌های مختلف شهر (میلیون لیتر)

دسته	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
حجم رواناب سالانه	۴/۲۸	۱۶۱/۷۲	۱۲۲/۲۳	۱/۵۷	۱/۵۲
درصد رواناب	۰/۲۳	۸/۷۹	۶/۶۴	۰/۰۹	۰/۰۸
دسته	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم
حجم رواناب سالانه	۵۶۱/۲۲	۱۲۳/۷۲	۴۲۴/۸۷	۳۴۷/۲۱	۹۱/۱۹
درصد رواناب	۳۰/۵۱	۶/۷۳	۲۳/۱۰	۱۸/۸۷	۴/۹۶

همچنین مجموع رواناب قابل استحصال از اراضی مختلف شهر بناب در ماه‌ها و فصول مختلف سال به دست آمد که مقادیر آنها در جدول ۵ ارائه شده است. مطابق جدول ۵، ماه فروردین و فصل بهار بیشترین و ماه مرداد و فصل تابستان کمترین سهم را در کل رواناب قابل استحصال از اراضی مختلف شهر بناب دارند.

جدول (۵): کل رواناب قابل استحصال از اراضی مختلف شهر در ماه‌ها و فصول مختلف سال (میلیون لیتر)

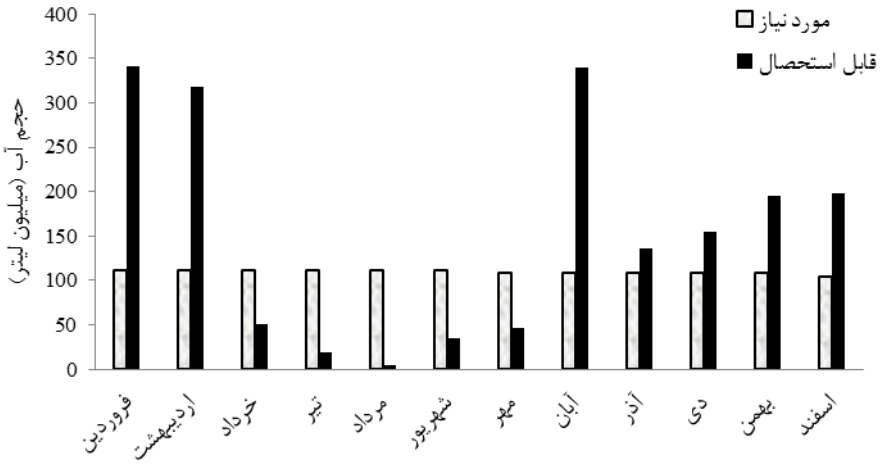
ماه	حجم رواناب	فصل	حجم رواناب	ماه	حجم رواناب	فصل	حجم رواناب
فروردین	۳۴۱/۲۱			مهر	۴۶/۷۸		
اردیبهشت	۳۱۷/۸۲	بهار	۷۰۹/۹۴	آبان	۳۳۹/۸۴	پاییز	۵۲۲/۸۳
خرداد	۵۰/۹۱			آذر	۱۳۶/۲۱		
تیر	۱۹/۲۶			دی	۱۵۴/۷۸		
مرداد	۴/۸۱	تابستان	۵۹/۱۵	بهمن	۱۹۴/۶۸	زمستان	۵۴۷/۵۸
شهریور	۳۵/۰۸			اسفند	۱۹۸/۱۲		

تأمین نیاز آبی بخش‌های عمومی، تجاری و صنعتی از رواناب جمع‌آوری شده از کل سطوح شهر

