

## امکان سنجی پتانسیل استحصال آب باران از سطوح عایق پشت بام‌ها در شرایط آب و هوایی اهواز

سعید جهانگیری<sup>۱</sup>، علی عصاره<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

### چکیده

یکی از روش‌هایی که باعث کاهش اتکاء به منابع آب می‌شود، جمع‌آوری آب باران است. این تحقیق با هدف بررسی بارش‌هایی که از فصل پاییز تا پایان بهار در شهر اهواز منجر به ایجاد رواناب می‌شوند، انجام شد. دو محل، یکی در جنوب اهواز، در محل ساختمان سازمان پارک‌ها و فضای سبز به مساحت پشت بام ۱۱۵/۶ مترمربع و دیگری در شمال اهواز، در محل شهرک نفت با مساحت پشت بام ۲۵ مترمربع انتخاب شد. پشت بام هر دو سایت دارای سطوح عایق ایزوگام بود. رواناب حاصل از پشت‌بام این نقاط بصورت ثقلی از نقطه خروجی توسط لوله‌های به مخازن ذخیره آب انتقال پیدا می‌کرد. محدوده زمانی نمونه برداری از ابتدای مهر ۱۳۹۷ تا پایان خرداد ۱۳۹۸ انتخاب شد. اطلاعات مربوط به بارش از ایستگاه سینوپتیک اهواز دریافت شد. متوسط ضریب رواناب در شهر اهواز برای فصول پاییز، زمستان و بهار به ترتیب برابر ۰/۷۵۹، ۰/۷۱۱ و ۰/۷۹۷ به دست آمد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد با استحصال آب باران از سطح پشت بام‌های شهر اهواز در ماه‌های مهر تا اردیبهشت به ترتیب ۲/۲۴، ۸/۴، ۲۱/۲، ۱۴/۵۸، ۱۳/۶۵، ۹/۱۷، ۷/۴۴ و ۴/۰۳ درصد از نیاز آبی بخش خانگی (به جز آشامیدن و پخت و پز)، ۱۶/۸۵، ۶۳، ۱۰۰، ۱۰۰، ۱۰۰، ۵۵/۷۷ و ۳۰/۲ درصد از نیاز آبی بخش عمومی، ۸/۴۳، ۳۱/۵، ۷۹/۶۱، ۵۴/۶۸، ۵۱/۱۹، ۳۴/۴۲، ۲۷/۸۸ و ۱۵/۱۰ درصد از نیاز آبی بخش تجاری و صنعتی و ۱/۰۶، ۴/۴۸، ۱۳/۱۷، ۸/۸۸، ۷/۶۶، ۵/۰۵، ۴/۳ و ۱/۸۸ درصد از نیاز آبی بخش فضای سبز را می‌توان تامین نمود. با توجه به عدم اندازه‌گیری پارامترهای کیفی، آب جمع‌آوری شده برای مصارف شرب توصیه نمی‌شود.

کلید واژه‌ها: استحصال آب باران، آب خاکستری، بازچرخانی آب، اهواز.

## مقدمه

برمی‌گردد. در برزیل، پاراگوئه، افغانستان و ترکیه نیز نمونه‌هایی از سیستم‌های ساده جمع-آوری آب باران کشف شده است (LaBranche et al., 2007). با رشد تکنولوژی و احداث سدها و با بکارگیری سیستم‌های آب عمومی با مقیاس بزرگ، از اهمیت جمع-آوری آب باران کاسته شد، ولی در سال‌های اخیر در بعضی از کشورها به دلیل مواجه شدن با دوره‌های خشک‌سالی شدید موضوع جمع-آوری آب باران مجدداً مطرح گردید. امروزه استفاده از سطوح پشت بام‌ها این امکان را فراهم می‌کند تا بخشی از نیاز غیر شرب ساکنان منازل مسکونی را تامین کند و هزینه‌های تامین آب برای آبیاری فضای سبز، سرویس‌های بهداشتی و مصارف مشابه آن را کاهش دهد (رشدی مهرآبادی و همکاران، ۱۳۹۲). تا کنون تحقیقات گسترده‌ای در اکثر مناطق دنیا در خصوص استفاده از سطوح عایق و نفوذناپذیر جهت استحصال آب باران انجام گرفته که تفاوت آنها در نوع بهره‌برداری از رواناب استحصال شده است (Dreelin et al., 2006). محمود و همکاران (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. روستاد و مونتالتو (Rostad and Montalto, 2012) پژوهشی را در مورد جمع‌آوری آب باران با استفاده از رواناب‌های پشت بام‌های شهری برای فلاش‌تانک‌های توالی مناطق مسکونی ۴ شهر آمریکا انجام دادند. نتایج نشان داد که این روش می‌تواند ۵۰ تا ۹۴ درصد در کاهش میزان مصرف آب شرب کمک کند که خود بستگی به الگوی بارش در منطقه، مساحت سقف و میزان تقاضا دارد. اکتر و احمد (Akter and Ahmed, 2015) به ارزیابی امکان‌پذیری استفاده از سیستم‌های استحصال آب باران در شهر چیتاگانگ بنگلادش با متوسط بارش ۳۰۰۰ میلی‌متر در سال پرداختند. این شهر

بر اساس گزارش انجمن جهانی آب، در ۵۰ 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). برای کشور‌های دچار کمبود آب، این تقاضا شدیدتر خواهد بود (Qadir et al., 2007). در سال‌های اخیر تغییر اقلیم و در پی آن کاهش نزولات جوی از یک سو و رشد سریع جمعیت از سوی دیگر سبب کاهش سرانه آب تجدید شونده کشور شده است (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). رشد جمعیت کشور با رشد صنعت، تکنولوژی و کشاورزی، براساس افق چشم انداز ۲۰ ساله، و براساس شاخص‌های ملی و بین‌المللی مدیریت آب، ایران را از هم اکنون در وضعیت بحران شدید آبی قرار داده است. بر پایه این شاخص‌ها، نیاز آبی برای ایران تا سال ۲۰۲۵ به حجم ۱۱۰ درصد منابع آبی قابل استحصال افزایش می‌یابد. با وضعیت فعلی و اقلیمی کشور، دسترسی به این حجم آب غیرممکن به نظر می‌رسد. لذا برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از منابع موجود و شناسایی و کاربرد منابع جدید و جایگزین، مانند جمع‌آوری و استفاده از آب‌های سطحی و باران امری ضروری است (تاران و مهتابی، ۱۳۹۵). سیستم‌های جمع‌آوری آب باران در بسیاری از مناطق دنیا به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک به عنوان روشی عملی برای به حداقل رساندن ریسک خشک‌سالی پذیرفته شده است. زیرا آب باران به راحتی قابل جمع‌آوری بوده و بدون اصلاحات خاصی برای اهداف غیر شرب قابل استفاده است (silva et al., 2015). سوابق موجود استحصال آب باران در دنیا نشان می‌دهد که این روش اول بار در صحاری فلسطین اشغالی با بارندگی متوسط ۹۰ میلی‌متر انجام شد و کمک زیادی به تولید علوفه در منطقه نمود (Stanton, 2005). برخی مورخین قدمت آن را بیش از ۳۰۰۰ سال تخمین زده‌اند. آنها بیان داشتند قدیمی‌ترین نمونه یافت شده مربوط به کشور اردن می‌باشد، که قدمت آن به ۸۵۰ سال پیش از میلاد مسیح

یک مخزن بهینه جمع‌آوری آب باران، پتانسیل ذخیره آب دو ناحیه، مشابه یکدیگر است. هر چند مطالعات با ارزشی در زمینه جمع‌آوری آب از سطوح بام‌ها در داخل کشور انجام شده است، اما هنوز ابعاد و زوایای مختلف این مبحث نیازمند تحقیقات گسترده تکمیلی و مکان محور می‌باشد تا بتواند زمینه‌ساز ارائه کارهای اجرایی گردد. لذا این مطالعه با هدف امکان‌سنجی پتانسیل استحصال آب باران از سطوح عایق پشت بام‌ها در شرایط آب و هوایی اهواز صورت گرفت.

۱۳۹۵ حدود ۱۳۰۳۰۰۰ نفر می‌باشد (که با احتساب ۴۰۰ هزار نفری حاشیه شهر جمعیت این شهر به بالای ۱۷۰۰۰۰۰ نفر می‌رسد). کمبود شدید پوشش گیاهی سبب گرمی و خشکی اهواز شده و آن را در رده گرم‌ترین مناطق ایران جای داده است. در زمستان سرما تا ۵ درجه سانتی‌گراد کاهش و در تابستان تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. جدول (۱) میانگین باران ۲۰ ساله شهر اهواز را نشان می‌دهد.

در یک سال مشخص، هم با کمبود آب و هم با سیلاب مواجه می‌شود. آنها نتیجه گرفتند که استفاده از سیستم استحصال آب باران می‌تواند سیلاب را تا ۲۶ درصد کاهش دهد و سالانه تا ۲۰ لیتر در روز برای هر نفر به تامین آب شهری کمک کند. سیلوا و همکاران (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 علارغم تفاوت در متوسط بارندگی سالانه، برای

### مواد و روش‌ها

بخش بزرگی از استان خوزستان، جلگه است و شهر اهواز با موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۶۵ دقیقه طول شرقی، در بخش جلگه‌ای خوزستان و با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). جمعیت این شهرستان طبق سرشماری مرکز آمار ایران در سال



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهر اهواز

جدول ۱- میانگین باران ۲۰ ساله شهر اهواز به تفکیک ماه ۱۳۷۶-۱۳۹۵

ماه	بارندگی (میلی‌متر)	فصل	بارندگی (میلی‌متر)
مهر	۴/۸		
آبان	۲۰/۲	پاییز	۸۴/۳
آذر	۵۹/۳		
دی	۴۰		
بهمن	۳۴/۵	زمستان	۹۶/۵
اسفند	۲۲		
فروردین	۲۰/۲		
اردیبهشت	۸/۵	بهار	۲۸/۹
خرداد	۰/۲		
تیر	۰		
مرداد	۰	تابستان	۰
شهریور	۰		

سطح پشت بام و ضریب رواناب ۰/۷ (علیزاده، ۱۳۹۴) محاسبه گردید. مخازن در زیر لوله خروجی پشت بام‌های مربوطه نصب و مدرج شدند. حجم آب جمع شده در ساعت ۱۲ هر شب در طول دوران آزمایش (در صورت وقوع بارندگی)، قرائت شد و مخزن برای نمونه‌گیری روز بعد تخلیه گردید. در روزهایی که بارندگی بیش از حجم طراحی مخزن بود؛ جهت جلوگیری از سرریز مخزن، در مدت قطع باران، آب مخزن تخلیه و ثبت می‌گردید. اطلاعات مربوط به بارش از ایستگاه سینوپتیک شهر اهواز جمع‌آوری شد. محاسبه‌ی مساحت پشت‌بام واحدهای مسکونی براساس مساحت زیربنای منازل شهری صورت گرفت و با میزان مساحت پشت بام‌ها، حاصل از Google Earth مقایسه شد. مساحت شهر اهواز ۱۸۶۵۰ هکتار معادل ۱۸۶۵ کیلومتر مربع می‌باشد که بر اساس قوانین و ضوابط موجود در شهرداری‌ها، هر شهرداری مجاز به صدور مجوز ساخت ۰/۳۶ عرصه هر شهر می‌باشد؛ که ۰/۶۴ درصد باقیمانده باید صرف معابر و خیابان‌ها و فضای سبز شهری شود. با این احتساب مساحت قابل ساخت شهر اهواز معادل ۶۷/۱۴ کیلومتر مربع می‌باشد (وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۲). سطح اشغال مجاز یک ملک بر اساس مجموعه استانداردها

در این تحقیق دو نقطه در شهر اهواز یکی در جنوب شهر در محل ساختمان سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرداری به مساحت پشت بام ۱۱۵/۶ مترمربع و دیگری در شمال اهواز در محل شهرک نفت با مساحت پشت بام ۳۵ مترمربع انتخاب شد. پشت بام هر دو سایت دارای سطوح عایق (پوشش ایزوگام) بود. در مواقع بارندگی رواناب حاصل از پشت‌بام این نقاط بصورت ثقلی از نقطه خروجی توسط لوله‌ای (ناودان) به مخازن ذخیره آب انتقال پیدا می‌کرد. به دلیل تجمع آشغال و مدفوع حیوانات در سطح سقف، در حد فاصل بارندگی‌ها، در نقطه ورودی ناودان‌ها از توری آشغال‌گیر استفاده شد. محدوده زمانی نمونه‌برداری از ابتدای مهر ۱۳۹۷ تا پایان خرداد ۱۳۹۸ انتخاب شد. جدول (۲) میزان باران اندازه‌گیری شده در سال منتخب را نشان می‌دهد. محل نصب مخازن به گونه‌ای انتخاب شد که امکان جمع‌آوری آب بصورت ثقلی در مخازن وجود داشته باشد. حجم مخزن برای نقطه اول با ظرفیت ۲۱۰۰ لیتر از جنس پلی‌اتیلن (با هزینه ۴۵۰۰۰۰۰ تومان) و حجم مخزن برای نقطه دوم با ظرفیت ۲۲۰ لیتر از جنس پلاستیک (پلی‌پروپیلن) با هزینه ۱۵۰۰۰۰۰ تومان طراحی شد. طراحی حجم مخزن بر اساس ۳ مولفه: متوسط بارش بیشترین ماه منطقه (آذرماه)،

و آیین‌نامه‌های ساختمانی ایران، معادل ۰/۶ از هر زمین می‌باشد (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳)؛ که با این احتساب حداکثر سطح پشت بام‌های شهر اهواز برابر ۴۰/۲۸ کیلومتر مربع به دست می‌آید. این در حالی است که مساحت پشت بام‌های موجود در شهر اهواز با کمک Google Earth برابر ۲۴ کیلومتر مربع بدست آمد؛ که این اختلاف ناشی از قسمت‌های ساخته نشده در شهر اهواز بود و عدد ۲۴ کیلومتر مربع مساحت پشت بام‌ها در محاسبات بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