در هر یک از ماه‌های ۳۱ روزه فروردین تا شهریور در شهر بناب، مصارف عمومی (مانند ادارات و مؤسسات عمومی، مراکز درمانی و آموزشی، اماکن مذهبی، حمام‌های عمومی، مراکز ورزشی و هنری، آتش‌نشانی) با احتساب ۱۵ لیتر در روز برای هر نفر و مصارف تجاری و صنعتی با احتساب ۳۰ لیتر در روز برای هر نفر، به ترتیب برابر با ۴۶۵ و ۹۳۰ لیتر برای هر نفر در ماه خواهد بود. به عبارتی، مجموع نیاز آبی بخش عمومی و تجاری و صنعتی در این ماه‌ها برابر با ۱۳۹۵ لیتر برای هر نفر در ماه است. با توجه به جمعیت ۷۹۸۹۴ نفری شهر بناب، این نیاز در ماه‌های مذکور برابر ۱۱۱/۴۵ میلیون‌لیتر برای کل جمعیت شهر خواهد بود. همچنین، برای هر یک از ماه‌های ۳۰ روزه مهر تا بهمن آب مورد نیاز مصارف عمومی، تجاری و صنعتی به ترتیب برابر ۴۵۰ و ۹۰۰ و در مجموع برابر ۱۳۵۰ لیتر برای هر نفر در ماه و در نتیجه ۱۰۷/۸۶ میلیون‌لیتر در ماه برای کل جمعیت شهر خواهد بود. مصرف آب در دو بخش مذکور در ماه ۲۹ روزه اسفند (با نادیده گرفتن سال‌های کبیسه) به ترتیب برابر ۴۳۵ و ۸۷۰ و در مجموع برابر ۱۳۰۵ لیتر برای هر نفر در ماه و برای کل جمعیت شهر ۱۰۴/۲۶ میلیون لیتر در ماه است.

شکل ۳ نمودار ستونی آب مورد نیاز شهر برای مصارف عمومی، تجاری و صنعتی را در کنار رواناب قابل استحصال از کل اراضی شهر در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در صورت تأمین نیاز آبی هر ماه از طریق رواناب جمع‌آوری شده از همان ماه، نیاز آبی ماه‌های فروردین و اردیبهشت

به‌طور کامل تأمین شده و در مجموع ۴۳۶/۱۵ میلیون‌لیتر از رواناب جمع‌آوری شده این دو ماه قابل ذخیره است. در حالی که تنها بخشی از نیاز آبی ماه-های خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر تأمین شده و در مجموع ۳۹۶/۸۱ میلیون‌لیتر کمبود آب وجود خواهد داشت. در این صورت می‌توان این کمبود را از رواناب ذخیره شده از ماه‌های فروردین و اردیبهشت جبران نمود. تمام نیاز آبی ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند نیز از طریق رواناب جمع‌آوری شده در همان ماه‌ها قابل تأمین است. شایان ذکر است که امکان ذخیره مازاد مصرف ماه‌های مذکور برای مصارف دیگر یا سال بعد نیز وجود دارد.

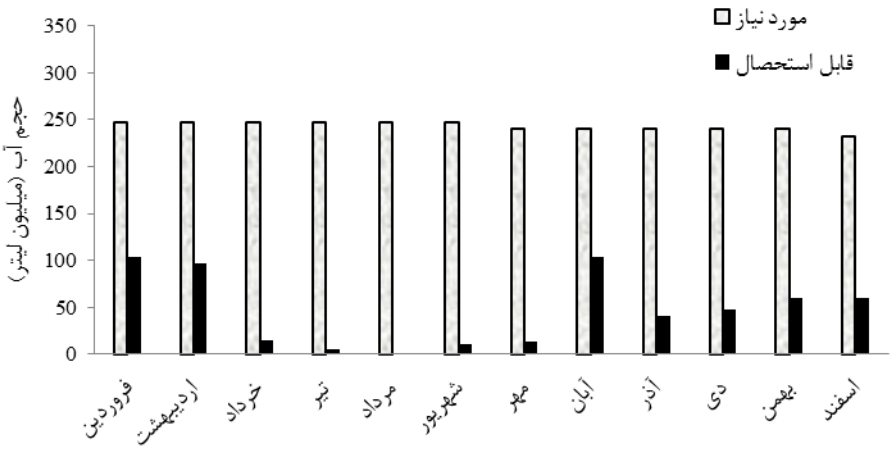


شکل (۳): مقدار ماهانه آب مورد نیاز شهر برای مصارف عمومی، تجاری و صنعتی و رواناب قابل استحصال از کل سطوح شهر