جدول (۲) میزان باران اندازه‌گیری شده شهر اهواز به تفکیک ماه در سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸

ماه	بارندگی (میلی‌متر)	فصل	بارندگی (میلی‌متر)	
			حجم باران جمع شده (لیتر)	سایت
مهر	۲۶/۹		سایت ۱	سایت ۲
آبان	۹۷/۲۳	پاییز	۲۱۱/۲۷	۲۶۹۰
آذر	۸۷/۱۴			۲۶۷۹
دی	۴۰			۱۸۲۳
بهمن	۳۴/۵	زمستان	۱۰۵/۷۴	۳۶۵۰
اسفند	۲۲			۹۷۸
فروردین	۴۵/۰۸			۲۷۹
اردیبهشت	۲/۰۱	بهار	۴۷/۰۹	۹۹۵
خرداد	۰			۱۰۶۹
تیر	۰			۲۱۰
مرداد	۰	تابستان	-	۶۲
شهریور	۰			-

براساس آمار دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه و استاندارد مهندسی آب وزارت نیروی ایران (وزارت نیرو، نشریه شماره ۳-۱۱۷) در خصوص مصرف آب کشور، نیاز آبی بخش‌های مختلف به این صورت منظور شد. 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.

مصارف فضای سبز عمومی و خانگی: حدود مصرف روزانه فضای سبز داخل خانه‌ها و فضاهای سبز عمومی (پارک‌ها، فضاهای سبز خیابان‌ها و میادین) با توجه به

### تعیین مقدار ضریب رواناب

با توجه به اطلاعات حجم بارش و رواناب گردآوری شده، ضریب رواناب در دوره‌های فصلی بر اساس رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$V = CIA \quad (1)$$

که در آن:  $V$ ، حجم استحصال آب باران بر حسب لیتر،  $I$  مقدار باران بر حسب میلی‌متر،  $A$ ، سطح استحصال آب باران بر حسب متر مربع و  $C$ ، ضریب رواناب (بخشی از باران که می‌تواند به رواناب تبدیل شود) سطح مورد نظر (بدون واحد) است.

### نیاز آبی بخش‌های مختلف

اندازه‌گیری‌های محلی و کاربرد روابط تجربی برای مناطق آب و هوایی مختلف ایران برآورد شده است. این استاندارد ایران را به ۵ ناحیه تقسیم می‌کند که شامل: آب و هوای کوهستانی، آب و هوای خزری، آب و هوای مدیترانه‌ای، آب و هوای نیمه بیابانی و آب و هوای بیابانی می‌باشد. شهر اهواز با توجه به قرار گرفتن در منطقه آب و هوایی بیابانی (منطقه ۵)، دارای مصرف متوسط روزانه آب فضای سبز ۵ تا ۷ لیتر بر متر مربع می‌باشد.

مصارف عمومی: شامل مصارف ادارات و موسسات 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. 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 می‌شود.

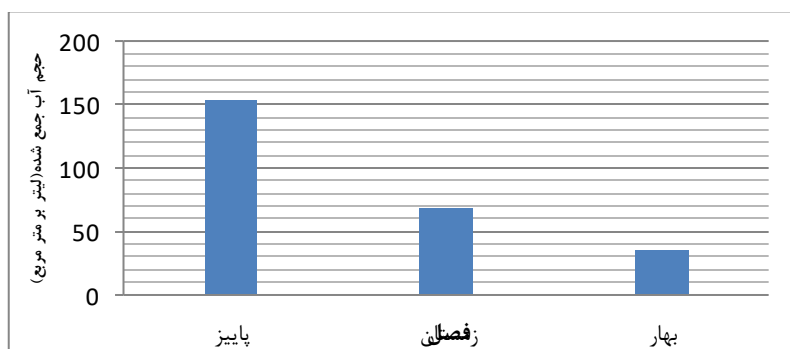
در این تحقیق مقادیر متوسط نیاز بخش‌های مختلف در محاسبات در نظر گرفته شد. به عبارتی نیاز بخش خانگی، ۱۳۰ لیتر در روز به ازای هر نفر، فضای سبز، ۶ لیتر در روز در متر مربع، مصارف عمومی، ۱۵ لیتر در روز برای هر نفر و مصارف تجاری و صنعتی، ۳۰ لیتر در روز برای هر نفر منظور گردید.

### نتایج و بحث

آمار بارندگی ثبت شده در سال منتخب (جدول ۲) نشان می‌دهد که سال ۹۸-۱۳۹۷ نسبت به نرمال منطقه (جدول ۱)، یک سال پرباران بوده است؛ به طوری که در فصل پاییز، زمستان و بهار سال ۹۸-۱۳۹۷ نسبت به نرمال منطقه به ترتیب

۱۵۰/۶۱، ۹/۵۸ و ۶۲/۹۴ درصد ریزش باران بیشتر ثبت گردید. آمار بارندگی گزارش شده در شهر اهواز توسط سازمان هواشناسی استان خوزستان نشان داد که از مهر سال ۹۷ تا خرداد ۱۳۹۸، ۶۱ روز با وقوع بارندگی وجود داشته است؛ که ۱۸ مورد وقوع باران در پاییز، ۲۸ مورد زمستان و ۱۵ مورد در فصل بهار اتفاق افتاده است. بیشترین و کمترین میزان بارندگی در یک روز، در فصل پاییز به ترتیب به میزان ۵۹ و ۰/۰۱ میلی‌متر، در فصل زمستان به میزان ۱۵/۶ و ۰/۰۱ میلی‌متر و در فصل بهار به میزان ۱۱/۰۱ و ۰/۰۱ میلی‌متر گزارش شد. از مجموع ۱۸ رگبار ثبت شده در پاییز ۱۵ واقعه، از مجموع ۲۸ رگبار ثبت شده در زمستان ۱۹ واقعه، و از مجموع ۱۵ رگبار ثبت شده در بهار ۹ واقعه منجر به رواناب شده است. به عبارتی در شهر اهواز ۷۵ درصد از بارندگی‌ها منجر به تولید رواناب شده است. بیشترین مقدار بارندگی در شهر اهواز که منجر به وقوع رواناب نشده است، برابر ۰/۲ میلی‌متر می‌باشد. به عبارتی بارندگی‌هایی که کمتر از این مقدار هستند منجر به وقوع رواناب نمی‌شوند. همچنین کمترین مقدار بارندگی در شهر اهواز که منجر به وقوع رواناب شده است، برابر ۰/۳ میلی‌متر است. بنابراین احتمال آستانه ظهور رواناب در شهر اهواز ۰/۳ میلی‌متر است. به عبارتی بارندگی‌هایی که بیشتر از این حد هستند منجر به تولید رواناب می‌شوند.

اندازه‌گیری‌های بارش و آب جمع آوری شده در مخازن در دو سایت آزمایشی نشان داد که در شهر اهواز در فصول پاییز، زمستان و بهار بطور متوسط از هر متر مربع سطح پشت بام می‌توان به ترتیب ۱۵۴/۲، ۶۷/۸۳ و ۳۴/۷۱ لیتر آب، جمع آوری نمود (شکل ۲).



شکل ۲- متوسط حجم آب جمع شده در دو سایت آزمایشی در فصول مختلف سال آبی ۹۸-۱۳۹۷

با توجه به مقدار باران در طی دوره آماری مورد مطالعه و حجم آب جمع آوری شده در هر یک از دو سایت آزمایشی و با استفاده از رابطه (۱) متوسط ضریب رواناب در شهر اهواز برای هر ماه محاسبه گردید (جدول ۳)

جدول ۳- متوسط ضریب رواناب ماهیانه در شهر اهواز

ماه	ضریب رواناب	فصل	ضریب رواناب	ماه	ضریب رواناب	فصل	ضریب رواناب
مهر	۰/۸۵۸	پاییز	۰/۷۵۹	دی	۰/۶۶۸	زمستان	۰/۷۲۵
آبان	۰/۷۶۲	بهار	۰/۸۹۷	فروردین	۰/۶۹۷	اردیبهشت	۰/۷۱۱
آذر	۰/۶۵۶	-	-	خرداد	-	-	-

۹۵ درصد، و همکاران (Ramier et al., 2004) ضریب رواناب را برای سطوح عایق ۷۴ درصد، ایتمز و همکاران (Imteaz et al., 2012) ضریب رواناب را برای سطوح عایق ایزوگام ۸۵ درصد و عطارزاده حسینی و همکاران (۱۳۹۳) ضریب رواناب را برای سطوح عایق ایزوگام ۹۰ درصد بیان نموده‌اند. این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت رژیم بارندگی، و نوع عایق پشت بام، شیب پشت بام و مسائلی از این قبیل باشد.

نتایج ارائه شده در جدول (۳) نشان می‌دهد که متوسط ضریب رواناب در شهر اهواز برای فصول پاییز، زمستان و بهار به ترتیب برابر ۰/۷۵۹، ۰/۷۱۱ و ۰/۷۹۷ می‌باشد. پهلوانی و همکاران (۱۳۹۵) ضریب رواناب در شهر مشهد را برای فصل پاییز، زمستان و بهار به ترتیب ۰/۶۶، ۰/۶۹ و ۰/۶۲ گزارش نمودند. آنها همچنین ضریب رواناب در شهر نور را برای فصل پاییز، زمستان و بهار به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۷۶ و ۰/۶۹ به دست آوردند. بورس و بن اشتر (Boers and Bn- Asher, 1982) ضریب رواناب را برای آسفالت بطور میانگین ۸۵ تا

جدول (۴): حجم آب قابل استحصال سالیانه از سطح پشت بام‌های شهر اهواز (میلیون لیتر)

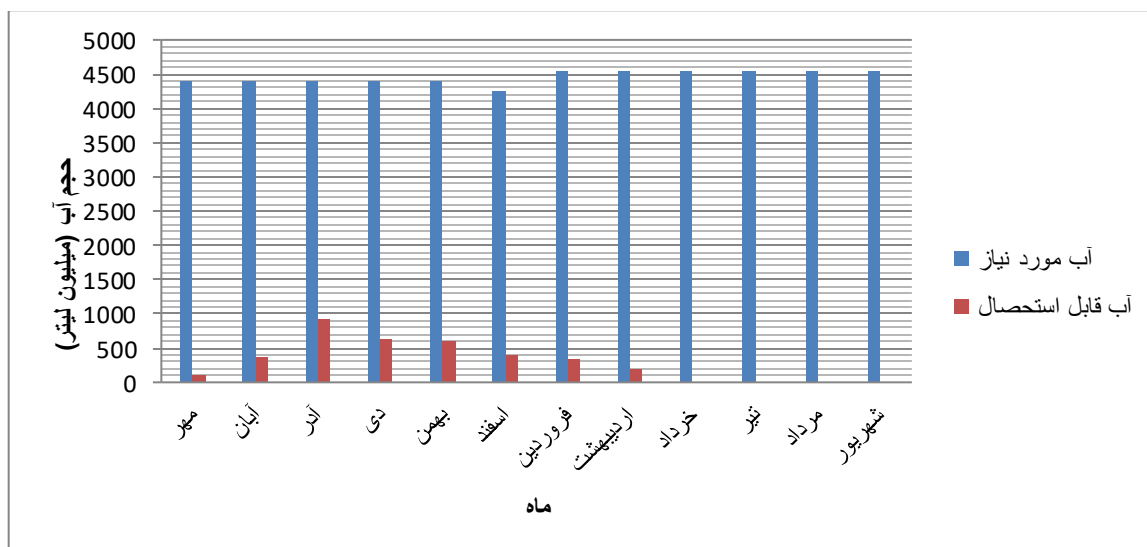
ماه	حجم رواناب	فصل	حجم رواناب
مهر	۹۸/۸۴	پاییز	۳۶۹/۴۱
آبان	۹۳۳/۶۱	زمستان	۶۴۱/۲۸
آذر	۶۰۰/۳	بهار	۱۶۳۱/۷۷
دی	۳۹۰/۱۹	فروردین	۳۳۷/۹۱
بهمن	۱۸۳	اردیبهشت	۵۲۰/۹۱
اسفند	۰	خرداد	۰
تیر	۰	مرداد	۰
مرداد	۰	شهریور	۰
شهریور	۰	تابستان	۰

مقدار مصارف خانگی (۱۳۰ لیتر به ازای هر نفر)، به جز آشامیدن و پخت و پز (۱۷/۵ لیتر به ازای هر نفر)، بطور متوسط ۱۱۲/۵ لیتر در روز به ازای هر نفر محاسبه شد. برای هر یک از ماه‌های ۳۱ روزه فروردین تا شهریور، این مقدار معادل ۳۴۸۷/۵ لیتر در هر ماه برای هر نفر می‌باشد. با احتساب جمعیت شهر اهواز (۱۳۰۳۰۰۰ نفر)، کل نیاز آب خانگی (به جز آشامیدن و پخت و پز) در ماه ۳۱ روزه، ۴۵۴۴/۲۱ میلیون لیتر بدست می‌آید. همچنین در هر یک از ماه‌های مهر تا بهمن، این مقدار ۳۳۷۵ لیتر به ازای هر نفر در ماه و ۴۳۹۷/۶۲ میلیون لیتر برای کل جمعیت، و در ماه ۲۹ روزه اسفند برابر ۳۲۶۲/۵ لیتر برای هر نفر و ۴۲۵۱/۰۳ میلیون لیتر برای کل جمعیت شهر اهواز است. شکل (۳) نمودار ستونی آب مورد نیاز شهر برای مصارف خانگی (به جز آشامیدن و پخت و پز) را در کنار رواناب قابل استحصال از سطح پشت بام‌های شهر اهواز در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.

## تامین نیاز آبی بخش‌های مختلف از رواناب استحصالی

با توجه به رابطه (۱) و با در دست داشتن مقادیر بارندگی متوسط در هر ماه (جدول ۱)، مساحت پشت بام‌ها در شهر اهواز (۲۴ کیلومتر مربع معادل ۲۴ میلیون متر مربع) و ضریب رواناب ماهیانه (جدول ۳) حجم آب قابل استحصال سالیانه از سطح پشت بام‌های شهر اهواز محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است. مطابق جدول (۴) ماه آذر و فصل زمستان بیشترین و ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور و فصل تابستان کمترین سهم را در کل رواناب قابل استحصال از پشت بام‌های شهر اهواز دارند.