تأمین نیازهای آبی خانگی از رواناب جمع‌آوری شده از مناطق مسکونی

نیاز آبی بخش خانگی (به جز آشامیدن و پخت و پز) به طور متوسط برابر با حدود ۱۰۰ لیتر در روز برای هر نفر است که این مقدار معادل ۳۱۰۰ لیتر برای هر نفر و ۲۴۷/۶۷ میلیون لیتر برای کل جمعیت شهر در هر یک از ماه‌های فروردین تا شهریور است. همچنین در هر یک از ماه‌های مهر تا بهمن، این مقدار معادل ۳۰۰۰ لیتر برای هر نفر و ۲۳۹/۶۸ میلیون لیتر برای کل جمعیت شهر و در ماه اسفند برابر ۲۹۰۰ لیتر برای هر نفر و ۲۳۱/۶۹ میلیون‌لیتر برای کل جمعیت شهر است.

شکل ۴ نمودار ستونی آب مورد نیاز شهر برای مصارف خانگی (به جز آشامیدن و پخت و پز) را در کنار رواناب قابل استحصال از حیاط و پشت بام مناطق مسکونی در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. مطابق شکل، با استحصال آب باران از سطوح حیاط و پشت بام‌های مناطق مسکونی در ماه‌های فروردین تا اسفند، به ترتیب ۴۲/۰۳، ۳۹/۱۵، ۶/۲۷، ۲/۳۷، ۰/۵۹، ۴/۳۲، ۵/۹۵، ۴۳/۲۵، ۱۷/۳۴، ۱۹/۷۰، ۲۴/۷۸ و ۲۶/۰۹ درصد از نیاز آبی بخش خانگی (به جز آشامیدن و پخت پز) را می‌توان تأمین نمود. در این بخش، باران جمع‌آوری شده در ماه‌های مرداد و آبان در مقایسه با ماه‌های دیگر به ترتیب کمترین و بیشترین درصد نیاز آبی را می‌تواند تأمین کند.

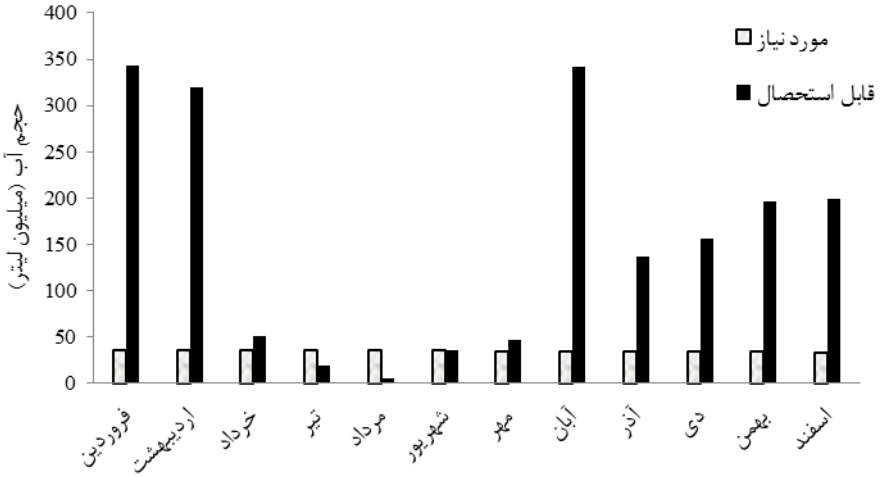


شکل (۴): مقدار ماهانه آب مورد نیاز شهر برای مصارف خانگی (به جز آشامیدن و پخت و پز) و رواناب قابل استحصال از مناطق مسکونی