## تامین نیازهای آبی خانگی از رواناب جمع آوری شده از سطح پشت بام‌ها



شکل ۳- مقایسه آب مورد نیاز شهر برای مصارف خانگی (به جز آشامیدن و پخت و پز) و رواناب قابل استحصال از پشت بام‌ها

## تامین نیاز آبی بخش‌های عمومی از رواناب جمع آوری شده از سطح پشت بام‌ها

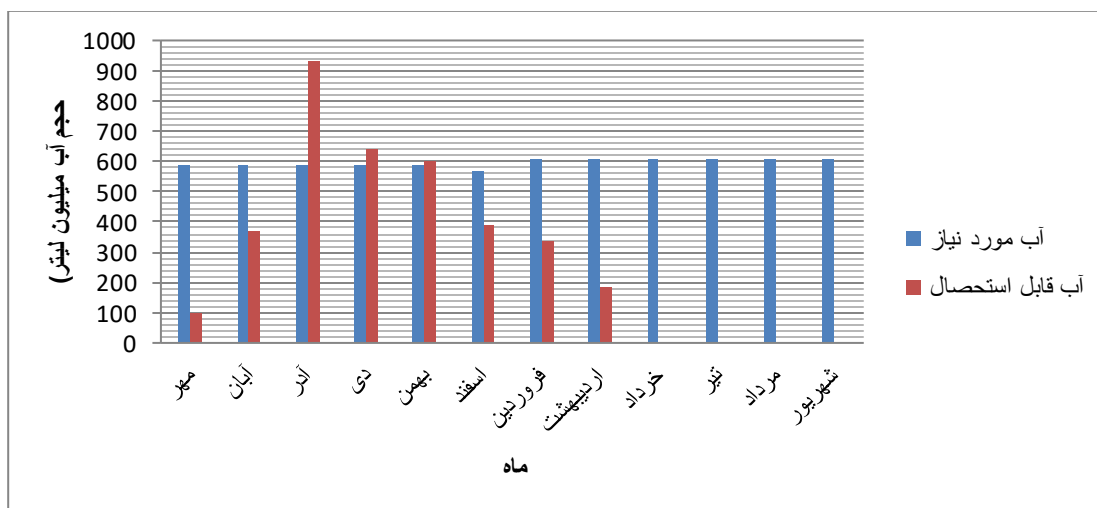
مقدار آب مورد نیاز مصارف عمومی (مانند ادارات و موسسات عمومی، مراکز درمانی و آموزشی، اماکن مذهبی، حمام‌های عمومی، مراکز ورزشی و هنری و آتشنشانی) برای هر یک از ماه‌های ۳۱ روزه فروردین تا شهریور در شهر اهواز، با احتساب ۱۵ لیتر در روز به ازای هر نفر، معادل ۴۶۵ لیتر در

مطابق شکل (۳) با استحصال آب باران از سطح پشت بام‌های شهر اهواز در ماه‌های مهر تا اردیبهشت به ترتیب ۲/۲۴، ۸/۴، ۲۱/۲، ۱۴/۵۸، ۱۳/۶۵، ۹/۱۷ و ۷/۴۴ درصد از نیاز آبی بخش خانگی (به جز آشامیدن و پخت و پز) را می‌توان تامین نمود. رشیدی مهرآبادی و همکاران (۱۳۹۲) نیز بیان داشتند که در شهر رشت با جمع آوری آب باران از سطح پشت بام‌ها ۷۵ درصد نیازهای غیر شرب روزانه ساکنین قابل تامین است.



اسفند برابر ۴۳۵ لیتر برای هر نفر و ۵۶۶/۸۰ میلیون لیتر برای کل جمعیت است. شکل (۴) نمودار ستونی آب مورد نیاز شهر برای مصارف عمومی را در کنار رواناب قابل استحصال از سطح پشت بام‌های شهر اهواز در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.

هر ماه می‌باشد. با احتساب جمعیت شهر اهواز (۱۳۰۳۰۰۰ نفر)، کل نیاز آبی برای مصارف عمومی در ماه ۳۱ روزه، ۶۰۵/۸۹ میلیون لیتر بدست می‌آید. همچنین در هر یک از ماه‌های مهر تا بهمن، این مقدار ۴۵۰ لیتر به ازای هر نفر در ماه و ۵۸۶/۳۵ میلیون لیتر برای کل جمعیت و در ماه

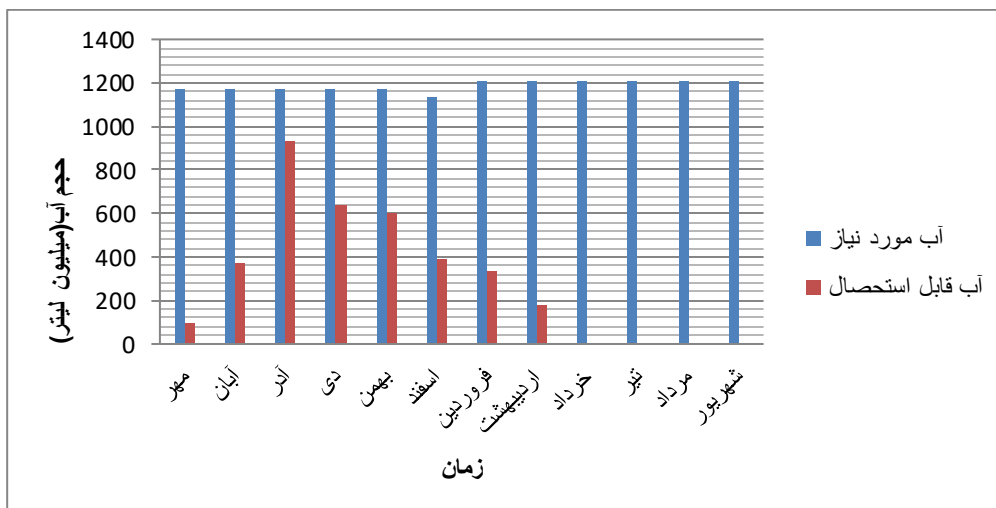


شکل ۴- مقایسه آب مورد نیاز شهر برای مصارف عمومی و رواناب قابل استحصال از سطح پشت بام‌ها

مقدار آب مورد نیاز مصارف تجاری و صنعتی (مانند مغازه‌ها) برای هر یک از ماه‌های ۳۱ روزه فروردین تا شهریور در شهر اهواز، با احتساب ۳۰ لیتر در روز به ازای هر نفر معادل ۹۳۰ لیتر در هر ماه برای هر نفر می‌باشد. با احتساب جمعیت شهر اهواز (۱۳۰۳۰۰۰ نفر)، کل نیاز آب برای مصارف عمومی در ماه ۳۱ روزه، ۱۲۱۱/۷۹ میلیون لیتر بدست می‌آید. همچنین در هر یک از ماه‌های مهر تا بهمن، این مقدار ۹۰۰ لیتر به ازای هر نفر در ماه و ۱۱۷۲/۷۰ میلیون لیتر برای کل جمعیت؛ و در ماه اسفند برابر ۸۷۰ لیتر برای هر نفر و ۱۱۳۳/۶۱ میلیون لیتر برای کل جمعیت شهر اهواز است. شکل (۵) نمودار ستونی آب مورد نیاز شهر برای مصارف تجاری و صنعتی را در کنار رواناب قابل استحصال از سطح پشت بام‌های شهر اهواز در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.

مطابق شکل (۴) با استحصال آب باران از سطح پشت بام‌های شهر اهواز در ماه‌های مهر تا اردیبهشت به ترتیب ۱۶/۸۵، ۶۳، ۱۰۰، ۱۰۰، ۱۰۰، ۶۷/۸۴، ۵۵/۷۷ و ۳۰/۲ درصد از نیاز آبی بخش عمومی را می‌توان تامین نمود. نتایج نشان می‌دهد که در ماه‌های آذر، دی و بهمن آب قابل استحصال از سطح پشت بام‌ها، علاوه بر تامین ۱۰۰ درصدی نیاز مصارف عمومی شهر در این ۳ ماه، می‌تواند باعث ذخیره ۴۱۶/۱۴ میلیون لیتر آب شود که در ماه‌های دیگر قابل استفاده خواهد بود. نتایج استورم و همکاران (Sturm et al., 2009) در برزیل نشان داد استفاده از آب باران برای شستشوی وسایل نقلیه در ایستگاه‌های فروش بنزین مناسب بوده است.

**تامین نیاز آبی بخش‌های تجاری و صنعتی از رواناب جمع آوری شده از سطح پشت بام‌ها**



شکل (۵) مقایسه آب مورد نیاز شهر برای مصارف تجاری و صنعتی و رواناب قابل استحصال از سطح پشت بام‌ها

مربعی در ایستگاه هواشناسی شهرستان جانورود، در تانکری به ظرفیت ۶۰۰۰ لیتر، می‌تواند آبی معادل ۶۰ متر مکعب در سال جمع آوری نماید و نیاز فضای سبز ایستگاه هواشناسی، مصرف کولر آبی خنک کننده ساختمان و آب مورد نیاز تشت تبخیر را تامین کند. آنها گزارش نمودند آب باران، آبی پاک، سالم و قابل شرب است.

### تامین نیاز آبی فضای سبز از رواناب جمع آوری شده از سطح پشت بام‌ها

با توجه به این که نیاز آبی بخش فضای سبز شهر اهواز ۶ لیتر در روز در متر مربع می‌باشد، با در نظر گرفتن مساحت ۱۳۵۶۹۲۳۳ متر مربعی (نوشادی و همکاران، ۱۳۹۰) فضای سبز این شهر، این نیاز در هر یک از ماه‌های ۳۱ روزه فروردین تا شهریور برابر ۲۵۲۳/۸ میلیون لیتر، در هر یک از ماه‌های ۳۰ روزه مهر تا بهمن برابر با ۲۴۴۲/۴۶ میلیون لیتر و در ماه ۲۹ روزه اسفند برابر با ۲۳۶۱/۰۵ میلیون لیتر خواهد بود. در فضای سبز شهری با این فرض که حدود ۶۰ درصد بارندگی بصورت تبخیر و نفوذ عمقی تلف شده (اسلامی و ریحانی، ۱۳۸۴) و مابقی (۴۰ درصد) به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم (رواناب قابل استحصال) به مصرف فضای سبز می‌رسد، مقدار ضریب رواناب برابر ۰/۴ در نظر گرفته شد. در اینصورت، با داشتن میانگین باران ماهیانه شهر اهواز (جدول ۱) و مساحت فضای سبز شهر (۱۳۵۶۹۲۳۳ متر مربع) و اعمال ضریب رواناب (۰/۴)، حجم بارشی که از فضای سبز قابل

مطابق شکل (۵) با استحصال آب باران از سطح پشت بام‌های شهر اهواز در ماه‌های مهر تا اردیبهشت به ترتیب ۸/۴۳، ۳۱/۵، ۷۹/۶۱، ۵۴/۶۸، ۵۱/۱۹، ۳۴/۴۲، ۲۷/۸۸ و ۱۵/۱۰ درصد از نیاز آبی بخش تجاری و صنعتی را می‌توان تامین نمود. تحقیقات کردوانی و کردپور (۱۳۹۱) در ناحیه ارومات نشان داد با ذخیره آب باران از سطح یک پشت بام ۱۰۰ متر در این پژوهش کلیه نمودارهای من کندال در هر سه سناریو برای کلیه ایستگاه‌ها رسم شده است که به طور مثال نمودار گرافیکی من کندال نمایه FDO در هر سه سناریو برای ایستگاه دیهوک در شکل ۱ آورده شده است.

نتایج بررسی روند با روش رگرسیون خطی در جدول ۵ آورده شده است. در شرایط وضعیت موجود نمایه CSDI در ۳۵ درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی در سطح معناداری ۵ درصد است که در نهندان با شیب خط ۰/۲۸۵ بیشترین افزایش وجود دارد. در شرایط RCP4.5 و RCP8.5 این نمایه در ۶۵ و ۱۲ درصد ایستگاه‌ها در حال افزایش است. نمایه FDO در شرایط وضعیت موجود در ۳۵ درصد ایستگاه‌ها در حال افزایش ناگهانی و یا روند افزایشی معنادار است و بر اساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در همه ایستگاه‌ها در حال کاهش ناگهانی و یا روند کاهشی معنادار است. در ایستگاه خور این نمایه دارای روند افزایشی با بیشترین شیب خط ۰/۶۰۵ می‌باشد. نمایه IDO در شرایط وضعیت موجود در ۴۷

استحصال می‌باشد، و در همین بخش نیز قابل استفاده است؛ در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵- حجم آب قابل استحصال سالیانه از فضای سبز شهر اهواز (میلیون لیتر)

ماه	حجم رواناب	فصل	حجم رواناب
مهر	۲۶/۰۳		
آبان	۱۰۹/۵۶	پاییز	۴۵۷/۲۳
آذر	۳۲۱/۶۴		
دی	۲۱۶/۹۶		
بهمن	۱۸۷/۱۳	زمستان	۵۲۳/۴۲
اسفند	۱۱۹/۳۳		
فروردین	۱۰۹/۵۶		
اردیبهشت	۴۶/۱۰	بهار	۱۵۱/۶۶
خرداد	۰		
تیر	۰		
مرداد	۰	تابستان	۰
شهریور	۰		