تأمین نیاز آبی فضای سبز از رواناب جمع‌آوری شده از کل سطوح شهر

با توجه به این که نیاز آبی بخش فضای سبز شهر بناب ۷ لیتر در روز در متر مربع است، با در نظر گرفتن مساحت ۱۶۰۰۵۵/۵۵۳۸ متر مربعی فضای سبز این شهر، این نیاز در هر یک از ماه‌های ۳۱ روزه فروردین تا شهریور برابر با ۳۴/۷۳ میلیون‌لیتر خواهد بود. همچنین، در هر یک از ماه‌های ۳۰ روزه مهر تا بهمن برابر با ۳۳/۶۱ میلیون لیتر و در ماه ۲۹ روزه اسفند برابر با ۳۲/۴۹ میلیون لیتر خواهد بود. در فضاهای سبز شهری با این فرض که حدود ۶۰ درصد بارندگی به‌صورت تبخیر و نفوذ عمقی تلف شده (اسلامی و ریاحی ۱۳۸۴) و مابقی (۴۰ درصد) به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم (رواناب جمع‌آوری شده) به مصرف فضای سبز می‌رسد، مقدار ضریب رواناب برابر ۰/۴ در نظر گرفته شد. در این صورت، حجم بارشی که از فضای سبز جمع‌آوری شده و در همین بخش نیز قابل استفاده است، در ماه‌های فروردین تا اسفند به ترتیب برابر با ۳/۱۷، ۲/۹۶، ۰/۴۷، ۰/۱۸، ۰/۰۴، ۰/۳۳، ۰/۴۳، ۳/۱۶، ۱/۲۷، ۱/۴۴، ۱/۸۱، ۱/۸۴ میلیون‌لیتر خواهد بود. همچنین حجم آب قابل استحصال از کل سطوح شهر به جز فضاهای سبز در این ماه‌ها به ترتیب برابر با ۳۴۰/۴۲، ۳۱۷/۰۹، ۵۰/۷۹، ۱۹/۲۲، ۴/۸۰، ۳۵/۰۰، ۴۶/۶۷، ۳۳۹/۰۵، ۱۳۵/۸۹، ۱۵۴/۴۲، ۱۹۴/۲۳، ۱۹۷/۶۶ میلیون لیتر است. در نتیجه، مجموع بارشی که از فضاهای سبز و بقیه سطوح شهر قابل استحصال بوده و در فضاهای سبز شهر قابل استفاده است، برای ماه‌های فروردین تا اسفند به ترتیب برابر با ۳۴۳/۵۹، ۳۲۰/۰۵، ۵۱/۲۶، ۱۹/۴۰، ۴/۸۴، ۳۵/۳۳، ۴۷/۱۰، ۳۴۲/۲۱، ۱۳۷/۱۶، ۱۵۵/۸۶، ۱۹۶/۰۴ و ۱۹۹/۵۰ میلیون‌لیتر خواهد بود.

شکل ۵ نمودار ستونی آب مورد نیاز فضای سبز شهر بناب را در کنار آب قابل استحصال از کل اراضی شهر در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. در صورت تأمین نیاز آبی هر ماه از طریق بارندگی مربوط به همان ماه، نیاز آبی تمام ماه‌های سال به جز تیر و مرداد به طور کامل تأمین می‌شود. در دو ماه مذکور به ترتیب ۵۵/۸۶ و ۱۳/۹۴ درصد نیاز فضای سبز قابل تأمین است. در ماه‌های فروردین تا خرداد علاوه بر تأمین کل نیاز فضای سبز، در مجموع ۶۱۰/۷۰ میلیون‌لیتر آب قابل ذخیره است که با استفاده از آن می‌توان کمبود ماه‌های تیر و مرداد را نیز به طور کامل تأمین نمود.



شکل (۵): مقدار ماهانه آب مورد نیاز فضای سبز شهر و بارندگی قابل استحصال از کل سطوح شهر