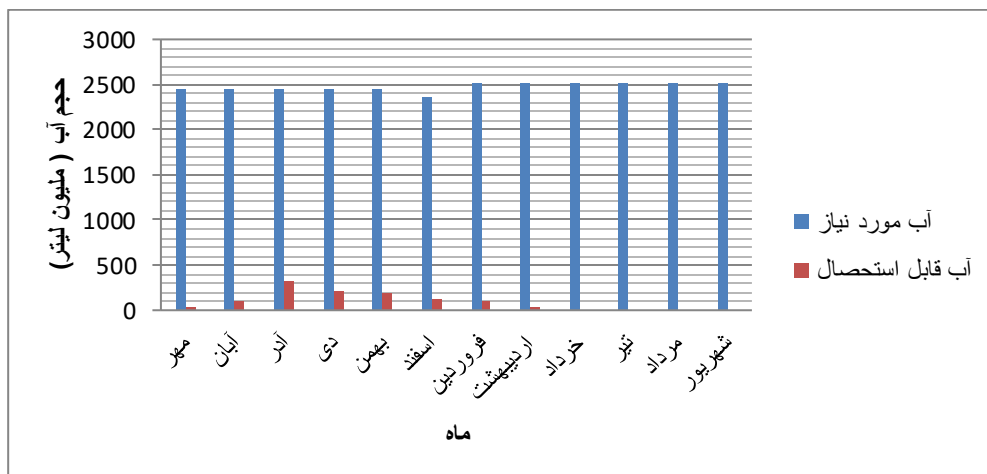
شهری مانند بیرجند که در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار دارد را تامین نماید و استفاده از این روش برای تامین آب مورد نیاز فضای سبز، در شهری مثل رامسر نتایج بهتری را نشان می‌دهد؛ که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

### نتیجه‌گیری

امروزه تامین آب در کشور-های در حال توسعه از جمله ایران، یک مسئله حیاتی به شمار می‌رود. با توجه به جداول استاندارد اینگونه برداشت می‌شود که در یک ساختمان مسکونی با توجه به جمع کل میزان مصرف، قسمت اندکی از آن به آب شرب اختصاص داده می‌شود و ما بقی آن را می‌توان از آبهای بازیافتی خانه و آب باران استفاده کرد.

مطابق جدول (۵) ماه آذر و فصل زمستان بیشترین و ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور و فصل تابستان کمترین سهم را در کل رواناب قابل استحصال از فضای سبز شهر اهواز دارند. شکل (۷) مقایسه آب مورد نیاز شهر برای مصارف فضای سبز و رواناب قابل استحصال از سطح فضای سبز شهر اهواز را در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.

مطابق شکل (۷) با استحصال آب باران از سطح فضای سبز شهر اهواز در ماه‌های مهر تا اردیبهشت به ترتیب ۱/۰۶، ۴/۴۸، ۱۳/۱۷، ۸/۸۸، ۷/۶۶، ۵/۰۵، ۴/۳ و ۱/۸۸ درصد از نیاز آبی بخش فضای سبز را می‌توان تامین نمود. نتایج تحقیق عابد زاده و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد مقدار آب استحصال شده از پشت بام نمی‌تواند به‌طور کامل نیاز آبی گیاهان در



شکل ۷- مقایسه آب مورد نیاز شهر برای مصارف فضای سبز و رواناب قابل استحصال از سطح فضای سبز شهر اهواز

و همکاران، ۱۳۹۸) و نیز به دلیل وجود ناهمواری و منافذ زیاد دارای بازده پایینی می‌باشند (شادمهری توسی و همکاران، ۱۳۹۷). به دلیل تجمع آشغال، مدفوع حیوانات و وجود گرد و غبار در سطح سقف، آب اولیه بارندگی برای ذخیره‌سازی مناسب نمی‌باشد. به همین منظور توصیه می‌شود آب اولیه به ناودان‌هایی که در پوشی در انتهای آنها تعبیه شده است انتقال داده شود؛ پس از پر شدن ناودان این آب به بیرون مخزن هدایت شود و پس از آن، آب به سمت مخزن هدایت گردد (لک زاده و برهانی داریان، ۱۳۹۴).

نتایج نشان داد که در صورت جمع‌آوری رواناب حاصل از بارندگی، از سطح پشت بام‌های شهر اهواز، می‌توان در ماه‌های آذر، دی و بهمن علاوه بر تامین ۱۰۰ درصدی نیاز مصارف عمومی، ۴۱۶/۱۴ میلیون لیتر آب ذخیره نمود که در ماه‌های دیگر قابل استفاده خواهد بود. سعدالدین و همکاران (۱۳۹۴) با ارزیابی کمیت و کیفیت آب باران قابل جمع‌آوری، از سطوح پشت بام‌ها در گرگان، بیان داشتند جمع‌آوری و استفاده از آب باران به‌طور قابل ملاحظه‌ای حتی در ماه‌های خشک می‌تواند از فشار مصرف منابع آب شیرین شهری بکاهد. همچنین با استحصال آب باران می‌توان بخشی از مصارف خانگی، صنعتی - تجاری و فضای سبز را در طول سال تامین کرد. پرن‌دین و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند ۵۸/۴ درصد از نیاز آبی سالانه فضای سبز شهری کرمانشاه از طریق استحصال آب باران از سطح پشت بام‌های شهر تامین شدنی است. نتایج این تحقیق نشان داد که استحصال آب باران از سطوح پشت بام‌های شهر اهواز در ماه آذر (۶۱/۹۳۳

امروزه با آب آشامیدنی، فضاهای سبز آبیاری می‌شود؛ در صورتیکه کیفیت آب مورد شرب انسان و فضای سبز مساوی نیستند. آب باران با تمام ویژگی‌هایی که دارد برای فضای سبز بسیار مناسب است؛ ولی امروزه توسط ناودان‌ها به چاه‌های فاضلاب آلوده هدایت می‌شود. تاکنون راهبردهای مختلفی توسط کشورهای گوناگون تدوین و آزمایش شده است. از میان این راهبردها در نقطه‌ی تولید آب خاکستری می‌توان به دو راهبر کلی اشاره نمود: ۱- راهبر استفاده حداکثر از آب خاکستری و طراحی سیستم تصفیه نسبتاً گران قیمت و ۲- راهبرد استفاده از آب خاکستری با آلودگی پایین با حداقل تصفیه ممکن. البته در میان این راهبردها، راهبردهای بینابینی نیز قابل اتخاذ است. از دیدگاه نقطه مصرف آب خاکستری نیز ۲ راهبرد اصلی قابل اتخاذ است.

۱- استفاده از آب خاکستری در فضای داخلی ساختمان.

۲- استفاده از آب خاکستری در فضای بیرون ساختمان.

در این تحقیق پتانسیل شهر اهواز جهت استفاده از سیستم استحصال آب باران بررسی شد. البته با توجه به عدم اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب در این تحقیق، لازم است؛ در استفاده از آب استحصال شده باران جهت مصارف مختلف به کیفیت آب نیز توجه شود. جنس سقف در کیفیت آب جمع‌آوری شده تاثیر فراوانی دارد. (Sadoddin et al., 2015) تحقیقات نشان داده است سقف‌های گالوانیزه بهترین نوع سقف می‌باشند زیرا علاوه بر کیفیت مناسب آب دارای بیشترین بازدهی می‌باشند؛ در حالی که سقف‌های آسفالتی به دلیل وجود زهرآبه دارای کیفیت نامناسب آب بوده (پرن‌دین

دانست؛ به طوری که این سامانه را می‌توان سامانه سازگار در مناطق پر باران (به لحاظ جلوگیری از هدر رفت) و نیز در مناطق خشک و نیمه خشک (به لحاظ ذخیره آب) قلمداد کرد.