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، پتانسیل شهر بناب جهت استفاده از سیستم استحصال آب باران بررسی شد. نتایج نشان دادند که در صورت جمع‌آوری رواناب حاصل از بارندگی در تمام سطوح شهر می‌توان کل مصارف عمومی، تجاری و صنعتی شهر را در تمام ماه‌های سال تأمین نمود. همچنین با استحصال آب باران از سطوح حیاط و پشت بام مناطق مسکونی می‌توان بخشی از مصارف خانگی را تأمین کرد. با توجه به این که درصد زیادی از مساحت شهر بناب به مناطق مسکونی اختصاص دارد، تصفیه آب استحصال شده از این بخش و استفاده از آن برای آشامیدن و پخت و پز می‌تواند از فشار مصرف منابع آب شیرین به‌ویژه در ماه‌های کم‌آبی بکاهد. با جمع‌آوری رواناب حاصل از بارندگی در تمام سطوح شهر، نیاز آبی فضای سبز شهری در تمام ماه‌های سال قابل تامین است. نتایج این تحقیق نشان داد که استحصال آب باران از بخش‌های مختلف شهر در ماه آبان بیشترین و در ماه مرداد کمترین کمک را می‌تواند در تأمین آب مصارف مختلف کند، اما می‌توان مازاد آب جمع‌آوری شده از سایر ماه‌ها را ذخیره و در ماه‌های دچار کمبود آب استفاده نمود. اگر چه محدودیت‌های قانونی، هزینه اولیه و مقبولیت عمومی، برخی موانع موجود در اجرای سیستم‌های استحصال آب باران در یک شهر هستند، نتایج تحقیق حاضر و مطالعات مشابه می‌تواند توجه مدیران منابع آب شهری را در راستای معرفی و استفاده از منابع آبی مختلف افزایش دهد.

منابع:

اسلامی، ا. و ح. ریاحی. ۱۳۸۴. تأثیر کاربرد مالچ در افزایش ذخیره رطوبتی خاک در باغات پسته. کارگاه فنی آبیاری سطحی مکانیزه، آذرماه ۱۳۸۴، ص ۳۲-۲۱.

اکبرپور، ا.، ش. صادقی، ح. فروغی فر و ع. شهیدی. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های مکان‌یابی مناطق مستعد جمع‌آوری باران به کمک سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS) مبتنی بر GIS. جغرافیا و توسعه، سال سیزدهم، شماره ۳۹، ص ۱۶۴-۱۴۷.

چکشی، ب. و ج. طباطبایی یزدی. ۱۳۹۱. استحصال آب باران شیوه ای جهت استفاده از دانش بومی به منظور تأمین آب در مناطق خشک. اولین همایش ملی سامانه های سطوح آبگیر باران. ۲۳-۲۲ آذرماه، مرکز آموزش جهاد کشاورزی خراسان رضوی، مشهد.

خاشعی سیوکی، ع.، ا. اکبرپور، ا. کشاورز و ح. فروغی فر. ۱۳۹۲. کاربرد تحلیل سلسله مراتبی فازی در تعیین مکان‌های مناسب جمع‌آوری آب باران (مطالعه موردی: دشت بیرجند). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال بیستم، شماره ۶، ص ۱۰۶-۸۷.

رشیدی مهرآبادی، م. ح.، ب. ثقفیان و ا. شمسایی. ۱۳۹۲. ارزیابی عملکرد سطوح آبگیر باران در مناطق مسکونی برای تأمین نیازهای آبی (مطالعه موردی: شهر قزوین). مجله سامانه‌های سطوح آبگیر باران، سال اول، شماره ۳، ص ۳۸-۲۹.

علیزاده، ا. ۱۳۹۳. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سی و هشتم. انتشارات دانشگاه امام رضا مشهد.

کردوانی، پ. ۱۳۷۹. منابع و مسائل آب در ایران، جلد اول: آب‌های سطحی و زیرزمینی و مسائل بهره‌برداری از آن‌ها. انتشارات دانشگاه تهران.

مبانی و ضوابط طراحی طرح‌های آبرسانی شهری. ۱۳۷۱. دفتر تحقیقات و معیارهای سازمان برنامه و بودجه و استاندارد مهندسی آب وزارت نیروی ایران. سازمان برنامه و بودجه، مرکز مدارک اقتصادی-اجتماعی و انتشارات.

Abdulla, F. A. and A. W. Al-Shareef. 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. Desalination, 243 (1-3): 195–207.

Akter, A. and Sh. Ahmed. 2015. Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh. Journal of Hydrology, 528: 84-93.

Chin, D. A. 2000. Water-Resources Engineering, Prentice-Hall.

Chow, V. T., D. R. Maidment and L. W. Mays. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill.

Eroksuz, E. and A. Rahman. 2010. Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. Resources, Conservation and Recycling, 54 (12): 1449–1452.

Imteaz, M. A., A. Ahsan, J. Naser and A. Rahman. 2011. Reliability analysis of rainwater tanks in Melbourne using daily water balance model. Resources, Conservation and Recycling, 56 (1): 80–86.

Jones, M. P. and W.F. Hunt. 2009. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. Resources, Conservation and Recycling, 54 (10): 623-629.

Lawson, S., A. La Branche-Tucker, H. Otto-Wack, R. Hall, B. Sojka, E. Crawford, D. Crawford and C. Brand. 2009. Virginia Rainwater Harvesting Manual, The Cabell Brand Center, Salem, Virginia.

Mahmoud, W. H., N. A. Elagib, H. Gaese and J. Heinrich. 2014. Rainfall conditions and rainwater harvesting potential in the urban area of Khartoum. Resources, Conservation and Recycling, 91: 89–99.

Mbilinyi, B. P., S. D. Tumbo, H. F.Mahoo, E. M. Senkondo and N. Hatibu. 2005. Indigenous knowledge as decision support tool in rainwater harvesting. Physics and Chemistry of the Earth, 30 (11-16): 792–798.

Palla, A., I. Gnecco and L. G. Lanza. 2011. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. Journal of Hydrology, 401 (1-2): 65-76.

Qadir, M., B. R. Sharma, A. Bruggeman, R. Choukr-Allah and F. Karajeh. 2007. Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. Agricultural Water Management, 87 (1): 2–22.

Sen, Z., A. A. Alsheikh, A. S. Al-Turbak, A. M. Al-Bassam and A. M. AL-Dakheel. 2013. Climate change impact and runoff harvesting in arid regions. Arabian Journal of Geoscience, 6 (1): 287–95.

Silva, C. M., V. Sousa and N. V.Carvalho. 2015. Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences. Resources, Conservation and Recycling, 94: 21–34.

Song, J., M. Han, T. Kim and J. Song. 2008. Rainwater harvesting as a sustainable water supply option in Banda Aceh. Desalination, 248 (1-3): 233–240.

Investigation of Supplying Water Requirements in Different Parts of a City through Rainwater Harvesting ;a Case Study Bonab, Iran

Farshid Taran[1], Ghorban Mahtabi[2]

Abstract

Rainwater harvesting can help extremely to supply a part of the water requirements of arid regions such as Iran. In this study, the potential of Bonab city in usage of rainwater harvesting systems was investigated. For this purpose, surface areas of the various parts of the city were determined and using 13 years (2000-2012) average rainfall in different months, the volume of runoff that can occur at different parts of the city was calculated. The results showed that if total runoff of the city's area be collected every month, 100% of public, commercial and industrial's water requirements in the months Farvardin and Ordibehesht are provided. Also, some of the runoff in two months can be stored to compensate for the lack of the months Khordad to Mehr. Approximately, 100% of the water requirement of the months Aban to Esfand can be supplied through the runoff collected in these months. The domestic water requirement can be supplied by collecting runoff from yards and roofs of residential areas in the months Farvardin to Esfand. Also, the months Mordad and Aban can provide the lowest (0.59%) and the highest (43.25%) amount of this requirement. If the water requirement of each month be supplied by the rainfall of the same month, then 100% of the water requirement of city's landscapes will be provided in all month except Tir and Mordad. Using the Farvardin to Khordad' rainfall, in addition to providing the total water requirement of landscapes in these months, the lack of the months Tir and Mordad could also be provided.

Keywords: Bonab city, Rainfall, Rainwater harvesting, Runoff.

[1]- PhD Student of Water Engineering, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Mobile Number: +989120676455, Email: farshidtaran@yahoo.com
[2]- Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
Mobile Number: +989143226117, Email: ghmahtabi@gmail.com (Corresponding Author)