میلیون لیتر) بیشترین کمک را می‌تواند در تامین آب مصارف مختلف نماید. بنابراین با توجه به کمبود آب شیرین و مشکلات ناشی از آن، جمع آوری آب باران از سطح بام ساختمان‌ها را می‌توان یکی از راه‌های کاهش این مشکل

### منابع

1. Abedzadeh, S., Khashei suiki, A. and Abparvar, A. 2015. Comparison of water supply required for home green space with rainwater harvested in different climates. 3th International Conference on Water harvesting and watershed management, Birjand, Birjand university. [In Persian].
2. Akter, A. and Ahmed, Sh. 2015. Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh. Journal of hydrology. No. 528, pp. 84-93.
3. Alizadeh, A. 2015. Principles of Applied Hydrology, 7 Editions, Astan Quds Publication, Mashhad. [In Persian].
4. Atarzadeh Hosini, S. V., Khaleghi, M. R. and Tabatabaei Yazdi, S. J. 2014. Effective study of runoff coefficient on rainwater extraction from roof surfaces Case study: Mehr housing in Torbat Jam area. 3rd Water Harvesting and Watershed Management Congress. pp. 1-12. [In Persian].
5. Boers, Th. M. and Ben-Asher, J. 1982. A review of rainwater harvesting. Agricultural water management. No. 5, pp. 145-158.
6. Dreelin, E. A., Fowler, L. and Carroll, C. R. 2006. A test of porous pavement a fictiveness on clay soils during natural storm events. water research. No. 40, pp. 799 – 805.
7. Ehsani, M. and Khaledi, H. 2003. Water Productivity in Agriculture. Commission on Irrigation and Drainage (ICID). Tehran
8. Eslamian, S. S., Okhravi, S. And Safaei, H. 2015. Technology and Design of Rainwater Harvesting Systems. J. Daneshnama. No. 24, pp. 57-62. [In Persian].
9. Imteaz, M. A., Adeboy, O. B., Rayburg, S. and Shanableh A. 2012. Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance Model. Resources Conservation and Recycling. No. 62, pp. 51-55.
10. Kardovani, P. and Kurdpoor, B. 2012. Optimum use of water resource Auramanat zone ( Rain reservoir). Territory (Sarzamin). No. 9(3), pp. 1-16. [In Persian].
11. LaBranche, A., Wack, H. O., Crawford, D., Crawford, E. and Brand, C. 2007. Virginia Rainwater Harvesting Manual-. The cable brand center, August 2007
12. Lakzadeh, M. and Borhani dariyan, A. R. 2016. Using rainwater is a suitable way to save water in Iran. 2nd International conference on research in science and Technology. Istanbul, Turkey. 14 march. 2016
13. Mahmoud, W. H., Elagib, N. A., Gaese, H. and Heinrich, J. 2014. Rainfall condition and rain water harvesting potential in the urban area of Khartoum. Recourses. conservation and Recycling. No. 91, pp. 89-99.
14. Ministry of Energy, Engineering Office and Water and ABFA Technical Criteria. 2013. Design criteria for urban and rural water transmission and distribution systems. Journal 13-117. [In Persian]
15. Ministry of Roads and Urban Development of the Islamic Republic of Iran. 2013. Implementing regulations of the law on organizing

- and supporting the production and supply of housing. [In Persian]
16. National Statistics Center of Iran. 2019. Explanatory analysis of major demographic indicators in the years 1390 to 1395. National Statistics Center of Iran. Tehran. [In Persian].
17. Noshadi, A., Hatami Kakesh, F., Shohey-tavi, A., Jafarizadeh, M., Cheldavi, S. and Tayebi, A. 2011. Challenges of urban management in Ahvaz metropolis, Vol. 3. [In Persian]
18. Pahlevani, P., Dastorani, M. T., Tabatabaee, J. And Vafakhah, M. 2017. Evaluation and comparison of rainwater harvesting potential from roof catchments in different climatic conditions (Case Study: Mashhad and Noor in Iran). Iranian Journal of Rainwater Catchment System. No. 4(12), pp. 1-10. [In Persian].
19. Parandin, M. A., Zolfaghari, H. and Fathnia, A. 2019. Rainwater harvesting from Kermanshah city roofs and recognizing the suitable places for water saving to irrigate urban green spaces. Physical geography research quarterly. No. 51(3), pp. 483-496. [In Persian]
20. Qadir, M., Sharma, B. R., Bruggeman, A., choukr-Allah, R. and Karaje, F. 2007. Nonconventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. Agricultural water management. No. 87(1), pp. 2-22
21. Ramier, D., Berthier, E. and Andrieu, H. 2004. An urban lysimeter to assess runoff. Losses on asphalt concrete plates. Physics and Chemistry of the Earth. No. 29, pp. 839-847
22. Rashidi Mehr, M. H., Saghafiyani, B. And Shamsaie, A. 2013. Performance Evaluation of Rainwater Harvesting on the Rooftops of Residential Buildings to Enhance Non-potable Water Demand in the Coastal Cities of Iran. Iranian Journal of Rainwater Catchment System. No. 1(3), pp. 29-38. [In Persian].
23. Road, Housing and Urban Research Center. 2014. Collection of Iranian building standards and regulations. Standard 2800, Edition 4. [In Persian]
24. Rostad, N. and Montalto, F. 2012. Rainwater harvesting: using urban roof runoff for residential toilet flushing. Metropolitan Sustainability Understanding and Improving the Urban Environment. Woodhead Publishing Series in Energy. PP. 350-369
25. Sadoddin, A., Bai, M. and Naeimi, A. 2015. Technical and economic feasibility study of rooftop rainwater harvesting system (Case Study: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources), Journal of Water and Soil Conservation. No. 21(6), pp. 27-50.
26. Silva, C. M., Sousa, V. and Carvalho, N.V. 2015. Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences. Recourses, conservation and Recycling. pp. 94: 21-34
27. Shadmeheri Toosi, A., Danesh, S. and Hosseini, S.M. 2017. Evaluation of potential for rainwater harvesting (case study: a municipality district in the city of Mashhad), 4th International Conference on Environmental Planning & Management, Tehran, Tehran university, pp: 1-12. [In Persian].
28. Stanton D. 2005. Roaded catchments to improve reliability of farm dams. Government of Western Australia, Department of Agriculture, Bulletin 4660.
29. Sturm, M., Zimmermann, M., Schütz, K., Urban, W. and Hartung, H. 2009. Rainwater harvesting as an alternative water resource in rural sites in central northern Namibia. J. Phys. Chem. Earth. 34, PP. 776-785

30. 30. Taran, F. And Mahtabi, Gh. 2016. Investigation of Supplying Water Requirements in Different Parts of a City Rainwater Harvesting ;a Case Study Bonab, Iran. Journal of Irrigation and Water Engineering. No.7(25), pp.40-53. [In Persian].